

АКТУАЛЬНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПРОШЛЫХ ЛЕТ

Настоящим номером редакция журнала «Наноструктуры. Математическая физика и моделирование» открывает рубрику «Актуальные публикации прошлых лет». В рубрике будут перепечатываться некоторые избранные публикации различных изданий прошлых лет. В этом номере мы предлагаем вниманию читателей выдержки из книги Эрнеста Маха «Популярные лекции по физике». Книга впервые была издана в России в 1909 году в переводе Г.А. Котляра. В наши дни переиздание книги осуществило издательство НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика» в 2001 году. (Мах Э. Популярная лекция по физике // НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, Ижевск, 2001, 128 стр.). Издательство любезно разрешило нам выборочную перепечатку текстов, за что редакция журнала НМФМ выражает глубокую признательность.

Э. Мах

Популярные лекции по физике

Форма жидкости¹

Как ты полагаешь, любезный Эфтифрон, что есть святое, что справедливо и что есть добро? Свято ли святое потому, что боги это любят, или боги потому святы, что они любят святое? Такими и подобными им легкими вопросами мудрый Сократ сеял смуту в умных людях на рынках в Афинах, особенно смущал молодых государственных деятелей, которые кичились

¹ Лекция прочитанная, в немецком казино в Праге зимою 1868 года.

своими познаниями. Доказывая, как спутаны, неясны и полны противоречий их понятия, он освобождал их от бремени их мнимых познаний.

Вам знакома судьба этого мудреца, пристававшего ко всем со своими вопросами. Люди так называемого хорошего общества избегали встречи с ним и только люди несведущие продолжали ходить за ним. В конце концов ему пришлось выпить кубок яда, который и в настоящее время иному рецензенту его типа кое-кто, по меньшей мере, от души желает.

Но мы кое-чему научились от Сократа, кое-что нам осталось от него в наследие, это кое-что есть научная критика. Занимаясь наукой, всякий замечает, как неустойчивы и неопределенны понятия, знакомые ему из повседневной жизни, как при более тщательном рассмотрении вещей многие различия стираются и выступают новые. И постоянное видоизменение, развитие и выяснение понятий характеризует историю развития самой науки.

Общее рассмотрение этих неустойчивых понятий может становиться даже неприятным, внушить известное беспокойство, если принять в соображение, что нет ничего, что от этой неустойчивости было бы свободно. В настоящей лекции мы не будем, однако, останавливаться на этом общем явлении. Наша задача здесь другая: мы хотим на одном естественно-научном примере рассмотреть, в какой сильной степени изменяется вещь, если ее изучать все точнее и точнее, и как форма ее становится при этом все более и более определенной.

Большинство из вас полагает, вероятно, что они прекрасно знают, что такое жидкость и что – твердое тело. И именно тот, кого никогда не занимали вопросы физики, скажет, что ничего нет легче, как ответить на эти вопросы. Другое дело – физик: он знает. Это один из самых трудных вопросов физики и что провести границу между твердым и жидким вряд ли возможно. Напомню здесь только опыты Треска. Они показали, что твердые тела, подверженные высокому давлению, обнаруживают те же свойства, что и жидкости: они вытекают, например, в форме струи из отверстия в дне сосуда, в котором они находятся. Мнимое различие состояния, различие между «жидким» и «твердым» здесь сводится к простому различию в степени.

Исходя из сплюсненной формы Земли, принято обыкновенно делать тот вывод, что Земля некогда была в жидком состоянии. Но если принять в соображение факты, подобные только что приведенным, то этот вывод нельзя не признать слишком поспешным. Шар в несколько дюймов диаметром, вращаясь, будет сплющиваться, конечно, только тогда, когда он будет очень мягким, например, из свежеприготовленной глины, или даже жидким. Земля же должна быть раздавлена собственной своей огромной тяжестью, если бы она состояла даже из самых твердых камней, и потому не может не обнаруживать некоторые свойства жидкости. Да и горы наши не могут быть выше определенных границ, за пределами которых они не могут не осесть.

Возможно, что некогда земля была жидкой, но из того факта, что она теперь имеет сплюсненную форму, это никоим образом не следует.

Частицы жидкости чрезвычайно подвижны. Как вас учили в школе, они не имеют собственной формы, а принимают форму того сосуда, в котором они находятся. Приспосабливаясь до мельчайших деталей к форме сосуда, не обнаруживая даже на свободной поверхности своей ничего, кроме улыбающегося, зеркальногладкого, ничего не выражающего лица своего, она воплощает собой среди всех тел природы самый совершенный тип царедворца.

Жидкость не имеет собственной своей формы! Да, для того, кто бегло ее наблюдает. Но кому случалось заметить, что дождевая капля круглая и никогда не бывает с острыми краями, тот не станет уже столь безусловно верить в этот догмат.

О всяком человеке, даже наиболее бесхарактерном, вы могли бы сказать, что он *обладал* бы характером, если бы в нашем мире все не было так трудно. Так и жидкость имела бы собственную свою форму, если бы этому не мешал гнет обстоятельств, если бы она не раздавливалась собственной своей тяжестью.

Один досужий астроном рассчитал однажды, что на солнце люди не могли бы жить, даже если бы этому не мешала невыносимая жара: они там были бы раздавлены под тяжестью собственного своего тела, ибо большая масса мирового тела обуславливает большой вес человеческого тела на нем. На луне же, где мы были бы гораздо более легкими, мы могли бы одной силой наших мышц делать без труда огромные прыжки, чуть ли не в башню вышиной. Художественное изваяние из сиропа принадлежит и на луне к области вымыслов. Но там сироп так медленно разливается, что можно было бы, если не в серьез, то в шутку, устроить сиропную бабу, как мы у нас делаем снежную бабу.

Но если жидкость у нас на земле собственной своей формы не имеет, то, может быть, они имеют таковую на луне или на каком-либо другом мировом теле, еще меньшем и более легком? Чтобы познакомиться с собственной формой жидкости, нам остается только одно: устранить действие тяжести.

Эта мысль была вполне осуществлена в Генте ученым *Плато*. Он погружал одну жидкость (масло) в другую равного (удельного) веса, именно в смесь воды с винным спиртом. Согласно принципу *Архимеда*, масло теряет в этой жидкости весь свой вес, оно не падает уже вниз под собственной своей тяжестью, и силы, придающие маслу определенную форму, как бы слабы они ни были, имеют возможность свободно действовать.

И действительно, к нашему удивлению мы замечаем, что масло не разливается по смеси отдельным слоем и не образует бесформенной массы, а принимает форму прекрасного, вполне совершенного шара, свободно паря-

щего в смеси, подобно луне в мировом пространстве, так можно получить из масла шар в несколько дюймов диаметром.

Если в этот масляный шарик внести на проволоке небольшой диск и вращать проволоку между пальцами, то можно привести в движение весь шарик. При этом он немного сплющивается и можно даже добиться того, чтобы от него отделилось кольцо, подобно кольцу Сатурна. Кольцо это в конце концов разрывается и распадается на несколько небольших шариков, давая приблизительное представление о возникновении нашей планетной системы, согласно теории *Канта* и *Лапласа*.

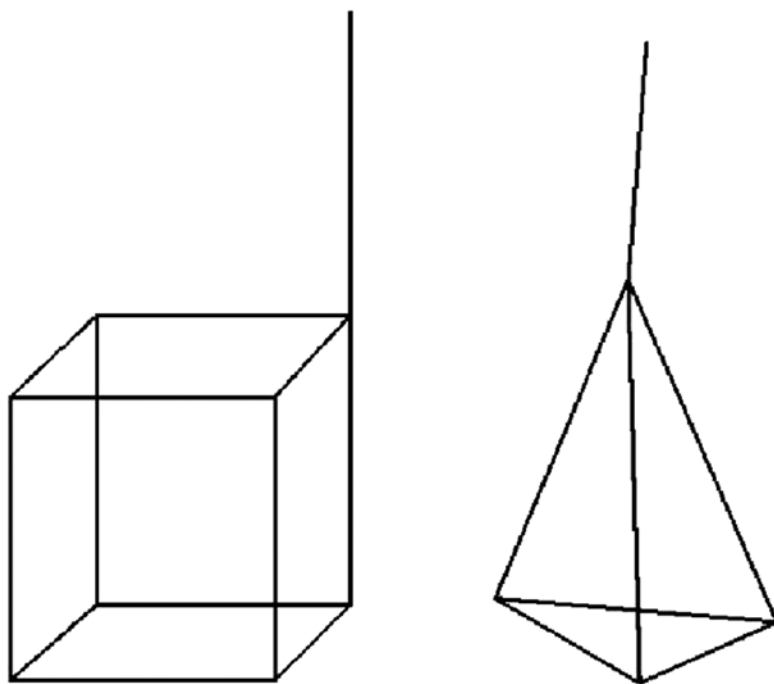


Рис. 1. Проволочные фигуры

Явления становятся еще более своеобразными, если помешать до известной степени действию формирующих сил жидкости, приведя в соприкосновение с ее поверхностью какое-нибудь твердое тело. Если, например, в масло погрузить проволочный остов куба, масло везде будет прилипать к проволоке. При достаточном количестве масла можно получить масляный куб с совершенно плоскими стенками. Если же масла слишком много или слишком мало, то стенки куба становятся выпуклыми или вогнутыми. Подобным же образом можно получить из масла самые разно-образные геометрические фигуры, трехгранную пирамиду или цилиндр; в последнем случае масло помещалось между проволочными кольцами.

Интересно, как изменяется форма жидкости, если из того куба или из пирамиды высасывать постепенно масло с помощью небольшой стеклянной трубочки. Проволока крепко удерживает масло. Фигура становится внутри все беднее и беднее маслом и в конце концов совершенно тонкой. Она состо-

ит, наконец, из нескольких тонких плоских пластинок, отходящих от ребра куба и сходящихся в середине его в небольшой капле масла. То же самое происходит и в пирамиде.

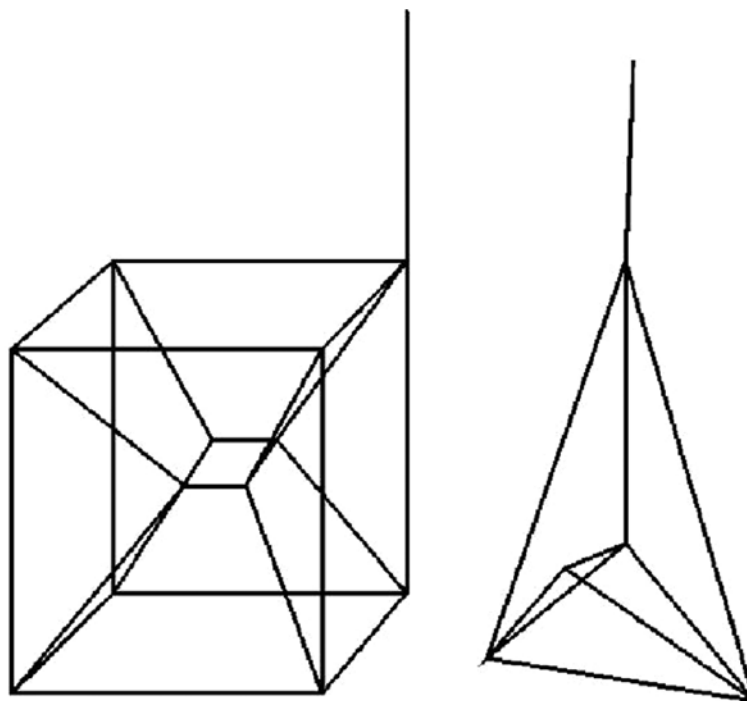


Рис. 2. Образовавшиеся фигуры

Здесь сама собой напрашивается мысль, что такая тонкая жидкая фигура, обладающая и весом весьма незначительным, не может уже быть раздавлена под его тяжестью, как не может быть раздавлен под тяжестью своего тела небольшой мягкий шарик из глины. Но в таком случае нам нет вовсе необходимости в смеси воды с винным спиртом для получения наших фигур, а мы можем получать их на открытом воздухе. И действительно, как нашел тот же Плато, можно получить такие тонкие фигуры или, по крайней мере, весьма сходные с ними просто на открытом воздухе. Для этого нужно только погрузить упомянутые проволочные фигуры на один момент в мыльный раствор. Опыт этот проделать нетрудно. Фигура образуется сама собой без всякого затруднения. На рисунке 2 изображены куб и пирамида, которые при этом получаются. В кубе от его ребра отходят тонкие полоски мыльной пленки к небольшой квадратной пленке в его середине. В пирамиде от каждого ребра по пленке к центру пирамиды.

Фигуры эти такие красивые, что трудно их точно описать. Их замечательная правильность и геометрическая точность приводят в замешательство всякого, кто видит их в первый раз. К сожалению, они только недолговечны. Они лопаются, высыхая на воздухе, показав нам предварительно самую блестящую игру красок, столь характерную вообще для мыльных пузырей.

Отчасти ради красоты фигуры, отчасти ради более точного их исследования возникает желание закрепить их форму. Достигается это очень просто. Вместо мыльного раствора погружают для этого проволочную стенку в расплавленную чистую канифоль или клей. Как только мы извлекаем ее оттуда, фигура сейчас же образуется и застывает на воздухе.

Следует заметить, что и массивные жидкие фигуры могут быть получены на открытом воздухе, если только сделать их достаточно малого веса, т. е. если воспользоваться для этого достаточно малыми проволочными сетками. Если приготовить себе, например, из очень тонкой проволоки остов кубика, ребро которого имело бы в длину не более 3 мм, то стоит погрузить таковой просто в воду, чтобы получить массивный небольшой водяной кубик. При помощи кусочка пропускной бумаги нетрудно удалить излишнюю воду и сделать стенки кубика более ровными.

Есть еще и другой, более простой способ наблюдать фигуры из жидкости. Капелька воды, помещенная на покрытой жиром стеклянной пластинке, если она достаточно мала, не расплывается, а только несколько сплющивается под действием своего веса, которым она придавливается к подставке. Сплющивание это тем меньше, чем меньше капля. Далее, чем меньше капля, тем более она приближается к форме шарика. Наоборот, капля, висющая на палочке, под действием своего веса удлиняется. Нижние части капли, прилегающие к подставке, придавливаются к ней, верхние части придавливаются к нижним, потому что последние не могут переместиться и уступить им место. Если же капля падает свободно, то все части ее движутся с равной скоростью, ни одна не мешает другой, а потому и ни одна не давит на другую. Свободно падающие капли не испытывают, следовательно, действия собственной своей тяжести, она как бы не имеет тяжести и принимает форму шара.

Обозревая все фигуры из мыльной пленки, которые могут быть получены с помощью различных проволочных стоек, мы можем констатировать большое разнообразие их. Последнее не может, однако, скрыть от нас их общие черты.

«Alle Gestalten sind ähnlich, und keine gleicht der anderen; Und so deutet das Chor auf ein geheimes Gesetz.»²

Плато открыл этот тайный закон. Он может быть кратко выражен в следующих двух положениях:

1. Если в фигуре встречается несколько плоских пленок жидкости, то их всегда бывает числом три, а каждая пара их образует почти равные углы.

2. Если в фигуре из жидкости встречаются между собой несколько ребер, то их всегда бывает числом четыре, и каждая пара их образует почти равные углы.

² «Все формы подобны, но ни одна не равна другой; и Хор толкует это, как про явления тайного закона».

Перед нами два довольно странных параграфа непоколебимого закона, основание которого нам трудно понять. Но то же самое приходится часто наблюдать и в других законах. Не всегда удается по редакции закона узнать разумные мотивы законодателя. В действительности же нетрудно свести наши два параграфа к весьма простым основаниям. Если они выполнены в точности, то дело сводится к тому, чтобы поверхность жидкости имела наименьшие, возможные при данных условиях размеры.

Представим себе, что какой-нибудь очень интеллигентный, знакомый со всеми приемами высшей математики портной поставил себе задачу покрыть проволочный остов куба какой-нибудь тканью так, чтоб каждый кусок ее примыкал к проволоке и был так же в связи со всей тканью. Допустим, что, совершая эту работу, он руководствуется еще побочным намерением возможно больше ткани сберечь. Он мог бы получить тогда одну только фигуру, именно ту, которая образуется сама собой из мыльного раствора на проволочной сетке. При образовании фигур из жидкости природа следует принципу этого алчного портного и совершенно не заботится о фасоне. Но странно: при этом сам собой получается самый прекрасный фасон!

Приведенные нами выше два параграфа имеют силу только для мыльных фигур. К массивным фигурам из масла они, само собой разумеется, применены быть не могут. Но тот принцип, что поверхность жидкости должна быть при этом наименьшей, возможной при данных условиях, относится ко всем фигурам из жидкости. Если человек знаком не только с буквой закона, но и с мотивами его, он разберется и в тех случаях, к которым буква закона не совсем уж удачно подходит. И так именно обстоит дело с принципом наименьшей поверхности. Им можно руководствоваться везде, даже там, где приведенные выше два параграфа не годятся более.

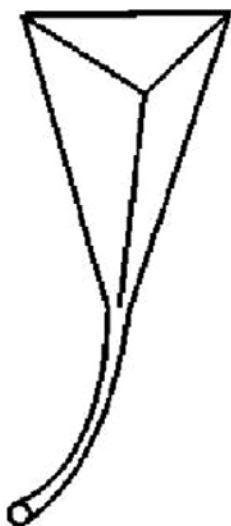


Рис. 3. Трубочка

Нам нужно теперь, следовательно, прежде всего наглядно показать, что фигуры из жидкости образуются по принципу наименьшей поверхности. В нашей проволочной пирамиде масло в смеси воды с винным спиртом прилипает к ребрам пирамиды, от которых оно отстать не может, и данное количество масла стремится принять такую форму, чтобы поверхность ее оказалась при этом возможно меньшей. Попробуем воспроизвести все эти соотношения! Мы покрываем проволочную пирамиду каучуковой пленкой и проволочную ручку заменяем трубочкой, ведущей во внутрь замкнутые каучуковые пространства. Через эту трубочку мы легко можем вдуть и высасывать воздух. Данное количество воздуха представляется нам количеством масла, а натянутый каучуковый покров, обнаруживающий стремление к возможно большему сжатию и прилипающий к проволоке, представляет нам стремящуюся к уменьшению поверхность масла. И, действительно, вдывая и высасывая воздух, мы можем получить все прежние пирамиды, со стенками от самых выпуклых до самых вогнутых. Наконец, высосав весь воздух, мы получаем нашу мыльную фигуру. Каучуковые листочки совсем совпадают, становятся совершенно плоскими и четыремя острыми ребрами сходятся в центре пирамиды.

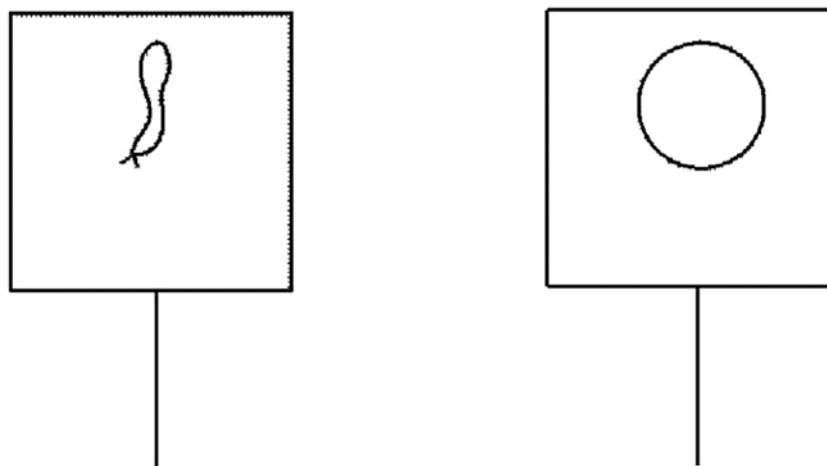


Рис. 4. Опыт с мыльной водой

На мыльных пленках это стремление к уменьшению, как показал Van der Mensbrugghe, может быть доказано непосредственно. Если в мыльный раствор погрузить проволочный квадрат с ручкой, то на нем образуется красивая плоская мыльная пленка. Положим на нее тонкую (шелковую) нитку, концы которой связаны. Если пробить жидкость, замкнутую ниткой, мы получим мыльную пленку с круглым отверстием, границы которого образуются ниткой, пленку, напоминающую плитку в кухне. Так как остаток пленки стремится к наивозможному уменьшению, то отверстие становится наибольшим, возможным при данной длине нитки, что достигается только в случае круглого отверстия.

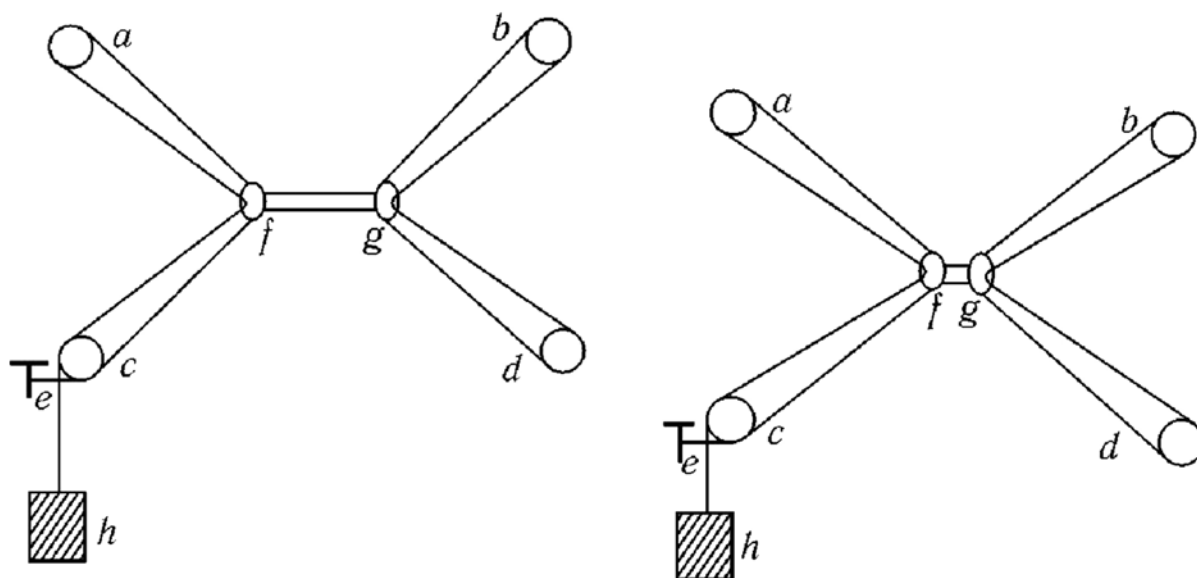


Рис. 5. Опыт с грузами

И свободная от действия тяжести масса масла тоже принимает форму шара на основании принципа наименьшей поверхности. Шар есть форма наименьшей поверхности при наибольшем объеме. Принимает же и дорожный сак тем больше форму шара, чем больше мы его наполняем.

Каким образом этот принцип наименьшей поверхности может привести к двум нашим странным параграфам? Выясним это на одном более простом примере. Пусть гладкая нитка, прикрепленная к гвоздю e , охватывает четыре неподвижных блока $a b c d$ и, пройдя через два подвижных кольца $f g$, носит на втором своем конце груз h .

Этот груз имеет одно только стремление – падать вниз, следовательно, часть нитки $e h$ возможно больше удлинить и, следовательно, остальную ее часть возможно укоротить. Нить должна остаться в связи с блоками и через кольца часть ее должна остаться в связи между собой. Условия здесь, следовательно, те же, что и в фигурах из жидкости, а потому и результат здесь получается подобный же. Если сталкиваются четыре пары шнурков, как это показано на фигуре справа, то на этом дело не кончается. Вследствие стремления нитки к сокращению кольца расходятся и притом так, что теперь везде сходятся три пары шнурков и между каждой парой образуются равные углы (в 120°). И действительно, именно при таком расположении достигается наибольшее сокращение нити, что может быть доказано с помощью элементарной геометрии.

Отсюда мы можем до некоторой степени понять образование прекрасных и сложных фигур вследствие одного стремления жидкости к наименьшей поверхности. Но тут возникает новый вопрос: почему же жидкости стремятся к наименьшей поверхности?

Частицы жидкости прилипают друг к другу. Капли, приведенные в соприкосновение друг с другом, сливаются. Мы можем сказать, что частицы в жидкости притягиваются друг к другу. Затем они стремятся по возможности приблизиться друг к другу. Части, находящиеся на поверхности, будут стремиться по возможности проникнуть внутрь массы жидкости. Этот процесс может завершиться только тогда, когда поверхность ее станет настолько малой, насколько это возможно при данных условиях, когда на поверхности останется возможно меньше частичек, когда внутрь ее массы проникнет возможно больше частичек, когда силам притяжения ничего более делать не останется³.

Таким образом суть принципа наименьшей поверхности, который на первый взгляд представляется принципом довольно невинного значения, сводится к другому еще более простому принципу, который можно наглядно выразить следующим образом. Силы притяжения и отталкивания природы мы можем рассматривать как ее намерения. То внутреннее давление, которое мы чувствуем до совершения какого-нибудь действия и которое мы называем намерением, в конце концов не так уж сильно отличается по существу своему от давления камня на свою подставку или от влияния одного магнита на другой, чтобы нельзя было к тем и другим явлениям, по крайней мере в известном отношении, применить одно и то же название. Итак, природа имеет намерение приблизить железо к магниту, камень к центру земли и т. д. Когда такое намерение может быть осуществлено, оно осуществляется. Но без всяких намерений природа не делает ничего. В этом отношении она поступает вполне так, как какой-нибудь хороший делец.

Природа стремится опустить грузы возможно ниже. Мы можем поднять груз, если заставим опуститься вниз другой, больший груз, и если удовлетворим другое, более сильное намерение природы. Если же нам кажется, что мы хитро пользуемся природой, то при ближайшем рассмотрении дело оказывается совсем иначе: оказывается, всегда, что именно она воспользовалась нами, чтобы осуществить свои намерения.

Равновесие, покой существуют лишь тогда, когда природа не может достичь ни одной из своих целей, когда силы ее удовлетворены настолько, насколько это возможно при данных условиях. Так, например, тяжелые тела находятся в равновесии, когда так называемый центр тяжести их находится возможно ниже или, когда возможно ниже опускается столько груза, сколько было возможно при данных условиях.

Трудно отказаться от мысли, что этот принцип сохраняет свое значение и за пределами области так называемой неживой природы. И в государстве

³ Такие задачи на максимум или минимум играют большую роль во всех почти хорошо разработанных частях физики.

равновесие существует тогда, когда намерения партии удовлетворены настолько, насколько это возможно в данный момент, или – как это можно было бы выразиться, шутя на языке физики – когда социальная потенциальная энергия достигает минимума⁴.

Вы видите, наш принцип купца-скопидома богат последствиями. Результат самого трезвого исследования, он стал для физики столь же плодотворным, как сухие вопросы Сократа для науки вообще. Если этот принцип кажется слишком мало идеальным, то зато тем идеальнее его плоды.

И почему бы науке стыдиться такого принципа? Что она сама такое? Дело – и больше ничего!⁵ Ставит же она своей задачей – при возможно меньшей затрате труда, в возможно более короткое время, с возможно меньшим даже запасом идей достичь возможно большего в деле познания вечной, бесконечной истины.

О скорости света⁶

Когда перед судьей стоит ловкий мошенник, прекрасно умеющий изворачиваться и лгать, то главной задачей первого является вытянуть у второго сознание парой-другой ловко поставленных вопросов. Почти в подобном же положении находится как будто и естествоиспытатель перед лицом природы. Правда, он чувствует себя в данном случае не столько как судья, сколько как шпион, но цель остается одной и той же. В тайных своих мотивах и законах, по которым совершаются в ней явления, – вот в чем должна сознаться природа. Узнает ли он что-нибудь или нет, зависит от хитрости исследователя. Не без основания, поэтому, *Бекон Веруламский* назвал экспериментальный метод допросом, учиненным природе. Все искусство заключается в том, чтобы так поставить вопросы, чтобы они не могли быть оставлены без ответа, без нарушения приличий.

Посмотрите-ка еще на многочисленные инструменты и аппараты, во всеоружии которых исследователь приступает к допросу природы и которые делают будто смешными слова поэта: «Что она тебе открыть не может, то ты не выудишь у нее никакими рычагами и винтами». Рассмотрите эти аппараты, и аналогия с орудием пытки будет напрашивается сама собой.

Воззрение на природу, как на нечто намеренно от нас скрытое, разоблачение чего возможно только при помощи насильственных и недобросовестных средств, было некоторым древним мыслителям более близко, чем нам. Один греческий философ, говоря о естествознании своего времени, выска-

⁴ Сходные с этим рассуждения см. Quetelet, «du systeme sociale»

⁵ Сама наука может рассматриваться, как задача на максимум и минимум, подобно торговому делу купца. Да и вообще вовсе не так уже велика разница между духовной деятельностью научного исследователя и деятельностью повседневной жизни, как это обыкновенно себе представляют.

⁶ Лекция, прочитанная в Граце в 1866 году.

зал мнение, что богам может быть только неприятно, когда люди пытаются узнать то, чего они открывать им не желают⁷. Правда, с этим соглашаются далеко не все его современники. Следы этого воззрения можно найти и в современное время. В общем и целом, однако, мы в настоящее время не так уж ограничены. Мы верим уже, будто природа намеренно от нас скрывается. Из истории науки мы знаем уже, что иногда вопросы наши были бессмысленно поставлены, так что и не могло быть на них никакого ответа. Более того, мы скоро увидим, что и сам человек со всем своим мышлением, со всеми своими исследованиями есть ничто иное, как часть все той же жизни природы.

Но будете ли вы смотреть на инструменты физики, как на орудие пытки или орудие ласки, как вам больше понравится, во всяком случае вам будет же интересно познакомиться с частицей истории этих орудий, во всяком случае не будет же вам неприятно узнать, какие своеобразные затруднения привели к столь странным формам этих аппаратов.

Галилей (род. в 1564 г. в Пизе, ум. в 1642 г. в Арчетри) первый задался вопросом, как велика скорость света, т. е. в течение какого времени появившийся в каком-нибудь месте свет становится видимым на другом месте, отстоящем от первого на определенном расстоянии?⁸

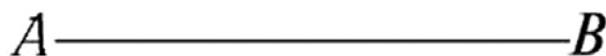


Рис . 6

Метод, придуманный *Галилеем* для решения этого вопроса, был столь же прост, как и естественен. Два опытных наблюдателя, снабженных потайными фонарями, были помещены в ночное время на значительном расстоянии друг от друга, один в А, другой в В. Первый должен был в определенное время открыть свой фонарь. Второй должен был сделать то же самое, как только заметит свет первого. Ясно, что время, прошедшее от момента, в который человек в А открывает свой фонарь, до момента, в который он видит свет второго фонаря, и есть то время, которое нужно свету, чтобы пройти из А в В и обратно из В в А. Этот опыт не был осуществлен никогда, да и не мог, как это скоро понял сам *Галилеи*, увенчаться успехом.

Как мы знаем уже в настоящее время, свет распространяется слишком быстро, чтобы можно было его таким образом наблюдать. Время, прошедшее от прибытия света в В до восприятия его наблюдателем, время между решением открыть фонарь и исполнением этого решения, как мы теперь знаем, несравненно больше, чем время, нужное свету для прохождения земных расстояний. Как велика скорость света, мы убедимся из того, что молния в

⁷ Ксенофонт (Memorabil. IV. 7)

⁸ Galilei, Discorsi e dimonstrazione mathematiche. Leyden. 1638. Dialogo primo.

темную ночь освещает сразу огромную площадь, тогда как удары грома, отдающиеся эхом один за другим в различных местах, доходят до уха наблюдателя в заметные промежутки времени.

Таким образом, старания Галилея определить скорость света не привели в его время ни к чему. Тем не менее дальнейшая история измерения скорости света тесно связана с его именем, потому что он с помощью устроенного им телескопа открыл четыре спутника Юпитера, а эти последние и стали средством для того, чтобы определить искомую скорость.

Земные пространства были слишком малы для опыта *Галилея*. Определение оказалось удачным только после того, как обратились за помощью к пространствам нашей планетной системы.

Это удалось сделать *Олофу Ремеру* (род. в Аар гусе в 1644 г., ум. в Копенгагене в 1710 г.) в 1675-1676 гг. Вместе с *Кассинион* делал наблюдения в Парижской обсерватории над обращением спутников Юпитера.

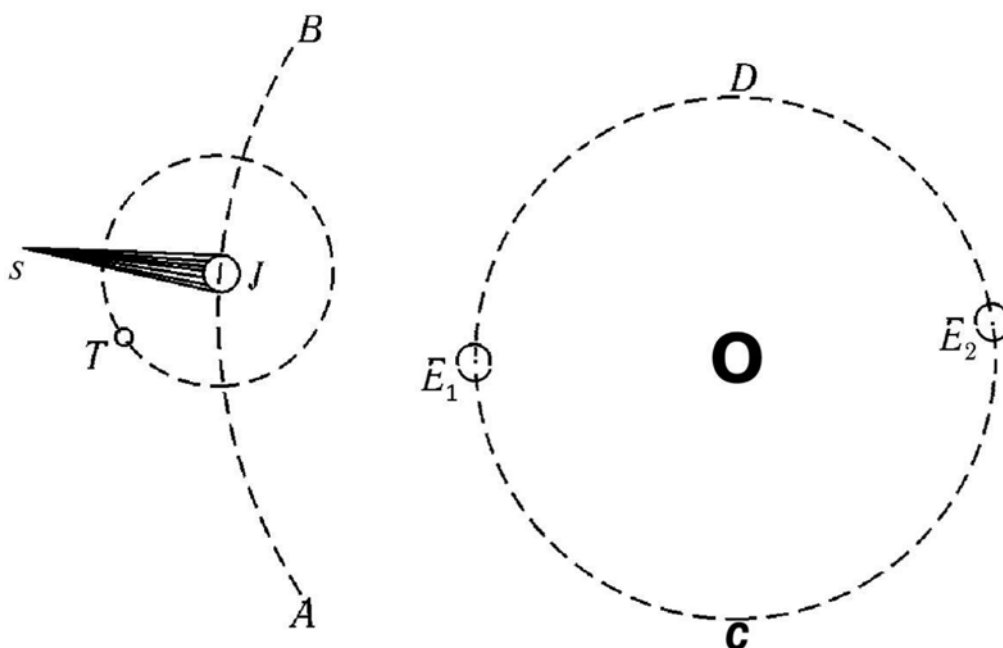


Рис. 7 Опыт Ремера

Пусть линия AB есть путь Юпитера. Пусть S есть Солнце, E – Земля, J – Юпитер и T – его первый спутник. Когда Земля находится в E_1 , мы видим, как спутник вступает в тень Юпитера, и на основании этого периодического затмения мы можем вычислить время его обращения вокруг Юпитера. *Ремер* определил его в 42 часа 27 минут и 33 секунды. Когда же Земля, двигаясь по своей орбите и пройдя точку C , приходит в E_2 , то кажется, что время обращения спутника удлиняется, затмения наступают несколько позже. Когда Земля находится в E_2 затмение опаздывает на 16 минут 26 секунд. Когда Земля проходит через D снова в E_1 , обращение спутника становится

как будто опять быстрее, и когда Земля достигает точки T_1 , то оно становится таким же, как и раньше. Нужно заметить при этом, что за то время, пока Земля сделает полный оборот вокруг Солнца, Юпитер успеет пройти очень небольшую часть своего пути. *Ремер* тотчас же догадался, что эти периодические изменения времени обращения могут быть не действительными, а только кажущимися, стоящими в связи со скоростью света.

Уясним себе это явление наглядным образом. Предположим, что правильно приходящая почта приносит нам известия о политических событиях в каком-либо городе. Как бы далеко от этого города мы не находились, мы узнаем о каждом событии, правда, позже, но *одинаково* поздно обо всех. События совершаются для нас с той же быстротой, как и в действительности. Но если мы находимся в пути и удаляемся от этого города, то всякое новое известие должно приходить к нам позже, и события кажутся нам совершающимися медленнее, чем на самом деле. Обратное произойдет, если мы будем приближаться к городу.

Пока мы остаемся в покое, мы слышим какое-нибудь музыкальное произведение в одном и том же темпе, на каком расстоянии мы бы не находились. Этот темп должен казаться нам быстрее, когда мы быстро приближаемся к тому месту, где играет оркестр; он должен замедляться, когда мы быстро удаляемся от этого места.

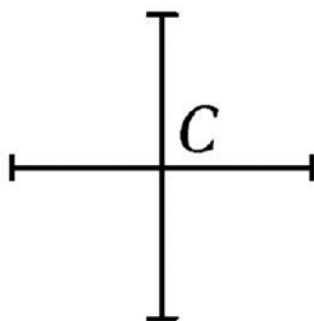


Рис. 8 Крест

Представьте себе крест (рисунок 8), равномерно вращающийся вокруг своего центра, например, крылья ветряной мельницы. Этот крест представляется вам вращающимся медленнее, когда вы очень быстро удаляетесь от него. Свет, который в данном случае играет роль почты, приносящий вам известия о положении креста, должен в каждый последующий момент проходить все большее и большее расстояние.

То же самое должно происходить и при вращении спутника Юпитера. Наибольшее запаздывание затмения в то время, как

Земля переходит из E_1 в E_2 и удаляется, следовательно, от Юпитера на расстояние своей орбиты, соответствует, очевидно, тому времени, в которое свет проходит этот диаметр. Диаметр этот известен, запаздывание тоже. От-

сюда легко вычислить скорость света, т. е. путь, проходимый светом в одну секунду. Он составляет 42 000 географических миль или 300 000 километров.

Этот метод сходен с методом *Галилея*. Средства здесь только лучше выбраны. Вместо того небольшого расстояния мы пользуемся диаметром земной орбиты (41 миллион миль); роль фонаря, который то закрывается, то открывается, играет спутник Юпитера, который то затмевается, то снова показывается. Таким образом, *Галилею* не удалось выполнить своего измерения, но фонарь, при помощи которого оно было выполнено, открыт им.

Это прекрасное открытие вскоре перестало удовлетворять физиков. Искали более удобные способы, чтобы измерить скорость света на земле. Это можно было сделать после того, как стали известны сопряженные с этим трудности. Физо (род. в 1819 г. в Париже) произвел такие измерения в 1849 г.



Рис. 9 Опыт Физо

Попробую объяснить вам сущность аппарата *Физо*. Пусть *S* обозначает диск, снабженный у краев отверстиями и вращающийся около своего центра. Пусть *L* есть источник света, посылающий свои лучи на непокрытом ничем стеклянную пластинку *A*, наклоненную к оси диска под углом в 45° . Луч света отражается в этой пластинке, проходит через одно из отверстий в диске и падает перпендикулярно на зеркало *B*, помещенное, допустим, на расстоянии одной мили от *S*. От зеркала *B* луч отражается, снова проходит через одно из отверстий диска, отражается от стеклянной пластинки и попадает в глаз наблюдателю *O*. Таким образом, глаз видит через стеклянную пластинку и отверстие в диске пламя *L*, отраженное в зеркале *B*.

Если мы будем вращать диск, то отверстия его будут постоянно сменяться промежутками между ними, и наблюдатель будет видеть отражения света в зеркале *B* с перерывами. Если быстро вращать диск, перерывы эти становятся незаметны для глаза и наблюдатель снова видит зеркало *B* равномерно освещенным.

Все это происходит только в случае не очень большой скорости враще-

ния диска, а именно, если свет, дойдя через отверстие диска до зеркала B и отразившись обратно, находит отверстие почти в том же положении и проходит сквозь него второй раз. Теперь представьте себе, что скорость эта настолько возросла, что луч, отразившись от зеркала и вернувшись к диску, находит вместо отверстия промежуток. Очевидно, что он тогда достичь глаза не может. Зеркало B видно только в том случае, когда до него доходит свет. Когда же свет от него отходит к глазу, оно оказывается закрытым. Вследствие этого зеркало всегда будет казаться темным.

Если еще более увеличить скорость вращения, то луч света, вернувшись от зеркала, мог бы попасть если не в тоже самое отверстие, то в соседние, и таким образом достичь глаза.

Следовательно, при постоянно и непрерывно увеличиваемой скорости вращения зеркало B являлось бы попеременно то светлым, то темным. Ясно, что если число отверстий в диске, число оборотов его в секунду и путь SB известны, то можно вычислить скорость света. Результат этого вычисления совпадает с тем, который был получен *Ремером*.

Дело, впрочем, обстоит не так просто, как я это изобразил. Нужно принять меры, чтобы свет проходил путь SB не рассеиваясь. Это достигается с помощью труб.

Если мы присмотримся ближе к аппарату *Физо*, то мы найдем в нем что-то знакомое: ту самую диспозицию, которая предполагалась и в опыте *Галилея* – L заменяет собой фонарь A , вращающийся диск с отверстиями регулярно закрывает и открывает его. Вместо неловкого наблюдателя B мы находим зеркало B , которое становится светящимся уж несомненно в тот самый момент, когда до него свет от S . Диск S , то пропуская, то не пропуская сквозь себя возвращающиеся лучи света, оказывает помощь наблюдателю O . Опыт *Галилея* здесь, так сказать, повторяется громадное число раз в секунду и суммарный результат его может быть действительно наблюдаем. Если бы я позволил себе применить к этой области теорию Дарвина, я сказал бы, что аппарат *Физо* ведет свое происхождение от фонаря *Галилея*.

Еще более остроумным методом для измерения скорости света воспользовался *Фуко*, но описание его здесь завело нас слишком далеко.

Измерение скорости света удастся произвести и по методу *Галилея*. Здесь, следовательно, не приходилось уже ломать голову над отысканием лучшего метода. Но мысль, вызванная к жизни необходимостью, нашла себе применение и в этой области.

Кениг в Париже устроил аппарат для измерения скорости звука, напоминающий метод *Физо*. Устройство его очень несложно. Он состоит из двух электрических приборов, отбивающих вполне одновременно десятые доли секунды. Если оба прибора поставить рядом, то где бы мы не стояли, удары их будут слышны одновременно. Но если один из них мы поставим рядом

с собой, а другой отнесем на значительное расстояние, то в общем совпадение ударов уже наблюдаться не будет. Соответственные удары второго прибора будут достигать нашего уха позднее. Первый удар его будет следовать непосредственно за первым ударом прибора, около которого мы стоим и т. д. Делая расстояние между приборами еще больше, можно достичь того, что снова наступит совпадение ударов. Первый удар одного будет совпадать со вторым ударом другого, второй с третьим и т. д. Ясно, что если приборы отбивают десятые доли секунд и если мы знаем расстояние, на которое они должны быть удалены друг от друга, чтобы наступило первое совпадение ударов, мы знаем путь, который проходит звук за одну десятую долю секунды.

Перед нами здесь явление, встречающееся довольно часто. Какая-нибудь мысль с великим трудом развивается в течение столетий, но, раз развившись, она становится, так сказать, весьма плодотворной. Она проникает повсюду, не исключая и таких голов, в которых она никогда развиваться не могла бы. Она становится прямо неискоренимой.

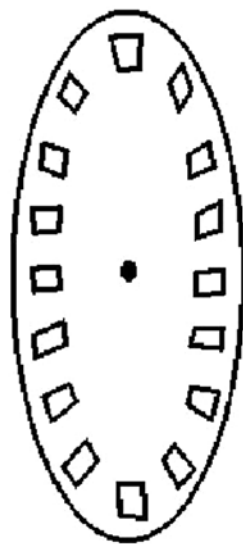


Рис. 10 Зеркало

Определение скорости света – не единственный случай, в котором непосредственное восприятие наших чувств становится слишком медлительным и неповоротливым. Самое обычное средство для изучения слишком быстрых процессов непосредственным наблюдением заключается в том, что устанавливается взаимодействие между процессами, подлежащими исследованию, и другими процессами, которые нам уже знакомы и поддаются сравнению с теми в отношении своей скорости. Результат в большинстве случаев получается весьма наглядный и дает возможность делать заключения о том, как происходят неизвестные пока процессы.

Скорость распространения электричества определить непосредствен-

ным наблюдением невозможно. Но *Уитстон* попытался определить ее, наблюдая электрическую искру в зеркале, вращающемся с огромной, но известной скоростью.

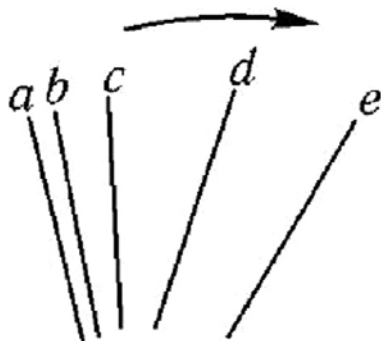


Рис. 11 Стрежни

Когда мы размахиваем взад и вперед каким-нибудь стержнем, то одного непосредственного наблюдения недостаточно, чтобы определить, какой скоростью он обладает в каждой точке своего пути. Но будем рассматривать наш стержень сквозь отверстия, расположенные по краям быстро вращающегося диска. Мы видим тогда движущийся стержень только в определенных положениях, когда отверстие проходит перед нашим глазом.

Отдельные образы стержня остаются на некоторое время в глазу. Нам кажется, что мы видим несколько стержней (см. рисунок 11). Если отверстия в диске расположены на равном расстоянии друг от друга и диск вращается равномерно, то мы ясно видим, что от *a* до *b* наш стержень движется медленно, от *b* до *c* быстрее, от *c* до *d* еще быстрее и всего быстрее от *d* до *e*.

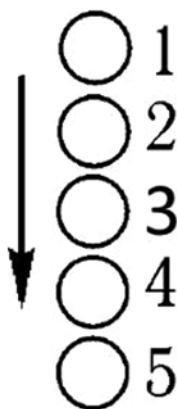


Рис. 12 Смещение отверстий

Водяная струя, вытекающая из какого-нибудь сосуда, кажется совершенно спокойной и равномерной. Если же, однако, ее мгновенно осветить в темноте электрической искрой, то мы видим, что струя состоит из отдельных капель. Так как они капают быстро, то отдельные образы их сливаются и

струя представляется непрерывной. Рассмотрим эту струю через вращающийся диск. Заставим этот диск вращаться с такой быстротой, чтобы в то время, когда второе отверстие встанет на место первого, и первая капля становилась на место второй, вторая на место третьей и т. д. Мы увидим тогда капли все на одном и том же месте. Струя будет представляться неподвижной. Если же мы станем вращать наш диск несколько медленнее, то в то время, когда второе отверстие станет на место первого, первая капля упадет несколько ниже второй, вторая несколько ниже третьей и т. д. Через каждое последующее отверстие мы будем видеть каплю несколько ниже. Будет казаться, что струя медленно течет вниз.

Но начнем вертеть диск быстрее. В этом случае, пока второе отверстие станет на место первого, первая капля еще может не дойти до второго места, и мы найдем ее несколько выше, вторую несколько выше третьей и т. д. Через каждое последующее отверстие мы увидим каплю несколько выше. Получится такой вид, будто бы струя течет вверх, будто капли поднимаются из нижнего сосуда в верхний.

Вы видите, как физика становится все более и более страшной. Скоро настанет момент, когда физика будет в состоянии играть роль рака в Моринском озере, в столь ужасных чертах описанную поэтом *Копишом* в следующем стихотворении.

Der grosse Krebs im Mohriner See

Von Kopisch

Die Stadt Mohrin hat minin' acht,
Guckt in den See bei Tag und Nacht:
Kein gutes Christenkind erlebt's,
Dass los sich reisst der grosse Krebs!
Er ist im See mit Ketten geschlossen unten an,
Weil er dem danzen Lande Verderben bringen kann!
Man sagt: er ist viel Meilen gross
Und wend't sich oft, und kommt er los,
So wahr't's nicht lang, er kommt ans Land,
Ihm leistet keiner Widerstand:
Und weil das Riickwartsgehen bei Krebsen alter Brauch,
So muss dann alles mit ihm zurucke gehen auch.
Das wird ein Riickwartsgehen sein!
Steckt einer was ins Maul hinein,
So kehrt der Bissen, vor dem Kopf,
Zuriick zum Teller und zum Topf!
Das Brot wird wieder zu Mehle, das Mehl wird wieder zu Korn –

Und alles hat beim Gehen den Riicken dann von vorn.
 Der Balken lost sich aus dem Haus
 Und rauscht als Baum zum Wald hinaus;
 Der Baum kriecht wieder in den Keim,
 Der Ziegelstein wird wieder Leim,
 Der Ochse wird zum Kalbe, das Kalb geht nach der Kuh,
 Die Kuh wird auch zum Kalbe, so geht es immer zu!
 Zur Blume kehrt zuriick das Wachs,
 Das Hemd am Leibe wird zu Flachs,
 Der Flachs wird wieder blauer Lein
 Und kriecht dann in den Acker ein.
 Man sagt beim Burgermeister zuerst die Not beginnt,
 Der wird vor alien Leuten zuerst ein Pappelkind.
 Dann muss der edle Rat daran,
 Der wohlgewitzte Schreiber dann;
 Die erbgesses'ne Burgerschaft
 Verliert gemach die Biirgerkraft.
 Der Rektor in der Schule wird wie ein Schulerlein,
 Kurz eines nach dem andern wird Kind und dumm und klein.
 Und alles kehrt ini Erdenschoss Zuriick zu Adams Erdenkloss.
 Am langsten halt, was Flugel hat;
 Doch wird zuletzt auch dieses matt:
 Die Henne wird zum Kiichlein, das Kuchlein kriecht ins Ei,
 Das schlagt der grosse Krebs dann mit seinem Schwanz entzwei!
 Zum Glicke kommt's wohl nie so weit!
 Noch bliiht die Welt in Frohlichkeit:
 Die Obrigkeit hat wacker acht,
 Dass sich der Krebs nicht locker macht;
 Auch fur dies arme Liedchen war'das ein schlechtes Gluck:
 Es lief tot Mund der Leute ins Tintenfass zuriick.

(Перевод)

Великий рак в Моринском озере **Стихотворение Копиша**

Город Морин всегда настороже, наблюдает за озером и день и ночь: не дай Бог никому дожить, чтоб вырвался великий рак! Цепями он прикован ко дну озера, потому что он грозит гибелью всей стране! Говорят: он величинной во много миль и часто поворачивается. Стоит ему оторваться, и он скоро явится на землю и тогда никто и ничто ему противостоять не сможет; а так как раки с давних пор пятятся назад – уж таков старинный их обычай! – то и все должно с ним пятиться назад. То-то будет движение вспять! Если кто

возьмет что-либо в рот, кусок повернется ото рта к тарелке, а там и в горшок! Хлеб снова превратится в муку, мука в пшеницу и все будет двигаться задом наперед. Стропила оставят свои дома и, превратившись в деревья, с шумом двинутся в лес; дерево сползет в землю, снова станет ростком, кирпич снова станет глиной, вол превратится в теленка, теленок двинется к корове, но и та станет теленком и т. д. и т. д.! Собранный воск вернется к цветку, рубаха снова станет льном, лен снова станет льняным семенем, и сползет в распаханную пашню. Говорят, беда постигнет прежде всего бургомистра: он раньше всех превратится в малого ребенка. Затем настанет очередь благородного советника, за ним очередь остроумца-писаря; мало-помалу родовое мещанство будет терять свое значение и силу. Сам директор школы станет не больше самого малого ученика. Одним словом, все один за другим станут детьми и глупыми и малыми. И все вернется к миру Адама. Дольше всех продержатся твари, имеющие крылья. В конце концов, однако, дойдет очередь и до них: курица станет цыпленком, цыпленок ползет в яйцо, которое разобьет своим хвостом великий рак. К счастью, дело никогда так далеко не заходит! Процветает еще наш мир на радость нам: начальство зорко следит за тем, чтобы рак цепей не разорвал; даже для этой песенки было бы тогда плохо дело: она с уст читателя сбежала бы в чернильницу обратно.

Разрешите мне несколько замечаний общего характера. Вы заметили уже, что целый ряд аппаратов, служащих для различных целей, часто имеют в своей основе один и тот же принцип. Нередко таким принципом является почти неуловимая, но весьма плодотворная идея, приводящая ко всякого рода усовершенствованиям в области физической техники. Здесь дело обстоит так же, как и в обыденной практической жизни.

Колесо телеги представляется нам вещью в высшей степени простой и неважной. Но изобретатель его был, наверное, гением. Быть может, простая случайность заставила обратить внимание на то, как легко передвигать тяжести, пользуясь каким-нибудь валиком, например, круглым стволом дерева. И вот сделать один шаг дальше, от простого, подкладываемого под предмет валика к валику укрепленному, к колесу, очень легко. Однако же это представляется столь легким нам, с детства знакомым с колесом. Но представим себя в положении человека, который никогда не видел колеса, который должен впервые изобрести его. Мы почувствуем тогда, каких это стоило трудов. Пожалуй, нам придется усомниться в том, действительно ли это было делом одного человека, или, быть может, нужны были столетия для того, чтобы из валика образовалось первое колесо.

Тех двигателей прогресса, которые построили первое колесо, не называет никакая история, они жили задолго до исторического времени. Никакая академия не награждала их, никакое общество не выбирало их в свои почетные

члены. Они продолжают жить лишь в великолепных результатах их благотворной деятельности. Отнимите у нас колесо, и едва ли многое сохранится от всей техники и индустрии нового времени. Исчезнет все: от самопрядки до прядильни с паровыми машинами, от токарного станка до прокатной машины, от простой тачки до поезда железной дороги – все сгниет.

Такое же значение имеет колесо и в науке. Вращательные аппараты, как простейшее средство вызвать быстрое движение без перемены места, играют роль во всех отделах физики. Вы знаете, вращающиеся зеркала *Уитстона*, зубчатое колесо *Физо*, вращающиеся, снабженные отверстиями диски *Плато* и т. д. Все эти аппараты построены в сущности по одному и тому же принципу. Они отличаются друг от друга не больше, чем по назначению своему должны отличаться один от другого карманный нож, нож анатома или виноградарский нож. Почти то же самое можно сказать и относительно винта.

Вам уже ясно, я надеюсь, что новые идеи возникают не вдруг. И идеям нужно время, чтобы произрастать и расцвести, чтобы развиваться, подобно каждому существу природы: ведь человек со всем своим мышлением тоже является частью природы.

Медленно, постепенно, с трудом преобразовывается одна мысль в другую, как, по всей вероятности, совершается постепенный переход одного животного вида в другой. Много идей появляется одновременно. Они ведут свою борьбу за существование не иначе, чем ихтиозавр или лошадь.

Немногие выживают, чтобы затем быстро распространиться по всем областям знаний, снова развиваться, делиться и снова начать борьбу за свое существование. Подобно тому, как давно выродившийся животный вид, представитель какой-нибудь прошлой эпохи сохраняется в некоторых глухих местностях, где он защищен от нападения врагов, так мы находим давно изжитые, преодоленные идеи, которые продолжают жить еще в головах некоторых людей. Кто внимательно наблюдает себя, тот должен признать, что идеи столь же упорно борются за свое существование, как и животные. Кто станет отрицать, что кое-какие преодоленные уже воззрения долго продолжают еще гнездиться в глухих уголках мозга, не решаясь выступить вперед в стройный ряд ясных идей? Какой исследователь не знает, что в процессе развития его идей ему приходится вести жесточайшую борьбу с самим собой?

С подобными же явлениями естествоиспытатель сталкивается повсюду, в вещах самых незначительных. Истый естествоиспытатель занимается наблюдением природы повсюду, даже на прогулке, даже на одной из оживленнейших улиц города. Если он не слишком ученый, он замечает, что некоторые вещи, например, дамские шляпы, подвержены изменениям. Специально я этим предметом не занимался, но одно я помню: что одна форма постепенно

переходит в другую. Когда-то носили шляпы с широкими полями. И глубоко под ним скрыто было лицо красавицы, едва видимое в телескоп. Но поля становились все короче, и шляпа все суживалась, превращаясь в иронию над шляпой. Зато над ней стала вырастать огромная крыша, и один Господь только ведает, до каких размеров это дойдет. Дамские шляпы, что бабочки, разнообразие форм которых часто бывает основано только на том, что какой-нибудь небольшой нарост на крыльях у одного из родственных видов развивается в большую отдельную долю крыла. И природа имеет свои моды, но они существуют столетия. Я мог бы привести в доказательство этой мысли еще кое-какой пример, например, рассказать о происхождении фрака, если бы я не боялся, что моя болтовня слишком уж наскучит.

Итак, мы познакомились с одним отрывком из истории науки. Чему же он научил нас? Такая маленькая, ничтожная, можно сказать, задача, как измерение скорости света, а над решением ее пришлось работать несколько столетий! Три самых выдающихся естествоиспытателя, итальянец *Галилей*, датчанин *Ремер* и француз *Физо* честно разделили между собой этот труд. И то же самое происходит при решении бесчисленного множества других вопросов. Много цветков мысли должны увянуть, не расцветая, прежде чем расцветет один. Вдумаемся в это, и мы только тогда поймем вполне правдивые, но мало утешительные слова: «много званых, но мало избранных».

И об этом свидетельствует каждая страница истории! Но справедлива ли история? Действительно ли только те являются избранными, кого она называет? Действительно ли напрасно жили и боролись те, которые не удостоились награды.

Я готов усомниться в этом. И в этом усомнится всякий, кому знакомы мучительные мысли бессонных ночей, которые, часто оставаясь долго бесплодными, в конце концов ведут все же к цели. Ни одна мысль не была здесь напрасной, а каждая, даже самая ничтожная, даже ложная, даже самая неплодотворная, как будто расчищала путь следующей, плодотворной. Как в мышлении отдельного человека нет ничего, что было бы напрасно, так нет этого и в мышлении человечества!

Галилей хотел измерить скорость света. Ему пришлось сойти в могилу, не выполнив этого, но он, по крайней мере, нашел фонарь, с помощью которого это удалось сделать его преемнику. И я имею, поэтому, право утверждать, что все мы, если только этого хотим, работаем над делом культуры будущего. Будем, поэтому, все работать как следует, и мы все будем званые, все избранные.

ACTUAL MATTER PUBLISHED IN THE LAST YEARS

In this issue, the Editorial Board of «Nanostructures. Mathematical Physics and Modeling» opens the new column «Actual matter published in the last years». This column will present some selected materials from various publications in the past years. In this issue, we call the reader's attention to several parts of the book by Ernst Mach «Popular Scientific Lectures» published in 1895. The book translated by G.A. Kotlyar was first published in Russia under the title «Popular Lectures on Physics» in 1909. Nowadays, the book was published by NITs «Regular and Chaotic Dynamics» in 2001. (Mach E. Popular Lectures on Physics// NITs Regular and Chaotic Dynamics, Izhevsk, 2001, 128 pages.). The Publishing house kindly allowed us to reprint several parts of the book which is deeply appreciated by the NMPHM Editorial board.

E. Mach
Popular Lectures on Physics

**Shape of liquid.
About the speed of light.**