

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ВЛАДИМИР КОНСТАНТИНОВИЧ АРКАДЬЕВ
(1884—1953)

Н. Н. Малов

1 декабря 1953 г. после длительной болезни на семидесятом году жизни скончался член-корреспондент Академии наук СССР, старейший профессор Московского университета, доктор физико-математических наук Владимир Константинович Аркадьев.

Кончина В. К. — большая потеря для советской физики. Особенно остро она переживается его многочисленными учениками и всеми работниками в области электромагнетизма.

Жизненный путь В. К., все свои силы отдававшего любимой науке, не богат внешними событиями. В. К. родился в Москве 21 апреля 1884 г., рано потерял отца и воспитывался матерью, работавшей в библиотеке; с детства он имел дело с книгами и полюбил их. Окончив Вторую московскую гимназию, В. К. в 1904 г. поступил на физико-математический факультет Московского университета. Здесь он слушал курсы Н. А. Умова и П. Н. Лебедева, прошёл физический практикум у А. П. Соколова и в 1907 г. начал экспериментальную работу в лаборатории П. Н. Лебедева, где в эти годы создавалась первая русская школа физиков-экспериментаторов.

Как известно, П. Н. Лебедеву, обессмертившему своё имя экспериментальным обнаружением и измерением светового давления, принадлежат также замечательные исследования в области сантиметровых и миллиметровых электромагнитных волн.

Эти исследования расширялись многими учениками Лебедева. В частности, В. К. занялся изучением магнитных свойств ферромагнетиков в сантиметровых волнах. Уже в 1908 г. им были получены первые результаты и открыто исчезновение магнитных свойств вещества (железа и никеля) при волне около 3 см. За это открытие В. К. была присуждена в том же году премия общества любителей естествознания, антропологии и этнографии. В дальнейшем В. К. продолжал экспериментальную и теоретическую работу в этом же направлении.

Плодотворная деятельность коллектива, окружавшего П. Н. Лебедева, была прервана в 1911 г., когда этот коллектив покинул университет вслед за своим учителем, протестовавшим вместе с другими прогрессивными профессорами университета против произвола, допущенного тогдашним министром народного просвещения реакционером Кассо. В. К. также покинул университет и сосредоточил свою деятельность в городском народном университете имени Шанявского и на педагогических курсах имени Тихомирова.

После Великой Октябрьской социалистической революции, когда университет Шанявского слился с Московским университетом, В. К. вернулся в последний и организовал в нём (в 1919 г.) магнитную лабораторию, позже переименованную в лабораторию электромагнетизма. Этой лабораторией и кафедрой «Теоретические основы электротехники», созданной в 1939 г., В. К. руководил до конца жизни.

В 1927 г. В. К. был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР и активно участвовал в работе отделения технических наук Академии, возглавляя комиссию по магнитным и проводниковым материалам и создав лабораторию при секции электросвязи.

Помимо этого основного направления своей деятельности, о научном значении которого будет сказано ниже, В. К. в годы первой мировой войны организовал исследования по вопросам химической обороны и написал курс «Научно-технические основы газовой борьбы», выдержавший несколько изданий.

В разные годы (до 1927 г.) В. К. преподавал в нескольких высших учебных заведениях Москвы, в частности, руководил кафедрой физики Института народного хозяйства имени Плеханова; в 1923—1931 гг. возглавлял магнитометрический отдел Государственного экспериментального электротехнического института; в тридцатых годах консультировал физико-технический отдел института физиотерапии и предложил ряд усовершенствований электрометрической аппаратуры и методов дозирования электрометрических процедур. В. К. был тесно связан с Политехническим музеем (член учёного совета музея с 1948 г.) и с обществом испытателей природы при МГУ (возглавлял в последние годы секцию физики).

В. К. опубликовано более 100 научных исследований, главным образом посвящённых электромагнитным проблемам.

Широкая научная и общественная деятельность В. К. получила признание со стороны Правительства, наградившего В. К. орденом Трудового Красного Знамени и несколькими медалями.

Наиболее значительные научные результаты, полученные В. К., относятся к области ферромагнетизма.

Уже в первой, упоминавшейся выше работе В. К., исследуя отражение сантиметровых волн от металлических решёток, обнаружил исчезновение ферромагнитных свойств вещества (резкий спад магнитной проницаемости) вблизи волны длиной в 3 см. Это

было большим открытием, связывавшим свойства вещества при герцевых волнах с его оптическими свойствами (отсутствие ферромагнитных свойств при оптических частотах было установлено раньше).

Продолжая исследование, В. К. в 1911 г. подтвердил исчезновение ферромагнитных свойств, изучая поглощение сантиметровых волн в двухпроводной линии. Он заметил при этом, что измеренные обоими методами значения магнитной проницаемости не совпадали друг с другом, что требовало теоретического объяснения.

Результаты В. К. были подтверждены в более поздние годы, когда методы генерирования и измерения неизмеримо улучшились. В век стабилизаторов напряжения, мощных генераторов незатухающих колебаний, прекрасной детектирующей и усиливающей аппаратуры нелегко оценить те экспериментальные трудности, какие приходилось преодолевать В. К., работавшему с затухающими колебаниями ничтожной мощности, не имевшему детекторов и хорошо эвакуированных термоэлементов. И можно поражаться экспериментальному искусству В. К., не только качественно обнаружившего новое физическое явление, но и давшего количественные результаты, полностью подтверждённые позднейшими работами.

В те годы теория Максвелла не получила ещё полного развития. В уравнениях Максвелла фигурировали параметры, характеризующие вещество — электрическая проницаемость ϵ , электропроводность σ и магнитная проницаемость μ , предполагавшиеся постоянными (правда, работами Столетова уже было установлено, что магнитная проницаемость ферромагнетиков сложным образом зависит от напряжённости магнитного поля). В работах Друде, относящихся к началу XX века, было показано, что поведение вещества в переменных полях зависит от соотношения между током смещения и током проводимости, изменяющегося с изменением частоты поля. Но, повидимому, Друде, интересовавшийся только неферромагнитными веществами, не предполагал частотной зависимости указанных параметров.

Анализируя свои экспериментальные результаты, В. К. пришёл к двум весьма смелым и оказавшимся плодотворными идеям. Во-первых, он заключил, что параметры вещества, в частности магнитная проницаемость, зависят от частоты поля. Во-вторых, желая учесть явление гистерезиса, заключающееся в отставании изменений индукции от изменений магнитного поля и сопровождающееся необратимыми потерями энергии электромагнитного поля при перемагничивании ферромагнетика, В. К. ввёл добавочный параметр — магнитную проводимость вещества ρ , придав уравнениям Максвелла симметричную форму:

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \frac{\epsilon}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + 4\pi \mathbf{j} \mathbf{E}; \quad -\operatorname{rot} \mathbf{E} = \frac{\mu}{c} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} + 4\pi \rho \mathbf{H}.$$

Как известно, для гармонических процессов периода T оказывается удобным ввести понятие комплексной электрической проницаемости:

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''; \quad \epsilon'' = 2\sigma T; \quad j = \sqrt{-1}.$$

Аналогично ей В. К. ввёл комплексную магнитную проницаемость:

$$\mu = \mu' - j\mu''; \quad \mu'' = 2\rho T.$$

Среда, характеризующаяся указанными четырьмя параметрами, была названа В. К. «бикомплексной средой».

Решая уравнения Максвелла для случая преломления и поглощения электромагнитных волн в веществе, В. К. установил, что коэффициент поглощения среды является функцией «проницаемости по поглощению»

$$\mu_k = \sqrt{\mu'^2 + 4\rho^2 T^2} + 2\rho T,$$

а коэффициент преломления зависит от «проницаемости по преломлению»

$$\mu_n = \sqrt{\mu'^2 + 4\rho^2 T^2} - 2\rho T.$$

Эти проницаемости отличаются друг от друга в тех областях спектра, где магнитная проводимость отлична от нуля. Таким образом, В. К. смог объяснить расхождение числовых значений проницаемостей ферромагнетика, измеренных им двумя различными методами.

Пользуясь этими представлениями, В. К. построил стройную теорию магнитной дисперсии свойств вещества. Он впервые указал, что изучение магнитной дисперсии (подобно оптической дисперсии) открывает большие перспективы для определения различных величин, характеризующих свойства молекул (или их комплексов). Поэтому приложение своей теории к изучению свойств вещества В. К. называл «магнитной спектроскопией». Плодотворность такой трактовки стала особенно ясна в последние годы, когда в связи с совершенствованием радиотехнических методов сантиметровые и дециметровые волны стали широко применяться для целей спектроскопии не только молекул и атомов, но даже атомных ядер.

Обнаруженное В. К. при изучении различных процессов расхождение значений магнитной проницаемости не было случайным. В связи с большой сложностью процессов намагничивания ферромагнетиков, как показал В. К. в тридцатых годах, приходится вводить представление о целом ряде проницаемостей, определяющих процесс перемагничивания (или намагничивания) в различных условиях; одна из последних таблиц, систематизирующих различные проницаемости, составленная В. К., содержит свыше 70 различных магнитных проницаемостей.

Объясняя исчезновение ферромагнитных свойств вещества в быстропеременных полях конечной скоростью распространения намагничивания, В. К. ввёл представление о «магнитной вязкости» вещества, оказавшееся плодотворным при изучении условий перемагничивания. Свою теорию намагничивания В. К. называл «магнетодинамикой» и видел в ней развитие и углубление классических идей Максвелла.

Наряду с научными приложениями своей теории намагничивания (которую В. К. разрабатывал и совершенствовал до последних дней жизни) В. К. всегда стремился передать научные достижения в практику. В ряде его собственных работ и работ его школы строилась точная теория поверхностного эффекта, уточнялись и заново создавались методы расчёта магнитных характеристик при технических частотах, изучались вопросы намагничивания и размагничивания тел различной формы и решались другие проблемы прикладного характера. Эти работы нашли в своё время завершение в известной двухтомной монографии В. К. «Электромагнитные процессы в металлах», вышедшей в 1934 и 1936 гг. Перед кончиной В. К. работал над вторым изданием монографии, но не успел довести его до конца.

Этим же практическим приложениям посвящены и сборники работ, указанные в списке литературы (см. ниже, в конце статьи). Рассмотренные работы В. К. по электромагнетизму в значительной мере опережали современную им науку и указывали пути дальнейшего её развития. Глубина и значение этих работ полностью раскрылись только в наши дни. Поэтому нельзя не согласиться с оценкой, данной трудам В. К. двумя наиболее выдающимися его учениками — академиком Б. А. Введенским (на 65-летнем юбилее В. К. 24 мая 1949 г.) и членом Белорусской Академии наук Н. С. Акуловым (в выступлении над могилой В. К. на Новодевичьем кладбище). Отмечая неувядаемую свежесть работ В. К., оба оратора назвали их «классическими в настоящем смысле этого слова».

Верный заветам своего учителя П. Н. Лебедева, показавшего в одной из блестящих работ аналогю свойств миллиметровых и оптических волн, В. К. стремился перенести в область сантиметровых волн оптические методы. В тридцатых годах им был разработан электромагнитный аналог фотографии, названный «стиктографией». Суть метода заключается в исследовании структуры электромагнитного поля при помощи большого числа когереров, положенных на бумагу, смоченную электролитом; к краям бумажного листа подведено постоянное напряжение. Попадая в переменное электромагнитное поле, когереры увеличивают свою проводимость, и вблизи их концов возникает окрашивание бумаги продуктами электролиза; в результате на бумаге появляется семейство точек, позволяющее судить о структуре поля.

Развитием этого метода явилась «искровая стиктография» — использование металлических опилок, насыпавшихся на фотопластинку, вносимую в исследуемое поле. При достаточной интенсивности поля между опилками проскакивают искры, засвечивающие пластинку и позволяющие судить о распределении поля на поверхности пластинки. Стиктография может найти практическое применение в импульсной технике, где мгновенные значения полей весьма велики.

В начале двадцатых годов по предложению В. К. в лаборатории электромагнетизма была выполнена ещё одна замечательная работа, завершившая искания П. Н. Лебедева. Как известно, в девяностых годах прошлого века физики стремились «сомкнуть» электромагнитный спектр — получить и исследовать всевозможные частоты. Но не удавалось получить волны, меньшие 6 мм, при помощи электрических методов возбуждения колебаний (Лебедев, 1895), а оптическим путём не удавалось исследовать инфракрасное излучение с длиной волны, превышающей 0,35 мм (Рубенс, 1896). Многочисленные попытки заполнить пробел не давали результата, так как при электрических методах возбуждения приходилось работать с очень маленькими вибраторами, быстро сгорающими при искровых разрядах и дававшими ничтожно малую мощность; интенсивность длинноволнового излучения молекул также была весьма мала и недоступна измерению.

На одном из научных съездов, когда Лебедев здоровался с Рубенсом, один из присутствующих пожелал им «протянуть друг другу руки также и в электромагнитном спектре». Но ни Лебедеву, ни Рубенсу не было суждено дожить до реализации этого пожелания.

В. К. предложил создать генератор со сменными вибраторами — металлическими опилками, взвешенными в вязком масле. Эта идея была реализована верной спутницей В. К. на жизненном и научном пути — его супругой, профессором Московского университета Александрой Андреевной Глаголевой-Аркадьевой (1884—1945).

В 1922 г. ею был построен генератор, получивший название: «массовый излучатель». Он давал «белое излучение», охватывавшее интервал волн от нескольких сантиметров до 0,080 мм, т. е. перекрывавшее весь промежуток между «оптической» и «контурной» частями электромагнитного спектра. Ею же были изучены основные свойства этого излучения.

Из других работ в области электромагнетизма, выполненных В. К., наиболее интересны изящные работы по наблюдению шума при перемагничивании, осуществлённые весьма простым и убедительным методом, а также блестящий опыт с «парящим магнитом». В. К. поместил в жидкий гелий свинцовую пластинку и бросил на неё небольшой магнит. Возникшие при этом в сверхпроводящей пластине токи были так велики, что благодаря электромагнит-

ному взаимодействию с ними магнит после нескольких движений вверх и вниз повис над пластиной почти неподвижно. В. К. считал этот эффектный опыт ценным не только по его изяществу. Он полагал, что подобные взаимодействия могут играть определённую роль в космогонии; эта идея занимала В. К. в последнее время.

Из различных работ В. К. в других областях физики прежде всего следует напомнить превосходное исследование диффракции Френеля, опубликованное в 1913 г. Как известно, френелева диффракция доступна наблюдению при условии, что линейные размеры препятствия, создающего диффракцию, соизмеримы с размерами немногих первых зон Френеля; практически это значит, что угловая величина препятствия, рассматриваемого из точки наблюдения диффракции (с расстояния D), должна быть очень мала. Если источник света бесконечно удалён, то радиус первой френелевой зоны R и её угловая величина α определяются простыми соотношениями

$$R = \sqrt{D\lambda}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{R}{D} \cong \alpha,$$

где λ — длина волны света. В обычных условиях D составляет десятки сантиметров, и соответственно R не должно превышать долей миллиметра. Но при увеличении D растут и допустимые размеры препятствия. В. К. производил фотографирование диффракционной картины с расстояния порядка десятков метров и получил прекрасные диффракционные изображения от сравнительно крупных препятствий. Тем самым было доказано, что диффракция может наблюдаться и на больших предметах. Кроме того, В. К. провёл и количественный анализ распределения интенсивности (результаты его хорошо совпали с теорией явления). Превосходные фотографии, полученные В. К. и его учениками А. С. Беркманом и Н. Н. Яковлевым, вошли ныне во все вузовские учебники. Интересно отметить, что идеи В. К. нашли отражение в недавней работе (Уайтфорд, 1933), где наблюдалась френелева диффракция в космическом масштабе — при покрытии звёзд Луной.

Другая значительная работа была выполнена В. К. совместно с Н. В. Баклиным. Они сконструировали импульсный генератор, описанный В. К. в 1925 г. под названием «искровой трансформатор»; он состоял из системы параллельно включённых конденсаторов. При заряде их до достаточного потенциала происходил пробой искровых промежутков, в результате чего конденсаторы переключались последовательно, а напряжение на концах прибора соответственно возрастало. Такой генератор, называемый иногда «генератором молний», применялся в атомных исследованиях, требовавших сверхвысоких напряжений.

В. К. всегда стоял на страже интересов русской науки, боролся за признание её успехов, отстаивал приоритет русских учёных.

Так, ещё в двадцатых годах В. К. провёл и успешно завершил большую полемику с немецким физиком Гансом, стремившимся приписать немецкой науке честь открытия магнитной проводимости. В 1947 г. В. К. выступил в защиту приоритета русской физики в изобретении стиктографии, документально доказав, что импульсный генератор был создан в России гораздо раньше, чем за границей, и т. д.

В созданной В. К. лаборатории электромагнетизма его многочисленные ученики вели систематические исследования магнитных явлений, причём В. К. охотно привлекал к работе молодёжь. Научный коллоквиум лаборатории, где обсуждались как работы лаборатории, так и научные новинки, публикуемые в журналах, являлся продолжением коллоквиума, организованного П. Н. Лебедевым. Коллоквиум, бывший очень хорошей школой для начинающих физиков, провёл более 300 заседаний; на нём выступали как русские, так и приезжавшие в Москву иностранные учёные.

В лаборатории электромагнетизма начинало свою научную работу большое число физиков. Среди них: академик Б. А. Введенский, член Белорусской Академии наук Н. С. Акулов, 9 профессоров-докторов и около 30 кандидатов наук и доцентов. Часть из этих лиц повышала квалификацию заочно, работая на периферии и приезжая к В. К. за консультациями. Этот интересный опыт заочного руководства экспериментальной работой заслуживает внимательного изучения.

Воспитывая молодёжь, В. К. всегда настоятельно рекомендовал изучать классические сочинения по физике, указывая на глубину и богатство мыслей и ясность изложения, присущую классикам науки. Большой заслугой В. К. является организация выпуска в свет и редактирование сборника «50 лет волн Герца», содержащего перевод на русский язык основных трудов Герца по электромагнитным волнам.

Как учитель В. К. был очень заботлив и в то же время очень требователен. Подобно академику Павлову, говорившему, что наука требует всего человека, В. К., отдавая всего себя науке, требовал от учеников дисциплины, большого труда, твёрдости характера при неизбежных экспериментальных трудностях. Даваемые им задания были всегда трудными, но выполнимыми.

Вспоминая, как, будучи студентом II курса, я начал работать у В. К. по френелевой дифракции. Он дал мне прочесть свою работу, предоставил место, снабдил аппаратурой, дал задание и раз в неделю требовал отчёта о ходе работы. По проторённым путям с хорошей аппаратурой работа успешно шла вперёд, давала кое-какие результаты и главное укрепляла у новичка веру в собственные силы. Вероятно, для того, чтобы эта вера не перешла в самоуверенность, В. К. принёс однажды большую немецкую статью и предложил через месяц прореферировать её.

на коллоквиуме. При реферировании В. К. организовал живое обсуждение реферата, причинившее неопытному докладчику некоторые неприятности, но многому его научившее. Затем В. К. поручил мне в качестве дипломной работы другую тему, где уже не было готовой аппаратуры, всё нужно было делать заново, приобретая необходимые физику практические навыки. Много труда стоила эта работа, часто заходившая в тупик. И каждый раз в нужную минуту В. К. приходил на помощь, указывал путь преодоления трудностей, давал ценные советы, какие мог дать только такой талантливый экспериментатор, каким был В. К.

На пятом съезде русских физиков в Москве (1926 г.) с докладами выступал ряд молодых учеников В. К., работавших в лаборатории электромагнетизма. Конечно, все мы очень волновались. Но, кажется, В. К. беспокоился ещё больше нас. Он тщательно обсудил выступления, сделал всё, чтобы доклады прошли успешно, и радостно поздравлял нас с первыми шагами на научном поприще.

Наука была единственной целью, единственным интересом В. К. Помню, как в 1942 г., приехав временно в Москву, В. К., полубольной, в заледеневшей квартире, беседовал со мною о возможности сохранить его научный архив в каком-либо убежище, более безопасном, чем его квартира, находившаяся на верхнем этаже, совсем не защищённая от возможного попадания бомбы.

В мае 1953 г. В. К. вызвал меня для беседы по поводу одной диссертации. Он был уже совсем болен, ему трудно было долго разговаривать; временами он замолкал, закрывал глаза и откидывался в кресле, которое не покидал во всё время разговора. Затем, собравшись с силами, он снова возвращался к вопросу о точности измерений и корректности некоторых математических предположений автора диссертации.

Это была наша последняя встреча, и таким, преданным науке до последнего дыхания, и сохранился в моей памяти Владимир Константинович — виднейший русский представитель классической электродинамики, блестящий экспериментатор, учитель и воспитатель научной молодёжи, «сей остальной из стаи славной» лебедевских учеников, всю жизнь развивавший идеи своего учителя и завещавший их последующему поколению физиков.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ТРУДЫ

ВЛАДИМИРА КОНСТАНТИНОВИЧА АРКАДЬЕВА

В. К. Аркадьевым опубликовано более 100 оригинальных научных исследований, не считая многочисленных популярных статей, рефератов, редакционных статей и т. д. Ниже приводятся наиболее значительные работы. При их отборе в основу положен черновой список, составленный самим Владимиром Константиновичем в 1951 г.

а) Монографии и сборники

1. Магнитная спектроскопия, Труды ГЭЭИ № 4, 1924.
2. Исследования по электромагнетизму под ред. В. К. Аркадьева, т. I и II, Труды ГЭЭИ № 6 и 15, 1925—1926.
3. Современные проблемы электромагнетизма. Под ред. В. К. Аркадьева, М., 1931.
4. Проблемы электротехнического металла. Под ред. В. К. Аркадьева, Изд. ОТН Академии наук, М., 1938.
5. Практические проблемы электромагнетизма. Под ред. В. К. Аркадьева, Изд. ОТН Академии наук, М., 1939.
6. Электромагнитные процессы в металлах, Энергоиздат, М., Часть первая — 1934 г. Часть вторая — 1936 г.
- 6а. 50 лет волн Герца. Сборник под редакцией и со вступительной статьёй В. К. Аркадьева. Изд. Академии наук, М., 1938.

б) Оригинальные научные исследования

7. Магнитные свойства железа и никеля при быстрых электрических колебаниях. Дневник II менделеевского съезда, СПб, 1911.
8. Поглощение электрических волн в параллельных проволоках, ЖРФХО, физ. отд. 44, стр. 165, 1912.
9. Отражение электрических волн от проволок, ЖРФХО, физ. отд. 45, стр. 45, 1913.
10. Ферромагнитные свойства металлов как функция длины волны, ЖРФХО, физ. отд. 45, стр. 103, 1913.
11. Теория электромагнитного поля в ферромагнитном металле, ЖРФХО, физ. отд. 45, стр. 312, 1913.
12. Явления диффракции Френеля, Phys. Zeits. 14, 832, 1913.
13. Современные задачи изучения намагничивания тела и вещества в постоянном и переменном полях, Научн. известия, сборник 3, стр. 320, 1922.
14. О получении слабозатухающих коротких герцевых волн. Опыты Б. Миленца, Phys. Zeits. 23, стр. 35, 1922.
15. О магнитной дисперсии и абсорбции, ЖРФХО, ч. физ. 56, стр. 194, 1924.
16. Об анализе спектральных кривых, ЖРФХО, ч. физ. 56, стр. 217, 1924.
17. О магнитных спектрах и методах их получения, ЖРФХО, ч. физ. 56, стр. 321, 1924.
18. Задачи общей спектроскопии, ЖРФХО, ч. физ. 57, стр. 57, 1925.
19. Магнитные спектры железных и никелевых проволок в области сантиметровых герцевых волн, ЖРФХО, ч. физ. 57, стр. 241, 1925.
20. Отражение электромагнитных волн от магнитной среды, ЖРФХО, ч. физ. 58, стр. 149, 1926.
21. Магнитные спектры отражения, ЖРФХО, ч. физ. 58, стр. 159, 1926.
22. О затухании малых герцевых вибраторов (совместно с Леонтьевой), ЖРФХО, ч. физ. 58, стр. 175, 1926.
23. Отражение герцевых волн от ферромагнитных решёток. Ann. der Physik 81, стр. 649, 1926.
24. Колебания и резонанс элементарных магнитов, Докл. Акад. наук, А № 1, стр. 12, 1927.
25. Шум, сопровождающий намагничивание железа. Докл. Акад. наук, А № 18, стр. 277, 1927.
26. О проницаемости железа при ультрадиочастотах, Phys. Rev. 43, стр. 671, 1933.

27. Химическое фиксирование на бумаге изображений, получаемых от электрических волн, *Zeits. f. Physik* **92**, стр. 194, 1934.
28. Магнитные и электрические спектры в высокой частоте. Докл. Акад. наук **2**, стр. 204, 1935.
29. Фиксация на бумаге электрических волн и её теоретические основы, *ЖЭТФ* **7**, стр. 87, 1937.
30. Непрерывные пассивные спектры (совместно с О. И. Велецкой). Изв. ОН Акад. наук **№ 2**, стр. 55, 1938.
31. Видение и фотографирование поля герцевых волн (совместно с Д. И. Пеннером). Докл. Акад. наук **28**, стр. 316, 1940.
32. Генератор молний. Об одном русском изобретении, «Электричество» **№ 10**, стр. 52, 1940.
33. О сантиметровых волнах. Труды I Всесоюзного съезда врачей, биологов и физиков по вопросам применения коротких и ультракоротких волн в медицине, Медгиз, М., стр. 28, 1940.
34. Магнитные свойства как функция частоты магнитного поля, *ЖТФ* **13**, стр. 324, 1943.
35. Спектр электромагнитных волн в год открытия радио, «Электричество» **№ 5**, стр. 33, 1945.
36. Парение магнита над сверхпроводником, *J. of physics* **9**, стр. 148, 1945, Москва.
37. Искровое возбуждение незатухающих колебаний, Докл. Акад. наук **56**, стр. 29, 1947.
38. Колебания молекулярных магнитов, Докл. Акад. наук **56**, стр. 803, 1947.
39. Радиоволны и магнетизм, Вестник МГУ **№ 12**, стр. 95, 1947.
40. Возбуждение незатухающих электрических колебаний сверхвысокой частоты, «Электричество» **№ 3**, стр. 4, 1947.
41. Определение частоты и коэффициента затухания по полосе поглощения (совместно с В. Ф. Вершинской), *ЖЭТФ* **20**, стр. 48, 1950.
42. Автоматический массовый излучатель, Докл. Акад. наук **76**, стр. 513, 1951.