

НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ КАСТЕРИН

17 ноября 1969 г. исполнилось сто лет со дня рождения видного русского советского физика, одного из учеников А. Г. Столетова Николая Петровича Кастерина. Его работы по исследованию распространения звуковых волн в неоднородных средах, открытие закономерностей периодических структур (неоднородных сред), создание теории дисперсии звука и экспериментальное ее исследование, открытие аномальной дисперсии звука сделали имя Кастерина широко известным в научных кругах конца XIX и начала XX в. Их результаты широко освещаются в монографиях, учебниках и признаны классическими.

Не нашли поддержки и были подвергнуты суровой научной критике его работа «Обобщение основных уравнений аэродинамики и электродинамики» и ряд других работ, в которых автор, развивая идеи Дж. Дж. Томсона, пытался построить непротиворечивую классическую или квазиклассическую теорию световых явлений. Это проходило в момент чрезвычайно острой борьбы по философским вопросам естествознания и за Кастериным с тех пор утвердилась печальная слава реакционера в науке и механиста, а вместе с этим был в значительной степени забыт его действительный вклад в физику и его роль в воспитании русских физиков.

Эта статья и имеет целью обратить внимание на незаслуженно забытые работы Н. П. Кастерина и оценить его вклад в развитие физики в России.

Николай Петрович Кастерин родился 1 декабря (по старому стилю) 1869 г. в Калужской губернии. Его дед по отцу был крепостным в Новгородской губернии, отец — лесничий. Образование Николай Петрович получил в тростнянской народной школе, жиздринской прогимназии и, наконец, на математическом отделении физико-математического факультета Московского университета (1888—1892).

По его словам, «своими научными стремлениями во многом обязан — в гимназии преподавателю физики Сергею Васильевичу Щербакову, основателю Нижегородского кружка любителей физики и астрономии, в университете профессорам Александру Григорьевичу Столетову, Николаю Егоровичу Жуковскому и Петру Николаевичу Лебедеву»¹.

¹ Автобиография Н. П. Кастерина. М., 9 декабря 1936 г. Архив Н. П. Кастерина. Кабинет истории физики МГУ.

Уже со второго курса университета Н. П. Кастерин приступил к занятиям в физической лаборатории и вскоре обратил на себя внимание профессора А. Г. Столетова и А. П. Соколова. На 3 и 4 курсах Н. П. Кастерин выполняет самостоятельные исследования по вопросу о поверхностном натяжении жидкостей при высоких температурах, результатом которых явились две статьи, напечатанные в журнале Русского физико-химического общества (ЖРФХО) за 1893 г. [1, 2]. За эти работы ему была присуждена Обществом любителей естествознания в 1892 г. премия имени Мошнина.

В 1893 г. Кастерин был оставлен на два года при университете проф. А. Г. Столетовым для приготовления к профессорскому званию по кафедре физики и в течение этого времени помимо сданных магистерских экзаменов провел в лаборатории исследование по определению капиллярной постоянной и угла соприкосновения по размерам капли, результаты которого были опубликованы в ЖРФХО в 1893 г. [3]. Эта работа была удостоена физико-математическим факультетом премии имени Разцветова в 1895 г.

Весной 1894 г. Н. П. Кастерину было поручено выполнение обязанностей лаборанта физической лаборатории и ведение семинарских занятий по физике со студентами 1 и 2-го курсов, слушавших лекции профессора Соколова. Эти обязанности он выполнял до осени 1896 г. В это же время он приступил и выполнил в основных чертах работу над магистерской диссертацией о распространении акустических волн в неоднородных средах.

В 1897 г. Н. П. Кастерин был командирован за границу на два года для изучения заграничных физических институтов и дальнейшей проверки своей теории дисперсии акустических волн. В это время он слушал лекции в Берлинском университете у профессоров Варбурга, М. Планка и Вант-Гоффа, работал год в физическом институте у проф. Варбурга, где и закончил экспериментальную часть магистерской диссертации. Два остальных семестра Н. П. Кастерин работал в криогенной лаборатории проф. Камерлинг-Оннеса в Лейдене, где ему был оказан самый радушный прием руководителем лаборатории, весьма заинтересовавшимся работами Кастерина по акустике. Здесь Кастерин главным образом занялся изучением явления отражения звуковых волн в связи с явлениями аномальной дисперсии металлическими телами при низких температурах. По совету Камерлинг-Оннеса Н. П. Кастерин впервые кратко изложил результаты своих теоретических и экспериментальных исследований по дисперсии звуковых волн, которые были доложены Камерлингом-Оннесом в Амстердамской академии наук в 1898 г. и в качестве предварительного сообщения напечатаны в трудах этой академии на немецком языке [5], а в журнале РФХО в 1898 г.— на русском языке [4]. За эту работу Кастерину в 1898 г. была вторично присуждена премия имени Мошнина Обществом любителей естествознания.



Н. П. Кастерин (1869—1947)

По возвращении из-за границы Н. П. Кастерин был назначен с 1 июля 1898 г. сверхштатным лаборантом физической лаборатории и возобновил семинарские занятия по физике со студентами 1-го и 2-го курсов. С 1 января 1899 г. уже в должности приват-доцента он читает лекции по теоретической физике на старших курсах и продолжает вести семинарские занятия со студентами младших курсов.

Это обилие занятий позволило Н. П. Кастерину лишь к концу 1902 г. закончить подробное изложение результатов своей научной работы и в начале 1904 г. напечатать эти результаты в Ученых записках Московского университета [7]. За эту работу, представленную в качестве магистерской диссертации, Н. П. Кастерин 24 мая 1905 г. был удостоен сразу степени доктора физики физико-математическим факультетом Московского университета.

В 1906 г. Н. П. Кастерин был избран Советом новороссийского университета ординарным профессором на кафедру физики. В одном из писем проф. А. В. Клоссовскому в Одессу проф. Н. А. Умов, длительное время проработавший в Новороссийском университете, очень высоко оценивает научные достоинства Кастерина: «У нас есть выдающийся физик Николай Петрович Кастерин. Он силен и в теории и замечательный экспериментатор...». Предлагая предоставить Н. П. Кастерину штатную ординатуру, факультет, пишет далее Н. А. Умов, «приобретает не только достойного, но, смело могу сказать, блестящего представителя кафедры физики»².

В Новороссийском университете Кастерин проработал с 1906 по 1922 г., читая здесь лекции по теоретической физике, заведя физическим институтом и временно Астрономической обсерваторией, а затем Магнито-метеорологической обсерваторией в Одессе. Помимо этого он был профессором Высших женских курсов. С 1919 г. Кастерин состоял профессором в Институте народного образования, в Химико-фармацевтическом институте и в Институте прикладной химии в Одессе. В Одесский период Кастериным опубликовано шесть научных работ. Из них отметим лишь статью «О несостоятельности принципа относительности Эйнштейна» [9], напечатанную в Записках новороссийского университета за 1919 г., которая является первой среди ряда других работ Кастерина, не получивших позже положительной оценки многими виднейшими советскими физиками и признанных ошибочными.

В 1922 г. Н. П. Кастерин переехал в Москву и работал в Институте биофизики у академика П. П. Лазарева, в Научно-исследовательском институте физики и кристаллографии при Московском университете. В эти годы он очень много работал над вопросами применения физики для решения различных технических проблем.

К 1925 г. относится изобретение Кастериным пневматического абсолютного электрометра для измерения потенциалов от 100 до 3000 в и выше, позволяющего, в отличие от Томсоновского абсолютного электрометра, косвенно определять потенциал посредством весьма точного измерения длины и давления. Были предложены две модели прибора — одна для научных работ, позволяющая определять потенциал с точностью до 0,1%, другая — для технических измерений, позволявшая определять потенциалы с точностью до 1%. Изобретение было зарегистрировано Комитетом по делам изобретений ВСНХ СССР и на имя Н. П. Кастерина был выдан патент № 949 от 30 января 1926 г.

В 1925 г. Кастерин успешно применил идеи, высказанные в доктор-

² А. В. Клоссовский. О научных заслугах доктора физики Московского университета Н. П. Кастерина. Одесса, 1906, стр. 7.

ской диссертации, к объяснению происхождения *донного* льда. В диссертации наиболее подробно было изучено распространение звуковых волн в неоднородных средах, состоящих из спектральных шаров, распределенных в воздухе. Кастерин установил, что при определенных условиях шары должны притягиваться друг другом. 22 октября 1925 г. на заседании Физического общества им. П. Н. Лебедева Кастерин прочитал доклад [16], в котором показал, что если в жидкости движутся твердые шары и скорость их не равна скорости течения жидкости, то между шарами возникают силы притяжения. Наличием таких сил, возникающих между кристалликами льда при наступлении морозов, Кастерин объяснил и происхождение *донного* льда. При спокойном течении реки скорость кристалликов одинакова со скоростью течения реки. При сужениях реки скорость воды меняется, кристаллики же по инерции некоторое время сохраняют свою скорость, между ними возникают силы притяжения, приводящие к образованию больших льдин. Кастерин установил теорию *донного* льда [16] и выработал меры борьбы с ним, которые нашли применение на советских гидроэлектростанциях.

К этим годам относятся работы Кастерина «О тирромагнитном отношении» (1924), «Механика Ньютона и электродинамика Максвелла» (1926), «Пневматический абсолютный электрометр» (1926), «О возникновении вихревого движения» (1929), а также ряд новых работ о возможности классического или квазиклассического объяснения отдельных физических явлений: «Вывод основных законов квантовой теории из уравнений Максвелла» (1926), «Томсоновская модель светового кванта» (1926), «Особенности светового кванта» (1926), «Теория световых квантов и уравнения Максвелла» (1927), «Электронные волны и теория Томсона» (1930).

С 1930 г. Н. П. Кастерин занимался научными консультациями в Центральном аэрогидродинамическом институте, Всесоюзном научно-исследовательском институте строительных материалов и во Всесоюзном научно-исследовательском институте огнеупорных и кислотоупорных материалов.

Работа Кастерина в ЦАГИ определялась договором от 21 июня 1930 г.³, по которому: «Кастерин принимает на себя теоретическое освещение вопросов и руководство по ним сотрудников Гидр. отдела ЦАГИ в срок до 20 октября с. г. по следующим гидравлическим и гидродинамическим заданиям: 1) выявление теоретических оснований для обоснованных методов ведения опыта по изучению влияния мгновенно возникающих источников изменения давления в жидкости на сопряженные с потоками гидротехнические конструкции; 2) дача методических указаний по постановке опытов, связанных с пунктом 1), на основании теоретической проработки; 3) участие в комиссии по разработке изобретения Капланского и выявления связанных с этой работой теоретических вопросов; 4) руководство работами сотрудников ГИО по изучению постановки гидродинамических вопросов, связанных с предыдущими пунктами настоящего параграфа». Для работ по гидродинамике и расчетов в помощь Н. П. Кастерину была создана группа из двух сотрудников.

За время работы в ЦАГИ (июнь 1930 г.— март 1931 г.) Н. П. Кастерин принял участие в рассмотрении проекта бесштангового насоса Капланского, предназначенного для эксплуатации нефтяных скважин

³ Архив Н. П. Кастерина. Кабинет истории физики МГУ.

значительной глубины. Убедившись в непригодности этого насоса, Кастерин приходит к выводу, что осуществление такого насоса в лабораторной обстановке тем не менее имеет смысл и интересно не только в научном отношении, но и в чисто техническом, если в качестве рабочей жидкости взять жидкость невязкую, например воду, и если насос будет работать вблизи резонанса, т. е. когда число ходов работающего поршня будет близко к числу гравитационных колебаний насоса. Кастерин разрабатывает теорию такого гидравлического насоса, осуществляет постройку его модели и в апреле 1931 г. представляет в ЦАГИ математическую формулировку задачи о движении воды в этой модели, где приводит общие результаты решения задачи — условия, необходимые и достаточные для функционирования насоса. Одновременно, исполняя желание комиссии ЦАГИ, Кастерин представляет свои соображения по вопросу о рационализации изобретенного поршневого насоса для накачивания нефти из глубоких (до 1 км) скважин.

Помимо этого Кастерин разработал вопрос об упругих колебаниях жидких колонн значительной длины в связи с общей теорией насоса Капланского с длинным трубопроводом, проанализировал новые методы физического исследования течения Рейнольдса. В связи с заданием 2 Кастерин проанализировал имеющиеся методы гидродинамических измерений и разработал новый метод калибрования измерительных приборов всевозможных типов путем создания стандартного потока. Здесь же он указал и на другую возможность использования гидравлического насоса для испытания прочности труб на практике, так как в гидравлическом насосе легко получить при малой мощности двигателя переменные давления, превосходящие 1000 атм. Эти мысли были им изложены в 1931 г. в работе «Вибрационный метод испытания прочности турилл».

Одним из результатов работы в качестве научного консультанта во Всесоюзном научно-исследовательском институте строительных материалов явилась работа «Математическая теория термической устойчивости керамических труб» (1933), в которой обосновывается возможность построения и использования для теплофикации гончарных труб, не трескающихся при неравномерном разогревании.

Результатом непродолжительной работы во Всесоюзном научно-исследовательском институте огнеупорных и кислотоупорных материалов (институт был переведен в Ленинград) было изобретение Кастериным прибора для определения прочности кислотоупорных труб.

В 1934—1938 гг. Кастерин занимался большой теоретической работой по аэродинамике и электродинамике. Свои предварительные результаты он доложил на специальном собрании при Президиуме Академии наук 9 декабря 1936 г. и в качестве предварительного сообщения отпечатал под названием «Обобщение основных уравнений аэродинамики и электродинамики» [13].

По выводам Кастерина вся физика и аэродинамика основаны на опытных измерениях, точность которых ограничена. Следовательно, и все закономерности как конечные, так и в форме дифференциальных уравнений, как отображение экспериментальных измерений, являются только первыми приближениями.

Уравнения Эйлера, данные 180 лет назад, и уравнения Максвелла, данные 75 лет назад, не в состоянии объять все явления аэродинамики (особенно в области быстрых и вихревых движений воздуха) и электродинамики, известные в настоящее время. «Современная теоретическая физика (по Кастерину [13], стр. 1) пытается достигнуть этой цели путем надстроек в виде релятивистской, квантовой и волновой механи-

ки, изменяя, обобщая и даже извращая основы классической механики и физики...».

«Поэтому,— пишет Кастерин,— сама собой является мысль, не изменяя основ классической механики и физики, искать второе приближение как для уравнений электромагнитного поля, так и для аэродинамики, и посмотреть, не смогут ли эти более общие уравнения обнять всю ту совокупность фактов в области электромагнетизма и аэродинамики, которые твердо установлены опытным путем».

Реакция ученых на идеи Кастерина, непосредственно примыкавшие к работам Максвелла, Лоренца, Дж. Дж. Томсона, акад. В. Ф. Миткевича в этой области была весьма противоречивой. Положительно об этих работах отзывались А. К. Тимирязев, В. И. Романов, сочувственно к ним относились В. Ф. Миткевич, С. А. Чаплыгин, А. Е. Ферсман, а также ряд зарубежных ученых. С резкой критикой Кастерина выступили в 1937 г. Д. И. Блохинцев, М. А. Леонтович, Ю. Б. Румер, И. Е. Тамм, В. А. Фок и Я. И. Френкель [19].

Совместное заседание группы физики и математики АН СССР, посвященное обсуждению работ Кастерина и дискуссионных материалов по ним (имеется в виду и статья А. К. Тимирязева «По поводу критики работы Н. П. Кастерина» от 15 июня 1938 г.), записало в своем решении, что работа Кастерина «Обобщение основных уравнений аэродинамики и электродинамики»⁴ целиком ошибочна и из нее нельзя выделить никакого здорового ядра и что все предшествующие работы проф. Кастерина за весь период существования советской власти по смежным вопросам являются также целиком ошибочными».

Необходимо отметить, что после этого прекратилось не только финансирование из средств Академии наук, но и печатание работ Кастерина по этому вопросу, в частности не была напечатана статья «Ответ моим критикам» и большая (объемом в 10 печатных листов) работа, представляющая более подробное изложение текста предварительного сообщения. Просмотренная С. А. Чаплыгиным и отредактированная А. К. Тимирязевым работа не была напечатана и в более позднее время.

Таким образом, вместо ознакомления с идеями Кастерина широкой научной общественности, на которое ученый безусловно имеет право претендовать, вопрос о его работах был решен беспрецедентным путем.

В то же время основная идея Кастерина о возможности перебросить мосты между различными физическими явлениями (звуковая и оптическая дисперсия, аэродинамика и электродинамика) с точки зрения диалектического материализма и одного из его важнейших положений о взаимосвязи и взаимообусловленности явлений природы оказалась весьма ценной и далеко не бесплодной. В измененной форме она получила дальнейшее развитие в таких разделах современной физики, как магнитная гидродинамика и физика плазмы.

Идеи же Кастерина о вихревом движении в аэродинамике не потеряли своего значения и в наше время движений со сверхзвуковыми скоростями. Для этого достаточно хотя бы обратиться к постановке Кастериним ряда вопросов по аэродинамике, удовлетворительное решение которых было дано лишь в самое последнее время (мы имеем в виду вопрос о движении самолетов с около и сверхзвуковыми скоростями в областях смерчей).

Еще в 1936 г. Кастерин обращал внимание на опасность вихрей, заключающих в небольшом объеме колоссальную энергию в виде вра-

⁴ Имеется в виду предварительное сообщение.

шательного движения воздуха. Он отмечал, что существующая в аэродинамике теория вихрей не может дать ответа на ряд вопросов и предлагал по разделу вихрей разработку следующих проблем: «1) теоретическое и лабораторное изучение процессов образования вихревого движения; 2) теоретическое и лабораторное изучение движения вихрей в разных комбинациях; 3) теоретическое и лабораторное изучение способов управления движением вихрей; 4) создание методов точных измерений в области вихрей; 5) измерение скорости звука в завихренном воздухе»⁵.

Отстраненный в марте 1931 г. от работы в ЦАГИ (после ухода С. А. Чаплыгина) Кастерин тем не менее продолжал вплоть до 1941 г. работу в области вихревых движений в лаборатории Физического института Московского университета, руководя здесь научным исследованием по вопросу образования смерча в лабораторных условиях и изучению его аэродинамического поля.

С 25 марта 1941 г. Кастерин состоял штатным профессором на физическом факультете Московского университета по кафедре физики.

В эти годы им написаны работы: «Устранение аэродинамического парадокса Феликса Клейна» [14] и совместно с А. К. Тимирязевым и Т. М. Свиридовым «Вихревой гистерезис» [15], опубликованные уже после его смерти.

Умер Кастерин 10 марта 1947 г. в возрасте 78 лет.

Обзор деятельности Кастерина был бы далеко неполным, если бы мы не отметили его многолетнюю педагогическую деятельность в Новороссийском (г. Одесса) и Московском университетах и ряде других высших учебных заведений страны, где он читал основные курсы по математической физике и вел семинарские занятия. Особенно много сил и труда было вложено Кастериным в оснащение физического кабинета и Физического института Новороссийского (г. Одесса) университета, где он некоторое время руководил и магнитно-метеорологической обсерваторией.

Широкой популярностью в высшей школе пользовались переведенные с немецкого под редакцией Кастерина курсы Е. Варбурга «О кинетической теории газов». М., 1903; Г. А. Лоренца «Видимые и невидимые движения». М., 1905; Курс физики, т. 1. Одесса, 1910; т. 2. Одесса, 1910; трехтомник М. Планка — «Введение в теоретическую физику», ч. 1, «Механика»; ч. 2, «Механика деформируемых тел»; ч. 3, «Теория электричества и магнетизма», выдержавший два издания (1929 и 1932 гг.). Он редактировал работу проф. С. А. Богуславского «Пути электронов в электрическом поле» (1929), труды Института физики (1925) и некоторые другие, давал многочисленные заключения о работах отечественных ученых, в частности К. Э. Циолковского, А. А. Эйхенвальда, и т. д.

РАННИЕ РАБОТЫ Н. П. КАСТЕРИНА

Н. П. Кастерин приобщился к научной деятельности в студенческие годы под руководством А. Г. Столетова. Первая небольшая статья им была опубликована в 1892 г. в ЖРФХО «О поверхностном натяжении этилового эфира при высоких температурах» [1], в которой он значительно расширил температурный интервал (от 16 до 190,5° С) исследований этого вопроса.

⁵ Из докл. записки акад. С. А. Чаплыгину и проф. А. К. Тимирязеву, 15/IV 1936 г. Архив Кастерина в кабинете истории физики МГУ.

Поверхностное натяжение эфира, соприкасающегося со своим насыщенным паром, Кастерин определял по формуле

$$S = \frac{1}{2} h \cdot \frac{d-s}{\cos i},$$

где h — высота поднятия жидкости в капиллярной трубке, s и d — удельные веса эфира и его пара. i — угол соприкосновения эфира.

Для решения этой задачи необходимо было найти значения h и i при различных температурах.

Влияние температуры на капиллярные явления в интервале от 6°C до температуры кипения было исследовано ранее (Квинке Шторф и др.) и установлена линейная зависимость постоянной капиллярности от температуры. Работы Кастерина не подтвердили этот вывод. Не подтвердилось также допущение о том, что угол соприкосновения для смачивающих жидкостей остается равным нулю вплоть до температуры кипения. «Факт изменения высоты мениска с температурой, — отмечал Кастерин, — свидетельствует об изменении вида поверхности мениска, ее кривизны, а следовательно, и i »⁶.

Принимая поверхность мениска за шаровую для узких капиллярных трубок, Кастерин выводит формулу для определения

$$i = \frac{\pi}{2} - 2 \operatorname{arctg} \frac{h}{r}.$$

Проведя многочисленные измерения h и определяя угол соприкосновения i , Кастерин определил величину поверхностного натяжения этилового эфира до температур $190,5^\circ \text{C}$.

В работе «Об изменении сцепления жидкостей с температурой» [2] Кастерин поставил целью теоретически обосновать установленный экспериментально факт более быстрого убывания с возрастанием температуры величины подъема жидкости в капиллярных трубках по сравнению с убыванием ее плотности, что противоречило теории Лапласа. Проанализировав многочисленные эксперименты ряда ученых, Кастерин установил, что при возрастании температуры сцепление жидкости уменьшается быстрее, чем квадрат ее плотности.

По теории Лапласа функция взаимодействия между частицами жидкости по мере увеличения расстояния между ними очень быстро убывает. Исходя из иного механизма взаимодействия, Кастерин принимает, что молекулярные силы проявляют свое действие только на очень малых расстояниях. Этим самым вид функции, выражающей зависимость молекулярных сил от расстояния, и свойства этой функции ничем не ограничились. Придерживаясь этой точки зрения, Кастерин получил формулу для давления

$$p = k + \frac{H}{2} \left\{ \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right\},$$

аналогичную формуле Лапласа, с той, однако, разницей, что k и H в ней не только пропорциональны квадрату плотности жидкости, но и являются функциями радиуса сферы молекулярного действия.

В дальнейшем Кастерин сделал важный вывод о том, что для каждой жидкости кубы молекулярных давлений при двух различных температурах относятся как квадраты соответствующих поверхностных натяжений, умноженных на квадраты плотности жидкости при тех

⁶ Н. П. Кастерин. ЖРФХО, вып. 9, т. XIV, стр. 207.

же температурах. Автор указал и на причину изменчивости величины радиуса сферы молекулярного действия с температурой: диссоциация частиц жидкости.

Кроме того, Кастерин получил еще и следующие результаты: 1) произведение из интенсивности молекулярного действия на молекулярный вес есть величина постоянная; 2) при соответствующей температуре радиус сферы молекулярного действия для различных жидкостей пропорционален корню квадратному из молекулярных весов этих жидкостей.

В работе «Определение постоянной капиллярности и угла соприкосновения по размерам капли» (3) Кастерин показал простой способ определения постоянной капиллярности, не уступающий по точности определению ее из измерения высоты подъема жидкости в капиллярных трубках.

Метод Квинке, как известно, давал тем большую погрешность, чем больше размеры капель. Для средних капель, с которыми еще можно было экспериментировать, эта погрешность была значительна. Помимо этого, поверхности таких капель уже отличались от поверхности вращения, что являлось необходимым в методике Квинке.

Кастерин вывел формулу для определения постоянной капиллярности и угла соприкосновения, годную для капель произвольной величины. Вместе с тем он находит удобный и простой способ получения параметров капли, которые необходимы для вычисления постоянной капиллярности и угла соприкосновения. Это способ фотографирования капли и измерения ее размеров на негативе с помощью координатной сетки, нанесенной на стекло.

Эти ранние работы Кастерина были высоко оценены научной общественностью и за две первые из них ему была присуждена в 1892 г. Обществом любителей естествознания премия им. Мошнина. Известные русские физики и математики А. П. Соколов, П. Н. Лебедев, Н. Е. Жуковский, Д. Ф. Егоров и Н. А. Умов писали, что ранние труды Кастерина по их значению «могли бы легко послужить ему предметом магистерской диссертации» [17].

РАБОТЫ Н. П. КАСТЕРИНА ПО АКУСТИКЕ

Мы уже отмечали, что 24 мая 1905 г. Кастерин был удостоен сразу степени доктора физики за работу «О распространении волн в неоднородной среде», которая представляет собой теоретическое и экспериментальное изучение вопроса о распространении звуковых волн в неоднородной среде, который, несмотря на всю его важность для науки, затрагивался автором в наиболее общем виде впервые.

Работа состояла из пяти глав. Первая глава, хотя и представляющая введение к последующим, тем не менее имела и самостоятельный интерес для акустики.

В ней рассмотрена теория распространения волн в средах слоистой структуры, имеющая непосредственное приложение к объяснению известных опытов Тиндаля над звукопроводностью слоев воздуха неоднородного строения и указывающая на те условия, при которых атмосфера является непрозрачной для таких волн. Помимо этого, по мнению оппонентов при защите диссертации профессоров А. П. Соколова, П. Н. Лебедева, Н. Е. Жуковского, Д. Ф. Егорова и Н. А. Умова, принимая во внимание указанную Кастериним «независимость законов прохождения и отражения волн от специального характера колебательного движения в них, мы усматриваем в этой главе основы для раз-

вития строгой теории цветной фотографии по способу Липпмана, какой теории в науке по сие время не имеется» [17], стр. 8).

Предполагая, что среда состоит из N слоев, из которых все слои нечетного ряда обладают одной толщиной и одними акустическими свойствами, а все четные слои — другими, автор выяснил вопрос о том, какие волны могут распространяться в такой среде перпендикулярно к ее слоям.

Следуя по пути, указанному Релеем, автор находит общие гидродинамические уровни, удовлетворяющие потенциалу скоростей волнового движения внутри каждого слоя четного и нечетного ряда и пограничные условия, налагаемые равенством нормальных скоростей и давлений на границе двух смежных слоев.

Далее он рассматривает законы преломления и отражения волн в плоскопараллельной пластинке известной толщины такого слоистого строения, погруженной в среду с акустическими свойствами ее четных слоев, и приходит к выводу, что эти законы здесь будут приблизительно те же, как если бы пластинка была однородной и имела некоторую плотность ρ и показатель преломления

$$n = k_1/k_2,$$

величины которых зависят как от структуры среды, так и от периода волны (T).

Наиболее интересным теоретическим вопросом этой главы является вопрос о зависимости показателя преломления пластинки n от периода волны, т. е. вопрос о дисперсии звуковых волн как нормальной, так и аномальной, о наличии которой до него никто не догадывался. Особенно интересным явился вывод о том, что ни ширина и положение полос абсорбции, ни их число и величина показателя преломления вовсе не зависят от числа слоев пластинки, когда их число более двух.

Наконец, автор рассматривает наиболее общий случай, когда падение волны на пластинку происходит под каким-либо углом и приходит к аналогичным, хотя и более сложным, результатам. Для данного случая показатель преломления оказался зависящим не только от структуры среды и периода волн, но и от угла падения, а закон Снелли сохраняет силу при некоторых условиях лишь для больших длин волн. Полосы поглощения, согласно теории, должны были испытывать смещение в сторону коротких волн в зависимости от косинуса угла падения, т. е. наблюдаться в других местах.

Законы акустической дисперсии как нормальной, так и аномальной, открытые Кастериным, оказались весьма сходными с законами оптической дисперсии, из чего был сделан вывод о независимости этих явлений от характера (продольность или поперечность колебаний) волнового движения. Эта независимость позволяла сделать некоторые вероятные заключения относительно невыясненных пунктов оптической аномальной дисперсии.

К таким пунктам относился вопрос о наклоне дисперсионной кривой внутри полос абсорбции. По теории Кастерина следовало, что дисперсионная кривая внутри полосы дисперсии должна иметь вид прямой, наклонной к оси волн и угол этого наклона и ширина полос абсорбции обуславливаются периодом структуры среды, т. е. межмолекулярными расстояниями. Это указывало на возможность определения межмолекулярных расстояний путем наблюдения аномальной дисперсии звуковых и оптических волн. В более позднее время этот метод нашел широкое применение в молекулярной акустике и спектроскопии (при этом какие-либо ссылки на Кастерина обычно отсутствуют).

Основную, наиболее капитальную часть труда, представляют 2-я и 3-я главы, в которых теоретически и экспериментально решался вопрос о распространении звуковых волн в воздушной среде, неоднородность которой создавалась путем большого числа твердых тел сферической формы, имеющих одинаковые размеры и размещенных в безграничной воздушной среде в порядке параллелепипеда в трех взаимно перпендикулярных направлениях на расстояниях a , b , c друг от друга, так что шары образовывали пластинку толщиной L .

Ставилась задача выяснить, какого рода движение установится при этих условиях в любой точке среды внутри и вне пластинки, если на нее (на пластинку) нормально будет падать звуковая волна периода T . Впервые такая задача для случая одного шара и плоской волны в воздухе была решена Релеем в 1872 г.

Эта чрезвычайно общая и сложная задача была решена Кастериным, хотя и в очень сложной форме. Физическое истолкование задачи было дано им лишь для случая, когда длина падающих волн больше наибольшего из периодов структуры среды ($\lambda > b, c$), а радиус шаров бесконечно мал (зернистое строение среды). Вывод оказался весьма прост. Потенциалы волн отраженной, проходящей и внутри пластинки оказались тождественными с их выражениями для однородной пластинки, если только за толщину последней принять в уравнении величину $a+a$ (a — расстояние шаров по направлению волны), а за плотность и показатель преломления — выражения, данные Кастериным. Для случая $a=b=c$ автор исследует более детально вид дисперсионной кривой и приходит к выводу о том, что при этом дисперсия всегда остается нормальной.

Для λ , соизмеримой с a , b , c , в пластинке наступает избирательная абсорбция и аномальная дисперсия, как и для пластинки слоистого строения, т. е. при подходе к полосе абсорбции со стороны длинных волн, n быстро возрастает до некоторого значения на границе полосы, внутри ее падает по линейному закону и, наконец, опускается до минимального значения на другом конце области поглощения.

Исследования Пфлюгера и Вуда, проведенные до 1905 г. для некоторых красящих веществ, более поздние исследования Д. С. Рождественского для световых волн полностью подтвердили вывод Кастерина.

Отмечая аналогичный ход кривых дисперсии для случая звуковых и оптических волн, автор подчеркивает, что при расстояниях b и c , соизмеримых с λ , могут возникнуть в проходящей и отраженной волнах дифракционные явления, подчиняющиеся тем же законам в отношении \tan и \tan , что и при дифракции оптической. Известно, что несколько позднее явление дифракции ультразвуковых волн (λ соизмеримо с b и c) и световых волн стали широко применяться для исследования так называемых периодических структур.

Для случая $\lambda > b > c$ (отсутствие дифракции и стоячих волн, образовавшихся в среде при отражении от неподвижной стенки) автор нашел и проверил экспериментально уравнение, позволявшее вычислить расстояние узлов и пучностей от неподвижной стенки и, следовательно, расстояния между ними.

В конце второй главы Кастерин обобщил полученные им результаты на случай упругих шаров. Решение, найденное им для случая абсолютно твердых шаров, оказалось справедливым и здесь. Явление же дисперсии для этого случая обуславливалось не только взаимным расположением шаров, но и их свойствами.

Наконец, автор указывает, что найденные им формулы при $\lambda > b, c$ могут иметь непосредственное приложение при решении целого ряда

задач о явлениях в неоднородных средах — задач о намагничивании и диэлектрической поляризации, об электропроводности и теплопроводности этих сред, так как его формулы оказались согласующимися с приближенными формулами, найденными для описания этих явлений Пуассоном, Москотти и Клаузиусом, Максвеллом и Релеем.

Четвертая глава посвящена Н. П. Кастериним исследованию распространения волн в неоднородных средах наиболее сложного строения, средах, составленных из резонаторов. Он показывает, что и такая задача при некоторых изменениях может быть приведена к задаче о неподвижных твердых шарах. При этом он ввел специальный параметр, который наряду с собственным тоном характеризует акустические свойства резонатора. Таким образом, он рассматривает полые сферические и цилиндрические резонаторы Гельмгольца и, наконец, сферический осциллирующий резонатор. При этом автор останавливался в основном на исследовании дисперсионных кривых сред, построенных из таких резонаторов, и выяснил, что явления аномальной дисперсии обуславливаются взаимными расстояниями между резонаторами и их акустическими свойствами (главным образом собственными тонами). Выяснилось, что для λ , заключающих в себе собственный тон резонатора, обнаруживаются явления абсорбции и аномальной дисперсии. Ширина полосы поглощения оказалась пропорциональной степени заполнения пространства и длине волны собственного тона резонатора. Положение полосы определяется размерами и расстоянием. Показатель преломления внутри полосы изменяется по линейному закону

$$n = \lambda/2a.$$

Третья глава исследования была посвящена Кастериним описанию экспериментов по проверке теоретических результатов глав 2 и 4. Им были найдены виды дисперсионных кривых для неоднородных сред различного строения, т. е. определены показатели преломления как функции длины волны.

Остановимся на опытах со средами зернистого строения. Измерение n для таких сред производилось в трубках с шарами при помощи пыльных (пробковые опилки) фигур Кундта. В трубку, закрытую с одного конца, вводилась стеклянная пластинка с насыпанными на нее пробковыми опилками, и на ней определялось положение узлов и пучностей, сначала в трубке, заполненной только воздухом, а потом, когда в нее вводились ряд неподвижных стеклянных шаров, размещающихся по оси трубки на одинаковых расстояниях. В других опытах ряд состоял из четырех шаров в каждом слое. Возбуждение волн осуществлялось при помощи натираемых стеклянных стержней, вводимых в трубку. Показатель преломления всякий раз получался равным отношению среднего расстояния между узлами в опыте без шаров и в опыте с шарами.

Одна из созданных моделей работала в области отсутствия аномальной дисперсии, и точность измерения n не выходила за пределы 0,4% от значений, найденных теоретически. В другой модели размеры и расстояния между шарами были подобраны так, что для изучаемых длин волн уже имела место аномальная дисперсия. При этом согласие экспериментально полученного показателя и вычисленного теоретически было меньшим $\sim 1\%$, так как значительное затухание колебаний приводило к менее отчетливым пыльным фигурам.

В пятой главе Кастерин изучил вопрос о свободных колебаниях, возможных в безграничной неоднородной среде зернистого строения в

отсутствие внешних источников колебаний, и пришел к выводу, что такие колебания возможны, причем они должны соответствовать периодам, для которых среда обнаруживает явления абсорбции и аномальной дисперсии.

Остановимся на оценке работы Кастерина.

Мы уже указывали на то, что Комиссия из виднейших русских ученых признала его труд выдающимся событием научной жизни не только в России, но и за границей. За этот труд Кастерин был прямо возведен в степень доктора физики. Результаты его работы быстро стали достоянием учебников и непременно цитировались в руководствах по акустике. Они побудили ряд ученых к дальнейшему изучению поставленных им вопросов.

В 1928 г. к нему обратился немецкий физик Шульц, изучивший работу Кастерина (по предварительному сообщению), с просьбой прислать ему один экземпляр диссертации, хотя бы и на русском языке. Далее он пишет, что намерен заняться разработкой проблемы «Рассеяние звуковых волн в неоднородной среде». Есть другие указания на большой интерес к работе Кастерина.

Однако, как это часто бывает в истории науки, когда возникает непосредственная потребность в использовании тех или иных идей, они часто оказываются забытыми.

В связи с быстрым развитием замедляющих систем повысился интерес к закономерностям периодических структур. К сожалению, мало кому известно, что первый установил ряд закономерностей периодических структур неоднородных сред русский физик Кастерин в 1898—1904 гг.

Нетрудно видеть, насколько прав был Кастерин, исходя из факта существования аналогии между явлениями абсорбции и дисперсии света в оптических средах с этими же явлениями в неоднородных акустических средах. Найдя закономерности абсорбции и дисперсии для акустических сред, он значительно продвинул вопрос об этих закономерностях в оптических средах, и это подтвердилось непосредственно радиотехнической практикой.

Отметим, что замедляющие системы нашли в наше время широкое применение не только в радиотехнике, но и непосредственно в акустике (линии задержки в ультраакустике и др.). Что же касается моделирования различных систем с последующим их изучением ультраакустическими методами для выяснения структуры молекул, межмолекулярных взаимодействий и многих других вопросов, то эти методы находят применение в молекулярной акустике. Однако при этом о работах Кастерина опять же почти не упоминается, особенно в работах молодых исследователей. Из сказанного следует, что изучение работ его, посвященных закономерностям периодических структур, представляет интерес и в настоящее время.

Анализируя работы Кастерина, можно прийти к выводу, что в более позднее время он не продолжил разработку идей докторской диссертации и не дал сколько-нибудь существенных работ, относящихся непосредственно к области акустики, хотя в его архивах и имеются рукописи по вопросам архитектурной акустики, влияния твердой стенки на излучение акустического вибратора.

Однако такой вывод не является правильным, если вспомнить, что в докторской диссертации Кастерин ставил целью уяснить механизм явлений абсорбции и дисперсии света в оптических средах и, лишь опираясь на аналогии со звуковыми волнами в искусственно устроенных неоднородных средах, изучал вопрос о распространении звуковых волн

(рассматривая его как более простой в экспериментальном отношении случай).

Идеи, высказанные в докторской диссертации, позволили Кастерину прийти к выяснению, например, вопроса о происхождении донного льда, а удачная попытка установить аналогию между явлениями в акустике и оптике — к мысли о возможности перебросить мост между механикой и электродинамикой путем обобщения уравнений аэродинамики и электродинамики, решение которой создатель квантовой физики Планк считал венцом, завершающим построение теоретической физики.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РАБОТЫ Н. П. КАСТЕРИНА

1. О поверхностном натяжении этилового эфира при высоких температурах. ЖРФХО, XXIV, 9А, стр. 196—210. 1892 г.
2. Об изменении сцепления жидкостей с температурой. ЖРФХО, XXV, 1А, стр. 51—72. 1803 г.
3. Определение постоянной капиллярности и угла соприкосновения по размерам капли. ЖРФХО, XXV, стр. 203. 1893 г.
4. О дисперсии звуковых волн в неоднородной среде. ЖРФХО, XXX, 3А, стр. 61—78. 1898 г.
5. Ueber die Dispersion der akustischen Wellen in einem nicht homogenischen Medium (доклад в Академии наук в Амстердаме от имени автора проф. Камерлинг-Оннесом, напеч. в Известиях Академии наук в Амстердаме). 1898 г.
6. О звуковом давлении. ЖРФХО, XXXIV, 4Б, стр. 30. 1902 г.
7. О распределении волн в неоднородной среде, ч. 1, (докторская диссертация) «Звуковые волны». Уч. зап. Моск. ун-та, отд. физики, в. 20. 1904 г.
8. Материя и электричество, Изд-во Моск. ун-та. 1906 г.
9. О несостоятельности принципа относительности Эйнштейна. Записки Новороссийск. ун-та. Одесса. 1919 г.
10. Вывод основных законов квантовой теории из уравнений Максвелла. ЖРФХО, VIII, 2А, стр. 285—288. 1926 г.
11. On sir J. J. Thomson's Model of Light — Quantum. From. the Philosophical Magazine. 1926 г.
12. Обобщение математической формулировки закона аберрации света и принципа Доплера и следствия из этого закона для опытов Майкельсона и Дайтона Миллера (доложено в Академии наук в Ленинграде). Изд-во АН СССР, стр. 226—235. 1932 г.
13. Обобщение основных уравнений аэродинамики и электродинамики. Докл. на особ. совещ. при АН СССР. 1937 г.
14. Устранение аэродинамического парадокса Феликса Клейна. Вестн. Моск. ун-та, № 10. 1949 г.
15. Вихревой гистерезис (совм. с А. К. Тимирязевым и Т. М. Свиридовым). «Вестн. Моск. ун-та», № 10. 1949 г.
16. К теории образования донного льда. Доклад, прочитанный 22 окт. 1925 г. на заседании Физ. о-ва им. П. Н. Лебедева. Протоколы о-ва. 1925 г.

ОСНОВНЫЕ ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

17. Соколов А. П., Лебедев П. Н., Жуковский Н. Е., Егоров Д. Ф., Умо в Н. А. Отзыв о магистерской диссертации Н. П. Кастерина «О распространении волн в неоднородной среде», ч. 1, «Звуковые волны». М., 1903. (Рукопись. Архив Кастерина в каб. истории физики МГУ).
18. Томсон Дж. Дж. Электричество и материя. М.—Л., 1928.
19. Блохинцев Д. И., Леонтович М. А., Румер Ю. Б., Тамм И. Е., Фок В. А., Френель Я. И. О статье Н. П. Кастерина «Обобщение основных уравнений аэродинамики и электродинамики». «Изв. АН СССР», № 3, 1937.
20. Тамм И. Е. О работе Н. П. Кастерина по электродинамике и смежным вопросам. «Изв. АН СССР», № 3, 1937.
21. Тимирязев А. К. По поводу критики работы Кастерина. «Изв. АН СССР», в. 4, 1938.
22. Готт В. С. Философские вопросы современной физики, М., 1937.
23. Кудрявцев П. С. История физики, т. 2. М., 1956.
24. Спасский Б. И. История физики, ч. 2. Изд-во Моск. ун-та, 1964.
25. Кузнецов Б. Г. Развитие философских идей от Галилея до Эйнштейна, изд. 2. М., 1966.