



Академик Л.И. Мандельштам

**ВСТУПИТЕЛЬНАЯ ЛЕКЦИЯ  
К КУРСУ ФИЗИКИ  
В ОДЕССКОМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ  
ИНСТИТУТЕ**

**Октябрь 1918 г.**

Воспроизведено по изданию:  
Акад. Л.И. Мандельштам. К 100-летию со дня  
рождения.  
М., Изд. "Наука", 1979 г., стр. 245-254

Приступая к чтению лекций по физике, я хотел бы, прежде чем перейти к систематическому изложению предмета, остановиться сегодня на одном общем вопросе и поделиться с вами некоторыми соображениями насчет того положения, которое физика занимает и, по моему убеждению, должна занимать в ряде наук, изучению которых вы собираетесь посвятить ближайшие годы.

Мне хотелось бы дать вам материал, на основании которого вы могли бы сами убедиться, что физика нужна инженеру всегда, во все времена его деятельности и что на нее нельзя смотреть как на предмет, который нужно - да и нужно ли? - раз пройти, а потом можно и забыть, так как ведь все равно то, что необходимо знать инженеру из физики, еще раз повторяется при прохождении специальных предметов.

Говоря, что инженеру нужна физика, я имею в виду не только то, что он должен быть знаком с теми отдельными явлениями и законами, с которыми он непосредственно встречается в своей практической деятельности. Такое утверждение было бы само собой очевидным. Что инженер-строитель, рассчитывая прочность сооружения, должен быть знаком с основными законами упругости, что инженер-электротехник в проектировании, скажем, осветительной сети должен знать закон Ома, связывающий силу тока, сопротивление или, другими словами, сечение провода и электродвижущую силу батареи и т. д. - это, конечно, не нуждается в доказательстве. Нет, когда я говорю, что инженеру нужна физика, я этим хочу сказать, что ему нужно широкое владение этим предметом в его совокупности; я утверждаю, что ему нужно знание физики самой по себе как цельной дисциплины, а не только в зависимости от текущих применений, с ее специфической методикой. Я утверждаю, наконец, что для этого инженеру недостаточно знать только опытную часть ее, а что он должен быть основательно знаком и с теорией.

Но для того чтобы показать, что это действительно так, мы прежде всего должны постараться уяснить себе структуру физики как науки и посмотреть, в каком соотношении находятся теория и тот опытный материал, которым физика оперирует.

Конечно, мы не можем решать здесь вопроса о сущности физической науки во всей его полноте. Этот вопрос, относящийся к теории познания и крайне интересный как для физика, так и для философа, значительно более сложен, чем это может показаться на первый взгляд. В истории философской мысли он всегда занимал важное место. Но нам

для нашей цели и нет надобности особенно сильно в него углубляться. Нам достаточно будет заняться только одной его стороной, хотя, правда, и здесь нам придется начать несколько издалека.

Не подлежит сомнению, что единственным средством, с помощью которого мы черпаем наши сведения об окружающем нас мире, являются наши органы чувств. Но единичные чувственные восприятия слишком мимолетны и неустойчивы, чтобы служить материалом для дальнейшей переработки. И вот человек выделяет и фиксирует в памяти те общие черты отдельных восприятий, которые повторяются и которые для него практически важны. Этот процесс, совершающийся произвольно, ведет к образованию того, что в логике называется понятием.

В образовании понятий состоит первый шаг по пути познания природы. Они являются той базой, на которой строится дальнейшее. Но образованные таким образом первоначальные понятия обладают, как мне кажется, следующим свойством. Они не поддаются строгому определению. Мы все владеем понятием "свет". Но объяснить словами, определить один другому сущность этого понятия мы не можем. Чтобы научиться ему, нужно иметь глаза, нужно видеть, как освещается все нас окружающее при восходе солнца и как погружается опять во мрак при его заходе. Если быть прозаичнее, тому же можно научиться, включая и выключая электрическую лампочку. Но одно несомненно - слова, определения здесь бессильны. Попробуйте объяснить слепому от рождения, что такое свет!

Возьмите другой пример (может быть, менее очевидный). Мы все знаем, что такое жидкость. Но я не думаю, чтобы можно было понятие жидкости определить исчерпывающим образом словами. Нужно показать воду, ртуть, спирт, масло и сказать: вот такие тела мы называем жидкостью. Другого способа нет.

Итак, одними словами первоначальным физическим понятиям научить нельзя. Вот почему, позвольте мне это здесь подчеркнуть, ни учебник, ни учитель недостаточны, чтобы научить физике. Учащийся должен хоть немного работать опытно сам. Он должен хоть поверхностно, но сам видеть, сам слышать, сам осязать те явления, о которых ему говорят.

Мы несколько отвлеклись в сторону. Вернемся к первым шагам по пути познания природы, к понятиям, непосредственно навязанным нам природой. По мере того как человечество увеличивало свой запас навязанных опытом понятий (опытных знаний), все настоятельнее являлась потребность в их систематизации, без которой нет возможности разобраться в бесконечном обилии окружающих нас явлений. В этой систематизации громадную службу оказывает нам наша способность образовывать другого рода понятия, понятия более определенные, чем те, о которых шла речь выше, и менее зависящие от наших чувств. В первую очередь сюда относятся понятие о числе и те понятия, которыми оперирует математика.

В области этих понятий, другими словами в области математического мышления, мы себя чувствуем несравненно более уверенно, чем при оперировании с материалом, непосредственно поставляемым нам нашими чувствами. При помощи математических понятий можно определенно формулировать посылки и так же определенно и легко делать из них выводы и заключения. И вот, зная за собой эту силу, человек старается - вначале

инстинктивно, а затем с развитием науки и сознательно - приспособить математические понятия и специально понятие о числе к сырому опытному материалу, к понятиям физическим.

В этом процессе перехода от качественных соотношений к количественным заключается важнейший этап научной мысли. На нем основано как понятие об измерении, так и сам процесс измерения физических величин. Можно смело утверждать, что какая-нибудь область физических явлений вообще становится наукой только с того момента, когда мы научаемся вводить в нее измерения. Так, например, пока не было точного понятия температуры и не умели ее измерять, науки о теплоте почти или даже совсем не существовало.

Пользуясь в описанном смысле математикой, мы стараемся теперь найти систему в окружающих нас явлениях и облегчить себе их понимание тем, что ищем такие математические формулы в общем, не непременно узко алгебраическом смысле слова, которые охватывали бы возможно большее число единичных фактов или общую сторону различных явлений. Если такая формула найдена, то мы говорим, что нашли физический закон. Возьмем пример. Закон преломления света при переходе из одной прозрачной среды в другую гласит, как известно, так: падающий и преломленный лучи лежат в одной плоскости и отношение между синусом угла падения и синусом угла преломления есть величина постоянная. Например, для воды и воздуха это отношение равно 1,33. Что представляет собой этот закон? Это формула, охватывающая бесчисленное множество единичных случаев преломления. Она избавляет нас от необходимости делать в каждом отдельном случае опыт, она делает ненужным запоминать или заносить в таблицы для каждого отдельного случая угол падения и соответственный угол преломления луча. Зная закон преломления, вы уверены, что в любой момент, когда это вам понадобится, при помощи простейших вычислений вы сможете решить всякий представившийся в этом направлении вопрос.

По мере того как физические знания росли, по мере того как число найденных законов увеличивалось, все труднее и труднее становилось разобраться в их разнообразном обилии. Движимые опять необходимостью возможно лучше ориентироваться в этом громадном материале, люди старались найти такие картины, такие точки зрения, которые позволили бы объединить в одно целое отдельные законы. Так создавалась физическая теория или, вернее, теории.

Теория, таким образом, находится в таком же отношении к отдельным законам, в каком законы находятся к отдельным явлениям. Систематизирующая роль теории, конечно, не исчерпывает всей ее сущности, но все же, как вы видите, в систематизации наших знаний она имеет громадное значение. И тут математика является огромным подспорьем. Только что рассмотренные соотношения между различными сторонами физики и постепенное развитие их могут быть прослежены на любой физической теории. Очень просто это сделать, например, на оптике.

Оптика, между прочим, одна из самых древних научно разработанных отраслей физики. Изучение оптических явлений уже в древности привело к установлению некоторых законов. Закон прямолинейного распространения света, закон отражения от

зеркал были известны давно. Позже, в XVII в., был найден закон преломления. Смотря по тому, какая группа явлений подвергалась исследованию и с каких точек зрения к ним подходили, были устанавливаемы различные отрывочные законы. Было открыто явление дифракции или загибания света, интерференции и т.д. Но пока не было общей, объединяющей точки зрения, было чрезвычайно трудно разобраться во всей совокупности оптических явлений. Более того, отдельные законы, казалось, находились в противоречии друг с другом. Загибание света не вязалось, например, с прямолинейным распространением луча.

Так было до того, пока усилиями ряда гениальных физиков, из которых в первую очередь должны быть названы Гюйгенс и Френель, не удалось найти ту картину, которую мы теперь называем волнообразной теорией света и которая позволила объединить всю оптику в одно стройное целое. И все, что казалось сложно и противоречиво, сделалось простым и ясным.

А возьмите теорию всемирного тяготения Ньютона. Объединяя с гениальной смелостью столь разнородные на взгляд наших чувств явления, как падение камня и движение небесных светил, она грандиозна именно своей простотой. В одной простой формуле она содержит всю динамику всего мироздания.

Я ограничусь этими примерами. Может быть, в них осталось кое-что вам неясным. Это ничего. Понимание фактической стороны придет по мере того, как вы будете изучать физику, но я думаю, что для вас, по крайней мере в общих чертах, теперь выяснилось соотношение между ее опытной и теоретической сторонами.

Эти две стороны, как вы видели, тесно связаны между собой, они вместе представляют одно целое. В достижении нашей конечной цели - познания природы - могучим подспорьем, систематизирующим наш опыт и дающим возможность пользоваться материалом, является теория. Теория, а значит, и орудие, которым, как мы видели, она пользуется - математика, - не являются балластом и чем-то искусственно "пристегнутым" к науке о природе. Нет, она есть то орудие, без которого мы не были бы в состоянии осилить окружающий нас мир как в практическом смысле, так и в смысле удовлетворения умственных потребностей.

Поэтому я нахожу - не считайте это парадоксом, - что нельзя требовать знания только опытной физики, но вовсе не потому, что это слишком мало, а потому, что это слишком трудно. Более или менее полное знание опытной физики без помощи теории человеку не под силу.

Из тех же соображений я хотел бы, чтобы вы не оправдали того несколько злого слова, которое сказал знаменитый математик Клейн относительно уровня знания математики. Математику, сказал Клейн, забывают дважды - элементарную в университете и высшую - по выходе из университета.

Изложенный взгляд на систематизирующую роль теории очень хорошо иллюстрируется одним красивым сравнением, сделанным Пуанкаре.

Пуанкаре сравнивает всю физику с огромной библиотекой. Отдельные опытные данные, отдельные явления - это те томы, из которых библиотека состоит. Теория - это каталог нашей библиотеки. Как без каталога библиотека, особенно большая, представляет

собой лишь сборище книг, очень ценных книг, которыми в сущности продуктивно пользоваться нельзя, точно так же физика без теории не есть наука, а лишь довольно малоценный конгломерат отдельных фактов, разобраться в которых невозможно.

А теперь нам будет уже нетрудно ответить на тот вопрос, который мы поставили себе вначале. Нужна ли инженеру физика в ее целом, не достаточно ли ему знания отдельных, непосредственно для его практической работы нужных фактов? Ответ, мне кажется, ясен.

Чтобы продуктивно работать - позвольте мне говорить на языке сравнения Пуанкаре, - инженеру недостаточно прочесть и знать несколько книг из громадной библиотеки знания. Он должен быть знаком или, по крайней мере, уметь разбираться в каталоге всей библиотеки. А не то слишком часты будут те случаи, когда он натолкнется на такие явления, которых в его книгах нет. И тогда, если он не умеет разбираться в каталоге, он потеряется, он будет выхватывать наугад то одну, то другую книгу из огромной библиотеки, но, исключая какой-нибудь счастливый случай, он не найдет того, что ему нужно.

История техники знает немало примеров загадочных неудач, неудач повторных и имевших иногда весьма неприятные последствия. Очень часто оказывалось, что загадочность обуславливалась не присутствием действительно новых, до тех пор вообще неизвестных факторов, а отсутствием у тех, кто данными вопросами занимался, широкого физического горизонта. И когда за решение брались люди, обладавшие действительно широкими физическими знаниями, то загадка не только разъяснялась и находилась способ предотвратить неудачу, но часто открывались и новые пути для дальнейшего прогресса.

Остановимся на нескольких примерах. Во второй половине прошлого столетия стали обращать на себя внимание инженеров случаи непонятных обрушений мостов, особенно цепных мостов, которые в то время как раз строились в сравнительно большом количестве. Непонятных - потому, что мосты рушились под весьма небольшой тяжестью, которую они по расчету должны были свободно выдерживать и фактически раньше выдерживали. Повторные проверки не обнаруживали ошибочности расчетов, а катастрофы были налицо. Инженеры беспомощно стояли перед совершившимися несчастиями и не имели средств предотвратить их в будущем.

И только в последнем десятилетии прошлого века решение вопроса было найдено. Вот что оказалось. Цепной мост представляет собой не жесткую систему, а систему, которая может, подобно струне, совершать колебания, с той разницей, что струна колеблется быстро, совершая несколько сот колебаний в секунду, в то время как мост, если его заставить колебаться, совершает за секунду, скажем, одно или даже меньше колебаний. И вот при известных условиях нагрузки наступало так называемое явление резонанса, несшее гибель мосту.

Явление резонанса давно было известно физикам в области акустики. Оно состоит в следующем. Представьте себе натянутую струну. Она способна, если по ней ударить или провести по ней смычком, звучать в некотором определенном тоне, при этом она приходит в колебания со вполне определенной частотой. Каждому тону соответствует своя частота. Скажем, что наша струна способна совершать 435 колебаний в секунду. Это соответствовало бы тону "ля". Предположим, что струна находится в покое. Возьмем

теперь вблизи другую струну, которая тоже способна совершать 435 колебаний в секунду, и заставим эту струну звучать. Тогда окажется, что под влиянием колебаний нашей второй струны приходит в колебания - и сильные колебания - и первая. Это явление называется резонансом. Но если вторая струна имеет отличное от первой число колебаний, то первая струна молчит и на колебания второй струны не отвечает.

Объяснение явления резонанса несложно. Та струна, которую мы заставляем непосредственно колебаться, передает первой струне через воздух маленькие толчки, следующие друг за другом в темпе ее колебаний, т. е. каждую  $1/435$  сек один толчок. Каждый толчок сам по себе крайне незначителен. Первый толчок действительно приведет струну в ничтожно слабое колебание, но если темп этих колебаний и приходящих толчков один и тот же, то второй толчок придется как раз вовремя и усилит действие первого. Третий усилит колебания еще больше, и т. д. Произойдет накопление действия отдельных толчков, и в результате получается сильное звучание. Между тем если отдельные толчки следуют друг за другом невпопад, то действие одного будет уничтожаться действием следующего и заметного эффекта не будет.

Явление резонанса, изученное впервые в акустике, ею абсолютно не ограничивается. Звонарь на колокольне, раскачивающий тяжелый колокол, пользуется, хотя и бессознательно, тем же явлением. Он не в состоянии преодолеть тяжесть колокола одним усилием и поэтому он поступает так. Он дает веревке слабый толчок: колокол отклоняется, но очень незначительно, а затем возвращается обратно; как раз в момент возвращения звонарь дает следующий толчок и такими ритмичными, следующими в tempo колебаний колокола толчками он его раскачивает до тех пор, пока язык не ударит по колоколу. Вот почему, между прочим, звонить в тяжелый колокол, особенно снизу, при помощи веревки, т. е. в условиях, когда следить за колебанием нельзя, требует немалого навыка.

Теперь, я думаю, вам будет ясно, как явление резонанса может оказаться губительным для моста. Представьте себе, и это действительно бывало при некоторых катастрофах, что по мосту проходит военный отряд, идущий в ногу. Отдельные толчки, производимые при этом, не оказывают сколько-нибудь заметного действия. Но если случайно период этих ритмических толчков совпадает с периодом колебаний моста - а это, особенно в цепных мостах, может случаться очень легко, - то наступает явление резонанса. Действия отдельных толчков накапливаются, мост раскачивается все сильнее, материал не выдерживает, и мост рушится. Вот почему, между прочим, теперь при проходе отряда через такой мост солдатам дается команда идти не в ногу. Это, конечно, одна из причин, а подобных причин наступления резонанса может быть множество, и оградить себя от таких ритмических нагрузок трудно. Поэтому в настоящее время - а это и есть главный практический результат, к которому привела теория, - почти совершенно отказались от нежестких систем, имеющих собственные колебания.

Современные конструкции имеют гораздо большую жесткость, чем прежние цепные мосты, и этим возможность колебаний, а значит и возможность наступления губительного резонанса, устраняется.

Я думаю, что вам теперь также стало ясным, почему случаи, подобные описанному, казались непонятными и загадочными. Конструкторы рассчитывали прочность своих

мостов исключительно статически, т. е. они принимали во внимание только постоянную нагрузку, и с этой точки зрения их расчеты были совершенно правильны. Они не учитывали и даже не напали на мысль о необходимости учета ритмически изменяющейся нагрузки, с одной стороны, и колебаний моста - с другой. Их кругозор был ограничен и не охватывал явлений во всем их разнообразии. Но нашлись люди с широкой теоретической подготовкой, для которых звучание струны и колебания моста являлись лишь частными случаями, охватываемыми одним общим законом, и вопрос был решен.

Интересно, что аналогичное явление повторилось в совершенно другой области. Вы знаете, что для передачи электрической энергии пользуются иногда кабелем, состоящим по существу из двух металлических проводников, несущих ток, и изолированных друг от друга каким-нибудь изолирующим веществом, например гуттаперчей. Слой гуттаперчи между проводами должен быть больше или меньше, смотря по тому электрическому напряжению, иначе говоря, смотря по числу вольт, при котором передача энергии идет. Понятно при этом, что из соображений экономии и из-за тяжести кабеля слой гуттаперчи делают не больше (конечно, с известным запасом), чем это нужно для данного случая. Проверка делается в заводской лаборатории. Для этого соединяют один провод с положительным, другой - с отрицательным полюсом батареи и смотрят, выдерживает ли кабель нужное напряжение. И вот наблюдались случаи, что при работе с переменным током кабель, полностью выдержавший испытание в лаборатории, в работе пробивался.

Вопрос разъяснился и здесь тоже лишь тогда, когда к нему подошли с физико-теоретической стороны. Оказалось, что здесь, как и в случае моста, губительным фактором было явление резонанса. Дело в том, что кабель, смотря по длине, имеет различные периоды собственных электрических колебаний. Он представляет собой электрическую аналогию струны. С другой стороны, отличительной чертой переменного тока является его ритмическая пульсация.

И вот, если длина кабеля оказывалась такова, что период пульсации тока совпадал с периодом колебаний кабеля, наступало явление резонанса, происходило нарастание колебаний электрического напряжения, которое благодаря этому достигало гораздо большей величины, чем то, которое давали динамомашин и на которое был рассчитан кабель, и изоляция пробивалась.

Позвольте мне в заключение остановиться еще на одном примере, взятом совсем из другой области и ясно, как мне кажется, иллюстрирующем значение широкого физического горизонта при разрешении технических вопросов.

Я имею в виду вопрос об оптических инструментах, и в частности вопрос о микроскопе. Вы знаете, что микроскоп играет чрезвычайно важную роль в очень многих областях прикладного знания. Я не буду напоминать вам его значение в медицине, в гигиене, в санитарии. Я укажу только на то, что и в изучении металлов микроскоп в настоящее время незаменим. Микроскопом особенно заинтересовались уже в середине прошлого столетия, после того как применение его в биологии открыло совершенно новые пути в изучении явлений жизни. Но после первых успехов обнаружилось, что существовавшие тогда микроскопы не были хороши и не были сильны. Исследователи ясно чувствовали, что если бы удалось построить микроскоп с большим увеличением, то

вместе с тем явилась бы возможность проникнуть еще дальше в сущность жизни. А такая перспектива всегда с особенной силой манила людей. И фантазия не останавливалась перед постройкой микроскопов, увеличивающих в десятки, сотни тысяч и миллионы раз, и ждали от их применения чудес. Исследователи ждали, что с их помощью можно будет проникнуть в самые сокровенные детали строения живой материи.

Понятно, что при такой конъюнктуре и специалисты-конструкторы оптических приборов взялись с усиленной энергией за усовершенствование микроскопа. И они считали принципиально возможным достигнуть любых увеличений. Весь вопрос, казалось, сводился к преодолению технических трудностей.

Дело в том, что в то время все расчеты, касавшиеся оптических приборов, велись исключительно при помощи так называемой геометрической оптики. В основание расчета полагалась та теория микроскопа, которая, впрочем, и до сегодняшнего дня только и преподается в средней школе и которая оперирует со световыми лучами как с прямыми линиями. А с точки зрения геометрической оптики действительно не существует принципиальной границы для возможного увеличения микроскопа.

Однако же весьма скоро обнаружилось, что работа, направленная к усовершенствованию микроскопа, далеко не дает тех результатов, которых, казалось, можно было ожидать. Между тем, что казалось достижимым, и тем, что достигалось, было противоречие, которому объяснения не находилось.

Так обстояло дело, когда иенский механик Цейсс, имевший небольшую механическую и оптическую мастерскую и изготовлявший сам недурные по тому времени микроскопы, пригласил в качестве консультанта тогда еще молодого физика Аббе. Аббе обладал хорошей теоретической подготовкой, хорошо владел теоретической оптикой. Он знал, что геометрическая оптика есть лишь удобная схема для обработки классического явления преломления. Он знал ей цену, потому что он сам очень много внес нового в эту область. Но он знал также, что с точки зрения волновой теории света, служащей базой для геометрической оптики, последняя есть не более как приближение. И он сразу подошел к вопросу о микроскопе с широким, не связанным с узкими рамками геометрической теории взглядом.

Результаты такого подхода к делу не заставили себя долго ждать. Одним из главных результатов, к которым пришел Аббе, был следующий. Он показал, что волнообразная природа света ставит принципиальный предел тому полезному увеличению, которое может быть достигнуто при помощи микроскопа или вообще любого оптического инструмента. Если детали объекта мельче определенной величины или нормы, то эти детали не могут быть видимы, выявить их ни один микроскоп не может. Все мечты об увеличении в 100 000 и больше раз и все связанные с ними надежды должны быть принципиально оставлены, и работа тех, кто хотел такие микроскопы построить, совершенно беспредельна. Блестящими опытами Аббе подтвердил правильность своих теоретических выводов.

Практическая важность открытия Аббе, конечно, очевидна, но Аббе на этом, я сказал бы, негативном открытии не остановился.



Мечтая о невозможном, конструкторы оптических приборов до Аббе фактически далеко не осуществили и того, что возможно. И вот Аббе во всеоружии обширных теоретических знаний и большого опыта взялся за усовершенствование микроскопа.

Это ему и его методу работы, при котором он широко пользовался всей теорией, мы обязаны тем, что микроскоп в настоящее время почти достиг того, чего от него вообще можно ожидать, и что он представляет собой один из наиболее совершенных оптических инструментов.

Позвольте мне на этом остановиться. Я надеюсь, что вы теперь согласитесь со мной, что знание, широкое, полное знание физики для инженера не роскошь, а необходимость, что широкий физический горизонт должен быть достоянием не только тех отдельных избранных людей - инженеров, которым суждено прокладывать новые пути в технике, но и достоянием всякого инженера, сознательно относящегося к своему делу. Если то что я сказал, может способствовать укреплению в вас этого взгляда то моя цель была бы достигнута.

Но я не хотел бы закончить нашу сегодняшнюю беседу, не указав хоть двумя словами на еще одну сторону вопроса. Я хотел бы еще сказать вам, что занятия физикой, углубление в ее основы и в те широкие идеи, на которых она строится, и в особенности самостоятельная научная работа приносят огромное умственное удовлетворение. Убеждать в этом я не хочу. Да и вряд ли здесь возможно убеждение. Тут каждый должен убедиться сам. Но я хотел бы, чтобы вы знали, что если кто-нибудь из вас почувствует в себе такое стремление, то для меня всегда будет большим удовольствием способствовать всем, чем я могу, его осуществлению. В сильном удовлетворении таких чисто научных запросов учащихся я, помимо моих личных симпатий, вижу одну, и не последнюю, задачу высшей школы.