

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**П. Н. ЛЕБЕДЕВ И СВЕТОВОЕ ДАВЛЕНИЕ***Т. П. Кравец*

Впервые я увидел и услышал Петра Николаевича Лебедева в старой «большой» аудитории Политехнического музея. Это было 27 октября 1894 года.

Мы, студенты того времени, с благодарностью вспоминаем отдельных наших профессоров. Так, глубокое впечатление производили на нас лекции А. Г. Столетова, Н. А. Умова. Обаятелен был Н. Е. Жуковский. Но организованного центра науки, как мы его понимаем, не было. Университетский устав 1884 года, недавно перед тем введённый, не считал научную работу главным делом университета — он её только терпел как бы между прочим.

Я отлично помню, как Пётр Николаевич в своей лаборатории рассказывал нам: «Как-то приходил сюда очень почтенный старичок (и он называет фамилию бывшего ректора Московского университета). Александр Григорьевич (Столетов) рассказывает ему, что я сижу здесь целыми сутками, а старичок и говорит мне: „Молодой человек, и что это вы себя так утруждаете? Нам это вовсе не нужно; сдавайте магистерские экзамены, пишите диссертации — сначала магистерскую, потом докторскую; мы вас представим сначала в экстраординарные профессоры, а потом и в ординарные. Вот и всё; а мучить себя совсем не нужно“». П. Н. страстно мечтал уйти от тех условий, при которых от человека требуют только одолеть какой-то минимум знаний, получить казённую апробацию, а затем позволяют почить на законных, хотя и дешёвых лаврах...

Заражаясь мыслями и взглядами своего учителя, и мы учились презирать казённую обстановку, учились ставить себе другие цели...

* * *

В конце восьмидесятых годов XIX столетия, когда начал работать П. Н., в центре внимания физиков всех стран стояли исследования электромагнитных волн. Они знаменовали новый решительный этап по пути объединения наших основных физических воззрений. Немудрено, что именно в русле этой теории потекла вся научная жизнь П. Н.

В первоначальном творении Максвелла мы имели сложную математическую теорию с громоздким и тяжёлым математическим аппаратом. Труды Герца и Хевисайда ещё не упростили подходов к существу воззрений Максвелла и «физическое здание его теории было основательно заслонено лесами, воздвигнутыми при его постройке» (Герц). Учёные-нетеоретики ещё плохо разбирались в самой теории. В те времена внимание большинства было устремлено на несколько особо простых следствий теории, которые всех поражали: тождество скорости света и скорости распространения электромагнитных возмущений; равенство между показателем преломления и корнем квадратным из диэлектрической постоянной; предсказание о существовании светового давления.

Первый из этих выводов теории был доказан трудами самого Герца; второй (косвенно) был предметом немецкой докторской диссертации П. Н. Лебедева; третий стал делом его жизни.

Уже в 1891 году он пишет свою первую самостоятельную работу и в ней блестяще показывает, что при уменьшении размеров тела силы светового давления, малые по сравнению с силами тяготения при обычных размерах тел, выйдут в известный момент на передний план. Если тело имеет вид шарика, то при уменьшении его диаметра, скажем, в сто раз его масса уменьшится в 100^3 , т. е. в миллион раз; поверхность же его, на которую могут действовать силы светового давления, упадёт только в 100^2 , или в 10 000 раз. При некотором значении диаметра естественно ожидать, что частица будет сильнее отталкиваться от солнца действием его лучей, чем притягиваться его массой. Отсюда — широкие перспективы для объяснения многообразных космических явлений: космическая пыль, зодиакальный свет, кометные хвосты и многие другие явления в космосе представляют собой арену, на которой силы светового давления успешно состязаются с ньютоновыми силами тяготения.

Работа эта была переведена почти на все языки и сделала имя П. Н. известным. Она стала первым этапом всего дальнейшего направления его деятельности.

Замечательную зрелость обнаруживают в 25-летнем авторе заключительные разделы этой работы. Он считает долгом предостеречь исследователей от попыток распространения его теории на молекулярный мир: молекула не есть шар; она имеет сложное внутреннее строение и в связи с этим её физические свойства, в частности и взаимодействие с лучами света, не могут определяться одними внешними геометрическими размерами. Молекула есть резонатор и реакция её на световые волны больше всего и прежде всего есть резонанс.

Благодаря этой глубокой мысли молодой автор счастливо избег ошибок, в которую после него впадали многие и прежде всего знаменитый Сванте Аррениус.

Аррениус был горячим энтузиастом сил светового давления в космической жизни и это его большая заслуга, но он часто толковал молекулу как весьма малый чёрный шарик...

Мысль о молекуле-резонаторе прочно вошла в сознание П. Н. Он решил изучить на модели молярных размеров те действия, которые падающие на резонатор волны производят при различных обстоятельствах. Он представлял себе, что картина действия всецело определяется отношением периода падающей волны к периоду собственного колебания резонатора; физическая природа сил, действующих в резонаторе и в воспринимаемой им волне, должна, по его мнению, быть вполне безразлична. И вот он изучает резонаторы гидродинамические, акустические и электромагнитные и, действительно, во всех трёх случаях, столь различных физически, ему удаётся подметить сходные явления. Три работы, посвящённые этой теме, собранные вместе, составили русскую докторскую диссертацию. Замечательно предисловие к этой диссертации. Здесь автор раскрывает своё «credo», свои основные, движущие воззрения. Он пишет, что после создания электромагнитной теории света мы не имеем права игнорировать пондеромоторные силы световых волн; свет, испускаемый одной молекулой, не может не действовать на другую. Для объяснения междумолекулярных сил этим открывается новая возможность, и они должны быть изучены и с этой точки зрения.

Работа над резонаторами заняла не менее трёх лет жизни П. Н. Она не могла не повести его к его главной задаче — к задаче доказательства существования светового давления.

Вопрос о световом давлении имеет долголетнюю историю, полную драматических противоречий. В ней нашли своё отражение все многочисленные изменения основных взглядов физиков на природу света. В старые времена — до Ньютона включительно — свет воспринимается как поток частиц, излетающих из светящегося тела.

Нетрудно представить себе, что такой поток переносит некоторое количество движения. Отдавая его встречаемому препятствию — зеркалу, — он, само собой разумеется, должен оказывать на него некоторое давление. Ещё Кеплер объяснил подобным способом образование кометных хвостов.

Но вот Гюйгенс, Эйлер, Френель и Юнг вводят в физику представление о волнообразной природе света. Эйлер обращает внимание на трудности, возникающие при этом для светового давления.

Впрочем, он полагает (неправильно), что, имея в виду продольность световых волн, можно всё-таки объяснить возникновение таких сил. Но Френель доказывает поперечность световых волн — новое затруднение для объяснения светового давления.

И, наконец, появляется теория Максвелла. В ней свет представляется собой распространяющиеся поперечными волнами электромаг-

нитные возмущения. И тем не менее Максвелл выводит из неё существование светового давления.

Аррениус и П. Н. Лебедев в своих позднейших обзорах изложили историю опытов, предпринимавшихся в разные времена для обнаружения светового давления. Если ограничиться XIX веком; то здесь необходимо назвать Френеля. Но он не мог открыть светового давления, так как в его установке на крылышко, принимавшее на себя световой поток, сильнеем образом действовали конвективные токи газа, поднимавшиеся от крылышка вследствие его нагревания светом.

Как избежать этих конвективных токов? Естественным ответом является: поместить всю установку в пустоту. Не случайно поэтому, что следующим этапом опытов по отысканию светового давления были работы знаменитого специалиста вакуумной техники своего времени Уильяма Крукса. Крукс надеялся, что его откачкой вакуум в экспериментальном сосуде доведён до той степени, когда конвекция уже не страшна. И вот при этом вакууме (порядка 0,01 мм ртутного столба) действие света на подвешенное на коромысле крылышко оказалось в сотни раз более тех сил, которые Крукс ожидал обнаружить, основываясь на максвелловой теории. Он открыл новые, чрезвычайно интересные для кинетической теории газов «радиометрические силы», но для обнаружения сил светового давления открытое явление пагубно: как обнаружить силы, которые маскируются другими, превышающими их в сотни, а то и в тысячи раз?

Таково было положение вопроса, когда за него принялся П. Н. Это было в 1899 году. А летом 1900 года он сделал на международном физическом конгрессе в Париже доклад о предварительных результатах работы. Вот два рисунка, которыми П. Н. иллюстрировал свой парижский доклад.

Здесь (рис. 1) в плане круглый сосуд и миниатюрный диск; на него-то и падают лучи света, давление которых мы хотим изме-

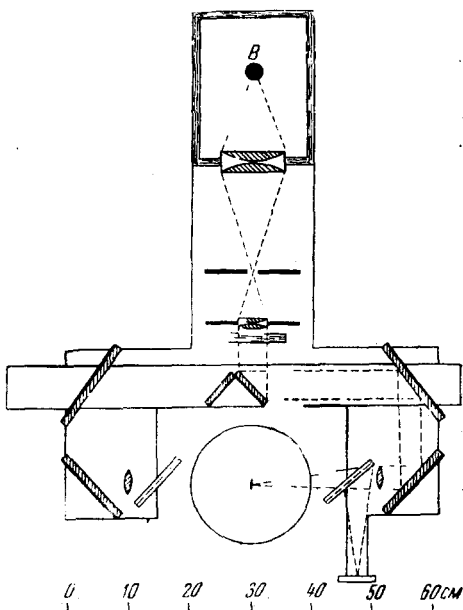


Рис. 1.

речь. B — источник света — дуга. Пройдя через стеклянную пластинку, отразившись от ряда зеркал, свет, собранный линзой, падает на диск справа. Но вся система зеркал расположена на салазках. Подвинем её несколько вправо. Свет опишет симметрично расположенный путь и попадёт на диск слева. В этом заключается способ исключить конвекцию. В самом деле, откуда бы ни упал свет на диск, одинаковое нагревание последнего произведёт конвекцию, которая даст диску отклонение в одну и ту же сторону. Наоборот, силы радиометрические и силы светового давления при изменении направления лучей изменят свой знак. Таким образом,

$$\begin{aligned} \text{сила слева} &= \text{световое давление} + \text{радиометрич. силы} + \text{конвекция} \\ \text{сила справа} &= \text{световое давление} + \text{радиометрич. силы} - \text{конвекция} \\ \text{Сила слева} + \text{сила справа} &= 2 (\text{световое давление} + \text{радиометрич. силы}). \end{aligned}$$

Как теперь избавиться от радиометрических сил?

Очевидно, вести откачивание сосуда до возможного предела. Но здесь я должен остановиться несколько подробнее на сравнении нынешней вакуумной техники с той, которая господствовала в начале XX века.

В настоящее время физик на первых же порах своей лабораторной работы знакомится с довольно сложной, но в то же время и достаточно совершенной пустотной аппаратурой. Качество этой аппаратуры таково, что в 10—20 минут исследователь получает вчерне всё, что ему нужно для эксперимента. И нам трудно представить себе ясно время, когда для того, чтобы добиться той же или даже гораздо меньшей степени разрежения, мы должны были работать тогдашним насосом в течение многих суток. Ведь Крукс открыл свои катодные лучи потому, что умел лучше откачивать, чем его предшественники. П. Н. должен был сделать в этом вопросе новый шаг вперёд: одного терпения здесь было недостаточно. Я считаю, что шаг, который он сделал, равносителен почти гениальному провидению грядущих путей вакуумной техники.

На дне того сосуда, из которого выкачивали воздух и в котором был подвешен диск для измерения сил светового давления, лежала капля ртути. Когда насос (трубка к насосу находилась в верхней части сосуда) переставал действовать, достигнув предела доступного для него разрежения, П. Н. Лебедев слегка — градусов на 5 — нагревал ртуть. Она испарялась, но малая разность температур ещё не могла произвести конденсации ртути в капельки на стенках сосуда. Она откачивалась насосом и увлекала с собой из сосуда и воздух. Здесь мы видим в весьма несовершенной форме идею того самого диффузионного насоса, который в настоящее время представляет собой последнее слово вакуумной техники.

Таким приёмом П. Н. удалось значительно понизить давление газа в сосуде и соответственно уменьшить величину столь вредных для опыта радиометрических сил.

На следующем снимке (рис. 2) можно видеть миниатюрные диски, которые подвешивались в экспериментальном сосуде. При слабых средствах тогдашней вакуумной техники физики особенно боялись вводить в вакуум замазки и т. п. Все диски без какой-либо замазки прикреплялись к тончайшим проволокам. Одни диски были вычернены, другие оставались блестящими. Торжество П. Н. проявилось в том, что давление на блестящие диски всегда оказывалось сильнее, чем на чёрные. Так это требуется теорией для сил светового давления. Радиометрические силы, наоборот, должны быть больше при вычерненном диске, который при этих условиях нагревается на передней поверхности сильнее. Результаты П. Н. отличаются от теории процентов на 20 и притом его цифры во всех случаях больше расчётных. Это показывает, что при достигнутых им разрежениях ему ещё не удалось полностью избавиться от радиометрических сил, но они были сведены до сравнительно небольших размеров.

По всем своим подробностям работа П. Н. останется ярким образцом экспериментального искусства, настойчивости и умения преодолевать все затруднения, возникающие в результате несовершенства техники. Эта работа имела во всём научном мире шумный и вполне заслуженный успех. Основные журналы на всех языках перепечатали её полностью или в извлечении. П. Н., шутя, указывал, что истинная популярность начинается тогда, когда слава какого-нибудь открытия распространяется за пределы круга специалистов и дебатруется среди профанов. В этом смысле наибольшее удовлетворение ему доставила, по его утверждению, одна

бульварная французская газета, в которой целебное действие южного солнца, на основании работы П. Н., приписывалось массирующему действию лучей...

После этой работы П. Н. должен был неоднократно выступать и устно (на различных съездах), и в печати по различным вопросам светового давления. То это была полемика и критика различных авторов, впадавших в ошибки, то новое изложение

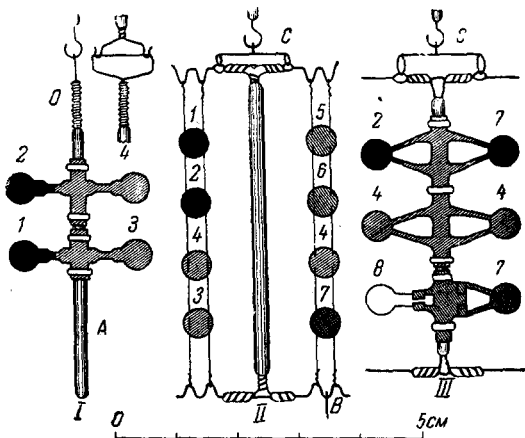


Рис. 2.

возможности космических приложений сил светового давления. Весьма замечательна его речь на съезде немецкого астрономического общества в Геттингене в 1902 году на тему о причинах отступлений от ньютоновских сил тяготения. Здесь ему пришлось встретиться с немецким астрономом Шварцшильдом, прекрасным математиком, который подверг точному математическому изучению задачу, когда-то поставленную Петром Николаевичем, о действии света на небольшие шарики. Решение делается затруднительным, когда размеры шарика приближаются по величине к длине световой волны и волны начинают свободно обтекать такое незначительное препятствие.

Шварцшильд нашёл, что пондеромоторное действие волн на такой шарик (притом обладающий совершенной проводимостью) при некотором соотношении длины волны и диаметра шарика проходит через максимум, а потом, при дальнейшем уменьшении диаметра, начинает падать. Отсюда Шварцшильд сделал вывод, что на ещё меньшие шарики — на молекулы — свет будет давить настолько слабо, что говорить о космическом значении этого давления будет уже трудно. П. Н. легко истолковал максимум, теоретически найденный Шварцшильдом, как резонанс вибратора-шарика при соответственном периоде. Он вновь обращает внимание на то, что на самом деле резонанс молекулы обуславливается не внешними её размерами, а внутренним её строением. И здесь он вплотную подходит к последней своей работе из цикла, посвящённого общей задаче светового давления, — к задаче о давлении света на отдельные молекулы, на газы.

Эта задача чрезвычайно трудна. Свет давит на молекулу постольку, поскольку он ею поглощается*). Газы вообще поглощают свет очень слабо: при толщине слоя в 1 см всего 0,5—2%. Значит, силы, на них действующие, ещё раз в 50—в 200 меньше тех, которые Петру Николаевичу удалось измерить в его работе

*) Это предложение, данное интуитивно Фитц-Джеральдом, можно доказать следующим образом: если на молекулу, содержащую упруго связанный электрон, падает световая волна с электрическим вектором, направленным по оси z , то магнитное поле H , приносимое волной (пусть оно направлено по оси y), даст для второго члена лорентцовского выражения силы, действующей на электрон,

$$f_x = \frac{e}{c} \frac{d\zeta}{dt} H_y.$$

Здесь ζ — смещение электрона. Но в «свободном эфире» $E_z = H_y$, и $\frac{e}{c} E_z \frac{d\zeta}{dt}$ есть делённая на c работа силы в единицу времени, или мощность, поглощаемая электроном. Если обозначить её U , то $f_x = \frac{U}{c}$. Так как U может быть только положительно (по крайней мере, в среднем по времени), то f всегда направлено по лучу.

над давлением света на твёрдые тела. Кроме того, здесь надо экспериментировать над теми газами, самое присутствие которых сказывается в виде конвективных токов и разных других вредных побочных явлений. Путём долгого напряжения, блестящих приёмов и тонкого проникновения в механику явления ему удалось довести работу до удачного конца и подтвердить основное предположение. Работа представляет собой образец непревзойдённого, а может быть, и недостижимого экспериментального искусства. Никто не пытался её повторить. Сделав её, П. Н. мог считать, что он одну за другой поставил и разрешил все задачи, группирующиеся вокруг предсказанного Максвеллом светового давления.

На самом деле, идея волнового давления ещё долго занимала П. Н. и дала ряд новых результатов, в особенности в руководимых им работах его непосредственных учеников.

Когда П. Н. опубликовал свою первую работу, которая обострила интерес физиков к волновому давлению, то с разных сторон было показано, что и другие теории, в частности и упругая, приводят к необходимости этого давления; необходимо только принять во внимание также силы второго порядка малости, в элементарной*) теории откидываемые. Первый, кто это показал, был Н. П. Кастерин (в докладе на Первом менделеевском съезде, в декабре 1901 года). Работа Н. П. Кастерина осталась ненапечатанной, так как почти одновременно появилась статья Рэлея по тому же вопросу с выводами, весьма близкими к выводам Н. П. Кастерина. Рэлей и впоследствии не раз возвращался к этой теме. П. Н. Лебедев поставил вопрос на почву опыта. В его лаборатории было доказано давление волн, распространяющихся по поверхности воды, на находящееся на их пути препятствие (Н. А. Капцов), а также «звуковое давление» (В. Я. Альтберг). Было показано также, что звуковое давление является прекрасным средством количественного изучения коротких звуковых волн, уже не слышимых ухом**), что было исполнено В. Я. Альтбергом, а впоследствии, в целях изучения поглощения этих волн газами, использовано Н. П. Неклепаевым.

Можно сказать, что всеми этими работами цикл волнового давления был в школе П. Н. Лебедева блестяще завершён.

Я позволю себе теперь в нескольких словах остановиться на выяснении научной перспективы, на фоне которой и в наши дни световое давление является одним из центральных пунктов теоретической мысли физиков.

Ещё современник Максвелла итальянец Бартоли совершенно независимо от каких-либо представлений о природе света сумел

*) «Второй член» лорентцовского выражения силы в электронной теории учитывает именно силы этого порядка.

**) Ныне эти волны называются ультразвуковыми.

доказать, что свет должен оказывать давление на препятствие, лежащее на пути лучей. Он только не мог показать, чему равна величина этих сил светового давления. Рассуждение Бартоли, впоследствии усовершенствованное Больцманом, можно в существенных чертах изложить следующим образом: можно вообразить себе такой зеркальный (совершенно отражающий от всех своих частей) насос с клапанами и поршнем, которым возможно перекачивать излучение из тела более низкой температуры в тело более высокой температуры. Если движение поршня этого насоса не сопровождается никакой работой, то получается результат, противоречащий второму принципу термодинамики, — так называемой «невозможности *perpetuum mobile* второго рода». Значит, работа при движении поршня происходит, а значит, перекачиваемое поршнем излучение на него давит.

Больцман вывел своё знаменитое соотношение

$$E + p = T \frac{\partial p}{\partial T},$$

где E — плотность энергии, p — оказываемое последней давление и T — абсолютная температура. Ясно, что по одному этому уравнению нельзя делать заключений о связи каждой из двух функций E и p с температурой. Но уже из него очевидно, что если $p = 0$, то и $E = 0$: давление может быть равно нулю только при условии, что плотность энергии равна нулю.

Далее Больцман делает максвелловскую подстановку, предполагая, что совершенно нестройная, идущая по всем направлениям радиация оказывает на стенку давление, равное $\frac{E}{3}$. Тогда отсюда и из данного выше уравнения получается огромной важности соотношение, называемое законом Стефана-Больцмана:

$$E = \sigma T^4,$$

или словесно: плотность радиации чёрного тела пропорциональна четвёртой степени его абсолютной температуры. Этим соотношением открывается путь ко всей термодинамике излучения. И мы видим, что её первый, решающий шаг не мог быть сделан без идеи о световом давлении и без максвелловского выражения для этого давления — выражения, доказательству правильности которого была посвящена научная жизнь П. Н. Лебедева.

И дальнейшие шаги термодинамики излучения невозможны без учёта светового давления. Так, виновский закон смещения основывается на формуле давления на движущееся зеркало. И, наконец, революционная формула Планка, в которой впервые в физике нашло своё отражение представление об атомах электромагнитного излучения, о квантах или фотонах; эта формула исторически также не могла быть получена без представления о световом давлении.

Но со световым давлением связаны идеи ещё иного порядка. Если на тело падает излучение, которое оказывает на него давление, то, значит, оно передаёт телу не только энергию, но и некоторое количество движения. Ясно, что отсюда один только шаг до установления связи между массой и энергией. Связь массы и энергии в общем случае установлена Эйнштейном из принципа относительности. Но необходимо помнить, что исторически впервые понятие о массе излучения научно обосновано ранее теории относительности из рассмотрения сил светового давления на тело, движущееся неравномерно.

Таким образом очевидно, что представление об огромных запасах энергии, скрытой в любом атоме, обладающем массой, своими корнями крепко связано с силами светового давления. Очевидно, что те, кто будут писать об этих широчайших обобщениях физической мысли, будут вспоминать при этом имя Лебедева.

Вот каков ответ истории на вопрос о значении жизненного труда Петра Николаевича.

Остановимся теперь бегло на том продолжении, которое имела после П. Н. задача о световом давлении, сначала на теоретическом, а потом на экспериментальном поприще.

Ещё по поводу предварительного (парижского) сообщения П. Н. световое давление было исследовано Д. А. Гольдгаммером (в Казани). Это — превосходная работа, где как исходные формулы, так и окончательные результаты поданы с классической ясностью и простотой. Даются выражения для случаев и чёрного, и частично отражающего тела, для случая косою падения лучей, для света, проходящего через плоско-параллельную пластинку, и т. д. Автор исходит из представления о максвелловых натяжениях. Другой путь указан (в коротком примечании ко второму изданию «Трактата» Максвелла) Дж. Дж. Томсоном. Он описывает световое давление как результат действия магнитного поля световой волны на токи, возбуждаемые волной в материале «зеркала». Путь этот использован позднее Планком (в его «Теории теплового излучения») и Друде (в его учебнике оптики), последним — не совсем правильно. Этот же путь вполне уместен при электронном толковании световых явлений в телах. Большой шаг в теории сделан был М. Абрагамом, вычислившим давление света на движущееся зеркало. Другой крупной работой является исследование П. Дебая о давлении света на шарики. Он отказывается от того ограничения, которое в своё время было сделано Шварцшильдом, и исследует давление на шарик вещества с любыми электромагнитными и оптическими свойствами. Попутно он решает и задачу о давлении на отдельную молекулу.

Родственной задачей о вращательных действиях световой волны занимался А. И. Садовский и позже, с электронной точки зрения, — К. Н. Шапошников.

Наконец, следует отметить оставшуюся ненапечатанной работу В. А. Михельсона о световом трении. Он исходит из абрагамовского выражения давления на движущееся зеркало *):

$$p = p_0 \frac{c + v}{c - v}$$

(p_0 — давление на неподвижное зеркало, а v и c — скорости соответственно зеркала и света) и, разлагая его в ряд, получает между прочим член, зависящий от скорости:

$$p = p_0 \left(1 + \frac{2v}{c} \right) = p_0 + \frac{2p_0}{c} v,$$

который можно толковать как силу трения, испытываемую телом, движущимся в поле световой волны. Можно говорить о космическом значении сил такого рода.

Теперь об экспериментальном продолжении дела Лебедева. Ещё при его жизни Пойнтинг весьма изящным опытом доказал и измерил силы давления косо падающих лучей на твёрдое тело. У него экспериментальные диски сидели на концах коромысла в плоскости, нормальной к коромыслу. Лучи падали на диск в горизонтальной плоскости вкось. Нормальная слагающая силы не могла проявиться вследствие тяжести коромысла. Отпадало по той же причине и действие радиометрических сил. Касательная слагающая силы светового давления (предсказанная Д. А. Гольдгаммером) измерялась легко в чистом виде.

Более поздняя (1923 г.) работа, о которой следует упомянуть, принадлежит Алисе Гольсен, ученице профессора В. Герлаха. Она хорошо использовала новейшую вакуумную технику и, в особенности, то преимущество, которое ей как ученице Герлаха давало превосходное знакомство её учителя с радиометрическими силами. У Герлаха в этой области проведены собственные исследования, которые показали, что, как правило, радиометрические силы при растущем разрежении растут до некоторого максимума, а затем медленно падают. Опыты Лебедева были произведены в области спадания эффекта. Последний при них всё же сохраняет некоторую величину, искажающую окончательный результат. А. Гольсен вела откачивание непрерывно и производила ряд наблюдений при постепенно уменьшающихся давлениях газа. Вначале, при больших давлениях, получались очень большие (больше, чем следует по теории) и неправильные отклонения. Потом изменения становились меньше, и при крайних разрежениях дальнейшего изменения действия уже не наблюдалось. А. Гольсен справедливо заключила, что эта независимая от давления газа сила и есть сила светового давления. Она оказалась весьма близка к величине, предсказываемой теорией.

*) К этому выражению В. А. Михельсон пришёл самостоятельно и притом значительно ранее М. Абрагама.

Остаётся ещё сказать несколько слов о том, как учение о световом давлении пережило современный переворот в физике — переворот, связанный с представлениями о дискретно-атомных свойствах излучения, т. е. с развитием квантовой теории. Квантовая теория породила два специальных опыта, в которых фигурирует давление фотонов. Первый из них — известный опыт Комптона. Здесь фотон падает на электрон, отдаёт ему часть своего количества движения и своей живой силы, а сам в виде фотона меньшей величины уходит дальше. При этом и электрон, и новый фотон меняют направление своего движения. Все детали этого явления легко подсчитываются. Опыт даёт результаты, вполне согласные с квантовой теорией. Но обыкновенно здесь обращают главное внимание на фотоны, рассеиваемые при столкновении первичного фотона с электроном. Можно, однако, смотреть на дело и с точки зрения поведения электрона. Тогда мы можем сказать, что в опыте Комптона мы исследуем световое давление на отдельный электрон. Правда, «фотон» здесь не световой, а рентгеновский, но это меняет дело только в количественном отношении.

Второй опыт, на котором я хотел остановиться, это — опыт Штерна с так называемым молекулярным пучком. Представим себе тонкую платиновую проволоку, снаружи посеребрённую и помещённую в возможно совершенный вакуум. При накаливании платины серебро начнёт испаряться. Вследствие разреженности газа частицы паров будут достигать без столкновений тщательно охлаждаемых стенок сосуда и там осаждаться в виде зеркала. Если расположить вдоль пути частиц ряд диафрагм с щелями, параллельными направлению проволоки, то через них будет к удалённому концу трубки проникать только веерообразный пучок частиц пара. Это и есть молекулярный пучок — «газ двух измерений», как его ещё называют. На противопоставленной ему стеклянной пластинке получится резко очерченное изображение тонкой щели в последней диафрагме. Теперь бросим лучи света в направлении, перпендикулярном к плоскости веера; если световой квант поглотится частицей серебра, он сообщит ей количество движения в направлении своего движения, вследствие чего эти частицы отклонятся от прежнего направления; даваемое ими изображение щели сместится от прежнего в сторону. Штерну удалось получить лёгкое расширение изображения в одну сторону. Он пользовался для своего опыта обычным светом. Позволительно думать, что опыт лучше удался бы при применении бокового освещения рентгеновскими лучами, хотя здесь встретились бы свои трудности.

Вот некоторая новая постановка опыта П. Н. Лебедева над давлением света на газы. Его, несомненно, стоило бы повторить и продолжить.

Выше я пытался показать на нескольких примерах, как П. Н. вовлекал своих учеников в работу в круге своих идей. Я хочу

рассказать о том, какими способами он это делал и чего достиг в результате своих усилий.

Положение университета в те дни, когда в нём начинал свою работу П. Н., было тяжёлым. Почти столь же тяжело оно было и позже. Царские чиновники на просвещенских постах видели главную задачу русских профессоров в подготовке педагогов. Каково в этом окружении положение человека, который поставил своей основной задачей научную работу и создание условий, при которых эта научная работа будет главной целью университетского образования? При этом у него было в распоряжении только одно средство — личный пример; только этим оружием он мог действовать на университетскую молодёжь, уже испорченную тем, что ей подсовывали под именем науки; только им он мог открыть глаза молодёжи на её истинные задачи и на истинные методы их решения.

Задача его была невероятно трудна. Но я помню, как П. Н. возился с каждым из нас, чтобы внедрить в нас свои идеи. Я помню это по себе. Я, вероятно, был не из плохих студентов, но на первых двух курсах просто не вдумывался в то, что научная работа представляет собой труд искания и творчества. Мне, как и большинству моих товарищей, казалось, что я просто должен очень много учиться и читать, отчего и стану со временем значительно умнее. Повидимому, это не укрылось от глаз П. Н. (он тогда был лаборантом старой физической лаборатории). Как-то поймал он меня на таком чтении в столетовской библиотеке и говорит мне: «Скажите, вы интересовались вопросом, как здесь размещены книги?» — Я подумал, что он хочет поручить мне привести библиотеку в порядок; отвечаю: «Кажется, в порядке». — «В хорошем?» — «Да, кажется, в хорошем». — «А что, можно их в голову переставить в таком же порядке?» — «Думаю, что пожалуй, невозможно». — «И не стоит; нестоящая задача: никому не интересно, стали ли вы умнее и насколько; важно, сумели ли вы сами своей работой хоть в одной малой области подвинуть физику вперёд хоть на долю сантиметра».

Это не значит, что он учил нас не читать. Я знаю, что на моего приятеля, который работал в комнате рядом со мной, он кричал: «Вы — лентяй! Вы 24 часа сидите в лаборатории. Этак-то всякий может. Нет — вы читайте! Нет, вы вычисляйте! Думайте!»

Отсюда видно, какой индивидуальный подход к каждому он применял.

И вот своей неусыпной, резкой, упорной пропагандой он добился того, что вокруг него понемногу стал формироваться небольшой круг молодёжи, которая мыслила так же, как он, ставила себе те же задачи и боролась за те же условия, что и её учитель.

А условия были пока очень тяжёлые. Единственный центр для научного общения между московскими физиками был тогда в Физическом отделении Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии. Председательствовал в отделении Н. Е. Жуковский и собиралось оно в Политехническом музее. Много выдающихся людей я впервые увидел на этих заседаниях, много слышал выдающихся докладов. Одним из главных докладчиков был П. Н., а затем — вернувшийся в конце девяностых годов в Москву А. А. Эйхенвальд. Но одновременно здесь же выступали докладчики и иного сорта. Вот один очень «почтенный» псевдоучёный — с докладами о самовозгорании хлопка. По его мнению, в хлопке есть вода, и она «почему-либо» разлагается. В дальнейшем же водород соединяется с кислородом, отделяется теплота — и всё остальное понятно. Другой докладчик, игравший большую роль в физических кругах, рассказывал, что электричество есть сложное тело, состоящее из одного атома положительного и двух атомов отрицательного электричества (при этом показывался опыт электролиза воды, и «действительно», получалось два объёма водорода и один объём кислорода); он уверял, что с этим связаны результаты его собственных опытов, по которым якобы ёмкость лейденской банки для одного электричества вдвое больше, чем для другого...

П. Н. приходил от таких «докладов» в совершенное неистовство. Мы, его старшие ученики, наслушавшиеся его рассказов о коллоквиуме у Кундта, не раз приставали к нему с просьбой попробовать и у нас завести нечто подобное. Он смотрел на нашу ещё маленькую группу, недоверчиво улыбался и отказывался. Он ещё не знал и сам размера роста, который пустило зерно его пропаганды. Но он попробовал. Попытка удалась, и П. Н. сам загорелся, увлёкся своим новым успехом. Нет в нашей жизни более сильного воспоминания, чем эти незабвенные собрания, на которых мы из учеников незаметно для себя вырастали в начинающих, но уже самостоятельных учёных, и на которых наш учитель проявил себя в новом, невиданном блеске. Огромная эрудиция, блестящая выдумка, меткость научных характеристик, богатство воспоминаний П. Н. только здесь предстали нам во весь свой полный рост. Его коллоквиум — первый в Москве и во всей тогдашней России — теперь считает десятки, если не сотни продолжений.

С внешней стороны П. Н. резко выделялся среди других: огромного роста, громадной физической силы и редкой красоты мужественного лица. Я увидел и услышал его в первый раз в старой большой аудитории Политехнического музея на публичном заседании Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии. Он читал доклад об искусственных алмазах, полученных Муассаном. Заключительные слова его я помню как сейчас: «Но

наилучший алмаз — не тот, который получен Муассаном, а то неустойчивое стремление к знанию, которое ведёт учёного на преодоление всех трудностей и на завоевание всё новых и новых благ для человечества». Слушателя не мог не поразить тот огромный темперамент, с каким были произнесены эти слова, тот пламень глубокой веры, который загорелся в этот момент в его глазах.

Пётр Николаевич умер рано — всего 46 лет. Он мог бы дожить до наших дней — его ровесники живы и работают. Всё, что он успел сделать, сделано им за 20 лет его научной деятельности. Но это сделанное заслужило ему немеркнущую славу. А те, кто работали с ним и учились у него, пронесут в душе светлый образ учителя до конца своей жизни.