

Выдающиеся учёные
физического факультета МГУ

В.И. Козлов

Владимир Константинович
АРКАДЬЕВ



Москва
2008



Владимир Константинович Аркадьев

Серия
Выдающиеся ученые физического факультета МГУ

Выпуск XIII

В.И. Козлов

Владимир Константинович
АРКАДЬЕВ



Москва
Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
2008

Козлов В.И. ВЛАДИМИР КОНСТАНТИНОВИЧ АРКАДЬЕВ
Серия «Выдающиеся учёные физического факультета МГУ». Вып. XIII.
—М: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2008. 100 с.

Краткий очерк жизни и научной деятельности замечательного учёного-физика, профессора Московского университета, члена-корреспондента АН СССР Владимира Константиновича Аркадьева.

Для широкого круга читателей, интересующихся развитием физики и историей Московского университета.

Редколлегия серии
«Выдающиеся учёные физического факультета МГУ»:
В.И. Трухин (председатель), А.С. Илюшин (зам. председателя),
А.Ю. Грязнов (секретарь), В.Ф. Бутузов, Н.Н. Сысоев, В.В. Михайлин, В.С. Никольский, Г.И. Петрунин, Е.А. Романовский, А.М. Черепашук

Подписано в печать 12.12.2008 . Формат А5.
Объём 6,25 п. л. Тираж 150 экз. Заказ №

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д.1, стр.2

Отпечатано в отделе оперативной печати физического факультета

© Козлов В.И., 2008 г.
© Физический факультет МГУ
им. М.В. Ломоносова, 2008 г.

Введение

Московский университет в истории российской науки занимает исключительное место. Все годы своего существования он был не только кузницей мыслящей прослойки российского общества, но и позволял сохранять и развивать научные направления, которые по прошествии короткого времени оказывались определяющими в развитии той или иной области человеческих знаний. Жизненный путь Владимира Константиновича Аркадьева является ярким примером такой роли Московского университета в жизни общества.

Каждый студент-естественник, каждый школьник знает, что такое "кривая Столетова". Столетов, профессор Московского университета, - один из первых, кто интерес человечества к магнитным явлениям поставил на научную основу. Недаром у здания физического факультета на Воробьевых горах ему поставлен памятник. После Столетова в российской науке о магнетизме был долгий перерыв, который еще усугубился хаосом и разрухой в стране в начале прошлого века.

Но вот в одной из московских гимназий появился ученик, который своими руками изготовил целый набор физических устройств – электростатическую машину, ртутный насос, гальванометр, оптическую призму и др.

В развитии этих занятий большую роль сыграло посещение им публичных лекций по физике, читавшихся в физической аудитории Московского университета. Демонстрации опытов, проводившихся ассистентом И.Ф. Усагиным на лекциях профессоров Н. А. Умова, П. Н. Лебедева, А.П. Соколова и других, а также публичные лекции приват-доцента С.Г. Крапивина в химической аудитории университета производили на юношу неизгладимое впечатление.

Еще будучи в гимназии, В. К., благодаря содействию одного из своих преподавателей, состоявшего одновременно ассистентом проф. Н. А. Умова, получил возможность проверять действие некоторых своих приборов в лаборатории Физического института университета.

Поступив на математическое отделение физико-математического факультета Московского университета, В. К., благодаря ранее завязавшемуся знакомству с лабораторией проф. Н. А. Умова, уже с первого курса приступил к исследовательской работе.

И объектом интересов В. К. Аркадьева стало взаимодействие электромагнитных волн с веществом. Итоги работы В. К. Аркадьева в этой области науки в течение нескольких десятков лет описаны академиком Б. А.

Введенским и профессором Н. Н. Маловым в статье [1]. В 1908 г. В. К. Аркадьев обнаружил уменьшение магнитной проницаемости железа и никеля в области сантиметровых волн. Это было время, когда идеи Фарадея, Максвелла еще не полностью были восприняты в научном мире. Г. Герц буквально еще только несколько лет назад получил волны длиной 60 см. П. Н. Лебедев, руководитель школы, в ряды которой войдет и В. К. Аркадьев, доказал существование давления света на твердые тела и газы.

Теория электромагнитного поля, уже ставшая орудием исследования физических явлений в оптике, еще не стала таковым при исследованиях поведения вещества в электромагнитном поле. К этому времени значительные достижения уже имела электронная теория Лорентца в области оптической дисперсии. В лаборатории П. Н. Лебедева интенсивно проводились исследования поведения диэлектриков в дециметровом диапазоне длин волн. В. К. Аркадьев занялся аналогичными исследованиями поведения ферромагнетиков, у которых аналог электрической поляризации – магнитная поляризация – проявляется особенно сильно.

В 1907 и 1908 г. г., изучая отражение электромагнитных волн от металлических решеток, В. К. обнаружил сильное ослабление проявления ферромагнитных свойств вещества в области сантиметровых волн. Анализируя свои экспериментальные результаты, В. К. пришел к двум смелым идеям, оказавшимся весьма плодотворными. Во-первых, он заключил, что параметры вещества, в частности, магнитная проницаемость, зависят от частоты поля. Во-вторых, для учета явления гистерезиса, заключающегося в отставании изменений индукции от периодических изменений магнитного поля и сопровождающегося необратимыми потерями энергии электромагнитного поля при перемагничивании ферромагнетика, он предложил ввести добавочный параметр – магнитную проводимость вещества ρ . Благодаря этому уравнения Максвелла приняли симметричную форму в отношении электрического и магнитного полей. Кроме того, для гармонических процессов В. К. Аркадьев ввел комплексную магнитную проницаемость аналогично комплексной электрической проницаемости. Среда, характеризующаяся этими двумя проницаемостями, была названа Аркадьевым "бикомплексной средой".

Пользуясь этими представлениями, В. К. Аркадьев 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 Аркадьев называл "магнитной спектроскопией". Плодотворность такой трактовки стала особен-

но 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.

Объясняя исчезновение ферромагнитных свойств вещества в быстропеременных полях конечной скоростью возникновения и распространения намагничивания, В. К. Аркадьев ввел представление о "магнитной вязкости" вещества, на протяжении многих лет оказавшееся плодотворным при изучении условий перемагничивания. Свою теорию намагничивания он назвал "магнетодинамикой" и видел в ней развитие и углубление классических идей Максвелла.

Введенные В. К. Аркадьевым понятия "магнитной проводимости", "магнитной вязкости" и др., весьма феноменологичны. Они выражают образный подход В. К. к восприятию исследуемых им физических явлений, хороши на начальном этапе изучения и не все сохранились в научной литературе.

В. К. Аркадьев понимал важность роли формы и внутренней структуры изучаемых веществ, и наряду с этим важность роли вихревых токов, развивающихся в толще металла. Именно этими соображениями объясняется появление работ В. К. Аркадьева и его школы по намагничиванию в постоянных полях и исследованию вихревых токов при периодических и аperiodических процессах.

Наряду с научными приложениями своей теории намагничивания (которую В. К. Аркадьев разрабатывал и совершенствовал до последних дней жизни), он всегда стремился применить научные достижения к практике. В ряде его собственных работ и работ его школы строилась теория поверхностного эффекта с учетом магнитной проводимости, уточнялись и заново создавались методы расчета магнитных характеристик при технических расчетах, изучались вопросы намагничивания и размагничивания тел различной формы и решались другие проблемы прикладного характера. Эти работы нашли в свое время завершение в известной двухтомной монографии В. К. Аркадьева "Электромагнитные процессы в металлах", вышедшей в 1934 и 1936 гг.

Верный заветам своего учителя П. Н. Лебедева, показавшего в одной из блестящих работ аналогию свойств миллиметровых и оптических волн, В. К. стремился перенести оптические методы в область сантиметровых волн. В тридцатых годах он разработал электромагнитный аналог фотографии, названный им "стиктографией", в котором структура электромагнитного поля исследовалась при помощи большого числа когереров, помещенных на бумагу, смоченную электролитом.

В начале двадцатых годов по предложению В. К. Аркадьева в лаборатории электромагнетизма была выполнена еще одна замечательная работа, завершившая искания П. Н. Лебедева.

Как известно, в девяностых годах позапрошлого века физики стремились "сомкнуть" электромагнитные спектры "волн Герца", с одной стороны, и "оптических" волн ? с другой. Но в это время не удавалось получить при помощи электрических методов возбуждения волны короче 6 мм (Лебедев, 1895 г.), а оптическим путем не удавалось выделить инфракрасное излучение с длиной волны, превышающей 0,35 мм (Рубенс, 1896 г.). Многочисленные попытки заполнить пробел не давали результата, так как при электрических методах возбуждения приходилось работать с очень маленькими вибраторами, быстро сгоравшими при искровых разрядах и дававшими ничтожно малую мощность; интенсивность длинноволнового излучения молекул также оказывалась весьма малой и недоступной измерению.

В. К. Аркадьев, развивая мысль Лебедева, предложил создать генератор со сменными вибраторами ? металлическими опилками, взвешенными в вязком масле. Эта идея была реализована его супругой, проф. Московского университета КА. А. Глаголевой-Аркадьевой (1884-1945).

В 1922 г. ею был построен генератор, получивший название "массовый излучатель"; он давал "белое излучение", охватывавшее интервал длин волн от нескольких сантиметров до 0,08 мм, т. е. перекрывавшее весь промежуток между "оптической" и, так сказать, "контурной" частями электромагнитного спектра. Глаголевой-Аркадьевой были изучены также основные свойства этого излучения.

Из других работ в области электромагнетизма, выполненных В. К. Аркадьевым, наиболее интересны изящные работы по наблюдению баркгаузеновского шума при перемагничивании, осуществленные весьма простым и убедительным методом, а также блестящий опыт с "парящим магнитом". Он поместил в жидкий гелий свинцовую пластинку и бросил на нее небольшой магнит. Возникшие при этом в сверхпроводящей пластинке токи были так велики, что благодаря электромагнитному взаимодействию с ними магнит после нескольких движений вверх и вниз "парил", висая над пластинкой почти неподвижно.

Среди различных работ В. К. Аркадьева, посвященных другим областям физики, очень интересна и своеобразна работа по френелевой дифракции, выполненная им и его сотрудниками А. С. Беркманом и Н. Н. Яковлевым. Во многие учебники физики вошли прекрасные фотографии, впервые помещенные в указанной работе, ярко и доходчиво иллюстрирующие различные важнейшие и принципиальные моменты явления дифракции Френеля (например, появление при определенных геометрических соот-

ношениях светлой точки на "тени" от круглого непрозрачного экрана и, наоборот, темной точки в центре светлого кружка при освещении круглого отверстия; остроумный опыт, доказывающий тождественность дифракционной картины от острого клинка и от края "стеклянной башни диаметром 80 м", и ряд других). Эта работа весьма интересна сопоставлением дифракционных явлений с теорией, убедительно показывающим справедливость теории. Пожалуй, наиболее интересен описанный в работе метод моделирования (основанный на легко выводимых из общей теории формулах подобия), который позволяет получать уменьшенные дифракционные картины, отвечающие условиям, обычно не встречающимся в лабораторной экспериментальной практике, например, при расстояниях порядка десятков километров и для больших дифрагирующих экранов, таких, как тарелка или человеческая рука. Этими опытами, в частности, было ясно показано, что детали френелевой дифракционной картины совсем не обязательно должны быть мелкими, доступными наблюдению только в лупу.

Значительный интерес представляет также работа, выполненная В. К. совместно с Н. В. Баклиным. Они сконструировали импульсный генератор высокого напряжения, описанный Аркадьевым в 1925 г. под названием "искровой трансформатор". Этот прибор состоял из системы параллельно включенных конденсаторов. При заряде их до достаточно высокого потенциала возникал пробой искровых промежутков, в результате чего конденсаторы включались последовательно, и напряжение на выходе прибора соответственно возрастало. Построенные на таком принципе генераторы, называемые иногда "генераторами молний", применялись в исследованиях, требовавших сверхвысоких напряжений.

В. К. Аркадьев, на счастье российской науки, не оказался ученым-одиночкой, полностью углубленным в свои собственные научные идеи, ничего не замечающим вокруг себя. Еще в 1919 г. он, объединив вокруг себя энтузиастов научных исследований, создал Московскую Магнитную Лабораторию им. Максвелла, сыгравшую исключительную роль в сохранении и развитии в России науки о магнетизме. В этой лаборатории его многочисленные ученики вели систематические исследования магнитных явлений, причем он всегда охотно привлекал к работе молодежь. На научном коллоквиуме лаборатории обсуждались как работы лаборатории, так и научные новинки, появлявшиеся в литературе.

Свою научную деятельность в магнитной лаборатории начали Б. А. Введенский, В. А. Карчагин, А. А. Леонтьева, М. А. Чупрова, В. С. Волков, В. И. Гапонов, Б. А. Шиллеров, Ю. П. Симанов, В. К. Митяев, Н. С. Акулов, М. М. Четверикова, А. А. Ермолаев, Н. Н. Малов, Л. В. Мирский, К. А. Волкова. Не без влияния В. К. Аркадьева проходила и деятельность кафед-

ры магнетизма физического факультета, на которой работали и защищали докторские диссертации Е. И. Кондорский, Брюхатов, Р. В. Телеснин, К. П. Белов, Г. П. Дъяков, К. М. Поливанов, Л. В. Киренский, Аннаев, Г. С. Кринчик, А. В., М. В. Четкин, Ведяев и многие другие, большинство из которых создали уже свои научные школы. И когда в пятидесятые годы наука о магнетизме оказалась востребованной в связи с бурным развитием отраслей техники, в которых нужно было создавать разнообразные функциональные устройства, в основе работы которых было использование магнитных материалов с уникальными свойствами, в стране оказались подготовлены кадры, возглавившие научные коллективы во многих ее городах и весях.

Литература

1. Б. А. Введенский и Н. Н. Малов. О научном значении работ В. К. Аркадьева. В кн. В. К. Аркадьев. Избранные труды. М. 1961.

Жизненный путь В. К. Аркадьева

Владимир Константинович Аркадьев родился в Москве 9 (21) апреля 1884 г. Его отец был провинциальным актером. В 1904 г. В.К. окончил Московскую 2-ю гимназию и поступил на математическое отделение физико-математического факультета Московского университета. Будучи студентом, В.К. прошел общий практикум по физике у профессора А. П. Соколова. Затем В.К. работал в лаборатории проф. П. Н. Лебедева. Окончил МГУ В.К. по специальности "физик". Он свободно владел французским языком, в меньшей мере – немецким, английским и итальянским. Проживал В. К. по улице Кропоткина [1].

После окончания университета В. К. Аркадьеву довелось поработать во многих учебных и научных учреждениях: с 1908 г. он - ассистент Педагогических курсов Общества Воспитателей и Учителей в Москве; с 1910 г. - ассистент Высших Сельскохозяйственных курсов и Университета Шанявского. С 1914 г. В. К. читает лекции по методике физики на Педагогических Курсах Общества Воспитателей и Учителей. С 1918 г. В. К. преподавал физику на Электротехнических курсах Моссовета; В. К. Аркадьев преподавал на т. н. курсах им. Тихомирова, где с 1914 г. читал лекции по методике физики, работал на бесплатных Недельных Курсах, заведующим кабинетом физики Института научной методологии.

В.К. продолжает заниматься научной работой, в частности, в университете Шанявского, а с января 1916 г. он организовал и получил в заведение Физико-Химическую Лабораторию Земгора.

В 1913 г. В. К. Аркадьев опубликовал свою "Теорию магнитного поля в ферромагнитных металлах" и другие статьи о магнетизме, бросающие свет на новую, обнаруженную им, сторону магнитных явлений, именно на частотную зависимость магнитных характеристик железа и никеля. Эта работа послужила Аркадьеву основанием к обобщениям в области теории дисперсии абсорбции, которые охватывают значительную часть электрических и магнитных свойств вещества. В частности, им введена в теорию комплексная магнитная проницаемость.

Во время первой мировой войны в 1915 г. Аркадьевым организована физико-химическая лаборатория, два года проработавшая под его руководством. В ней был выяснен ряд научных вопросов борьбы с удушливыми газами, изложить их в виде систематически изложенной дисциплины и сформулировать основания борьбы с ядовитыми летучими средами (см. 4-е издание его книги "Научно-технические основы газовой борьбы", М., 1917). В это же время Аркадьев редактировал сборник "Известия физико-

химической лаборатории", где им и его сотрудниками был опубликован ряд научных, технических и педагогических работ по вопросам химической войны.

В. К. Аркадьев – изобретатель ряда приборов: анемометра Аркадьева, реометра для определения скорости газов в трубах, предупредителей газовых атак, учебных наборов для демонстраций по химической обороне, ветрометров Аркадьева, железных проводов Аркадьева, генератора молний, горячих и холодных костров, аппаратов для испытаний противогазов, мощного электромедицинского аппарата для дарсонвализации воды и др.

Первые годы после октябрьского переворота в России были трудными для работников умственного труда, и где только не пришлось поработать В. К. Аркадьеву.

В 1919 г. он состоял профессором Лесотехнического института и с 1920 г. – института Народного хозяйства им. Плеханова, где занимал кафедру физики до 1926 г.; с февраля 1919 г. В. К. – Ученый секретарь секции физики, геофизики и электротехники НТО ВСНХ; в 1919 г. В. К. становится профессором Московской академии народного образования; в 1921-23 гг. В. К. Аркадьев заведовал физическим отделом Политехнического Музея, при котором организовал научную лабораторию.; с 1923 г. по 1929 г. состоял членом Ученого Совета Музея; с 1928 г. В. К. Аркадьев – консультант ГИФО; с 1929 г. – член Ученого Совета Рентгенологического института НКЗ; с 1923 г. по 1931 г. – заведующий магнетометрическим отделом ВЗЭИ (Всесоюзного электротехнического института); с января 1927 г. – консультант Государственного института физиотерапии и ортопедии.

В ноябре 1927 г. В. К. Аркадьев утвержден в должности доцента физико-математического факультета МГУ. После присоединения Городского университета Шанявского к Московскому Государственному Университету, где В. К. Аркадьев читает лекции по теоретической физике и организует коллективные научные исследования с участием в них ряда преподавателей Московского университета и других высших учебных заведений Москвы. Совместно с этими энтузиастами В. К. Аркадьев организует в Москве научный физический кружок ("Магнитный коллоквиум"), работающий под его руководством. Экспериментальная работа В. К. Аркадьева и членов его кружка велась в помещении Физического института Московского университета до 1933 г. Эта организация получила название "Московская магнитная лаборатория", а с 1932 г. – "Лаборатория электромагнетизма им. Максвелла". В 1933 г. лаборатория была присоединена к НИИФ МГУ. В 1939 г. на базе лаборатории Аркадьевым была организована кафедра теоретических основ электротехники. Работы лаборатории получили широ-

кое признание как внутри СССР, так и за его пределами. За 1920–1940 г.г. ее сотрудники опубликовали свыше 200 работ в советских и зарубежных журналах. Наибольшую известность приобрели работы по т. н. ультрагерцевым волнам, полученным Глаголевой-Аркадьевой, и по магнитным спектрам, представляющим собой аномалии в намагничении железа переменными полями разных частот. В. К. Аркадьев создал новое научное направление – магнитная радиоспектроскопия. Это направление стало бурно развиваться в конце сороковых–начале пятидесятих годов, когда появились новые магнитные материалы – ферриты, с использованием которых было создано множество функциональных устройств радиотехники. Основные результаты работ Аркадьева по электромагнетизму отражены в его монографии "Электромагнитные процессы в металлах", изданной в 1935–1936 гг. В ней дается ряд оригинальных приложений теории Максвелла к практическим вопросам электротехники.

В январе 1927 г. В. К. Аркадьев избран членом-корреспондентом АН СССР.

В октябре 1930 г. В. К. Аркадьев назначен профессором и заведующим кафедрой и лабораторией электроматериаловедения физико-математического факультета МГУ; в октябре 1930 г. утвержден профессором по кафедре физики.

В. К. Аркадьеву присуждена ученая степень доктора физ.-мат наук решением Президиума АН СССР от 23 июня 1932 г. (протокол № 12). Диплом доктора наук ДТ № 000116 В. К. Аркадьева датирован 20 августа 1945 г.

В. К. Аркадьев утвержден в ученом звании профессора по кафедре физики решением Государственного Ученого Совета Наркомпроса РСФСР от 2 октября 1932 г. (протокол № 5).

В 1939 г. В. К. Аркадьев основал кафедру "Теоретические основы электротехники" на Физическом факультете МГУ.

Аркадьев дал экспериментально-теоретические основы получения на бумаге изображений при помощи электрических сантиметровых волн ("стиктография") и указал метод просвечивания изделий из изоляторов и полупроводников при помощи сантиметровых волн.

В 1941–42 г.г. дал расширенные основы теории скин-эффекта в различных телах.

В начале 1942 г. Аркадьевым был возбужден перед НК Инотделом и ЦК вопрос о пропаганде культурных достижений нашей страны в записке "Выше знамя нашей науки и техники"; в ней он выдвигал тогда еще новый вопрос о походе за русскую науку внутри Союза и за его пределами, как одну из задач на внутреннем фронте.

В 1943 г. указал основы устройства компрессора магнитного потока для получения сверхсильных магнитных полей, что впоследствии получило развитие при исследовании плазмы

В 1944 г., заинтересовавшись фундаментальными проблемами физики, рассмотрел особый случай равновесия тел в мировом пространстве, а также новый вид их относительного периодического движения.

В. К. Аркадьев награжден орденом Трудового Красного Знамени, медалью "За доблестный труд".

В личном деле В. К. Аркадьева имеется справка, подписанная деканом физического факультета проф. А. А. Соколовым, в которой отмечается, что на 1950-51 учебный год заведующему кафедрой теоретических основ электротехники чл.-корр. АН СССР профессору В. К. Аркадьеву запланирована по его кафедре полная нагрузка учебной работы в размере 560 часов.

Среди учеников Аркадьева – члены Академий и профессора Московского университета Б. А. Введенский, В. А. Карчагин, Н. С. Акулов, Е. И. Кондорский и др.

Своей организационной деятельностью В. К. Аркадьев стимулировал выход в свет многих и многих печатных работ его учеников и сотрудников. Тематика этих работ относится к оптике, аэродинамике, физической химии, электрическим колебаниям и магнетизму; Самим Аркадьевым было опубликовано около 100 научных и научно-технических работ и столько же статей и заметок, напечатанных в русских и иностранных изданиях.

В. К. Аркадьев не чурался общественной работы: с 1927 г. - он - член Делегатского Корпуса Месткома I МГУ; с 1928 г. - член производственной комиссии; в 1929-30 г. г. - председатель производственного совещания физмата М. Г. У.

В течение ряда лет В. К. Аркадьев был инициатором многих конференций и совещаний по научно-техническим вопросам. В значительной степени по его инициативе было проведено в 1930 г. совещание по замене железом проводников меди. В 1935 г. конференция по вопросам магнитного анализа. По инициативе Аркадьева в 1938 г. было проведено совещание по магнитным и полупроводниковым материалам и конференция по постоянным магнитам.

В 1941 г. по его инициативе была создана первая конференция по теории магнетизма, работа которой была прервана началом войны.

Летом 1942 г., будучи эвакуирован как чл.-корр. АН в Казань, В. К. Аркадьев, несмотря на плохое состояние здоровья, организует лабораторию, в которой в очень трудных условиях проводит интенсивную работу по дальнейшему изучению ультракоротких волн и применению их в воен-

ном деле. Одновременно он продолжает развивать свои работы по теории магнитных спектров и скин-эффекта и публикует в 1942-43 г. г. ряд статей. В 1943 г. им были указаны принципы построения компрессора магнитного потока, что дает возможность получать магнитные поля во много раз большие, чем те, которые получались существовавшими в то время методами.

В 1944 г. им было открыто совершенно новое явление равновесия магнитных сил и сил всемирного тяготения. Из этого явления вытекает возможность существования в мировом пространстве систем особого типа. Новое явление было подтверждено блестящими опытами, произведенными при температуре жидкого гелия, в Институте Физ. Проблем АН СССР.

Кроме этого, в течение всей Великой Отечественной войны Аркадьев занимался различными вопросами оборонной тематики и внес ряд предложений, принятых соответствующими инстанциями.

В. К. Аркадьев был докладчиком на юбилейном заседании МГУ, посвященном 300-летию со дня рождения Ньютона, принимал активное участие в проведении вечеров памяти Максвелла, Герца.

Приветствуя В. К. Аркадьева 24 мая 1949 г. в день 65-летия со дня его рождения и 45-летия научно-педагогической деятельности, министр высшего образования СССР С. Кафтанов в своем приказе назвал его продолжателем славных традиций блестящей плеяды ученых Московского университета: А. Г. Столетова, Н. А. Умова, П. Н. Лебедева и объявил В. К. благодарность. При этом была отмечена организация и бессменное руководство В. К. кафедрой ТОЭ и лабораторией магнетизма в течение 30 лет, многие его научно-исследовательские работы теоретического и практического значения, ставшие классическими и составившие много славных страниц в развитии русской науки в области магнетизма, электродинамики и оптики; общее число учеников В. К. составляет тысячи, все они работают на благо Родины.

Скончался В. К. Аркадьев 1 декабря 1953 г.

Лаборатория электромагнетизма имени Джемса Клерка Максвелла

Детищем В. К. Аркадьева является Лаборатория им. Максвелла, сыгравшая исключительную роль в сохранении и развитии в России науки о магнетизме. Возникшая в 1919 году, вначале, до 1931 года, эта лаборатория носила название Московской Магнитной Лаборатории. Вследствие ее широкой тематики, охватывавшей ряд вопросов, разрешаемых электромагнитной теорией Максвелла, собрание ее сотрудников на публичном заседании, посвященном 100-летию со дня рождения Максвелла, постановило присвоить лаборатории наименование "Лаборатория электромагнетизма имени Джемса Клерка Максвелла". Действительно, работы Лаборатории с самого начала шли по указанным широким направлениям с развитием и применением теории Максвелла: получение предсказанных Максвеллом электромагнитных волн разного периода и приложение теории Максвелла к исследованию электромагнитных процессов в веществе.

Начало этой работы следует отнести к апрелю 1919 года, когда В. К. Аркадьеву в Физическом Институте 1-го Московского Государственного Университета было предоставлено для научных исследований небольшое помещение. Начав свою деятельность в составе 2-3 человек, Лаборатория постепенно развивалась и привлекала к себе новых сотрудников. В первые годы своего существования Лаборатория должна была работать в условиях переживаемой страной общей разрухи: не было нужных приборов, не было финансирования, не было достаточного помещения, подсобного служебного персонала и всего другого, что представляет обычную принадлежность не только всякого института или научной лаборатории, но даже всякой кафедры в любом высшем учебном заведении,

Московская Магнитная Лаборатория образовалась из сообщества лиц, тесно спаянных научными интересами, научной работой и общей потребностью в инструментальных, литературных и материальных средствах для своих научных исследований.

Этот физический кружок ставил себе задачу широкой разработки определенной научной области, а именно - вопросов электромагнетизма, в частности магнитной спектроскопии. Он шел к этой цели, производя ближайшим образом относящиеся сюда исследования, ознакомляясь с относящейся сюда литературой, организуя связь с иностранными исследователями близких вопросов; его работа перемежалась еженедельными заседаниями ("Магнитный Коллоквиум"), в которых подробно обсуждались текущие исследования членов Лаборатории.

В отчете о работе ММЛ за 10 лет В. К. пишет, что основной особенностью Магнитной Лаборатории – учреждения, существующего немалый срок и имеющего все отличительные признаки научного исследовательского института, – является черта, своеобразно и резко выделяющая Магнитную Лабораторию на фоне аналогичных учреждений Республики: лаборатория держится трудом волонтеров, уделяющих ей свой досуг; она не имеет установленных штатов, труд всех ее членов (за исключением аспирантов) остается безвозмездным, она не имеет постоянного, верного источника средств для своей работы. До настоящего времени она продолжает пользоваться помещением и отчасти приборами 1 М. Г. Университета.

Несмотря на скудость средств, недостаток места и отсутствие платных работников, Лаборатории удалось разрешить ряд проблем научного и технического значения. Они могут быть сформулированы следующим образом.

В ряде теоретических исследований разработано применение пополненных уравнений Максвелла

$$\operatorname{rot} H = \frac{4\pi\sigma}{c} E + \frac{\varepsilon}{c} \frac{\partial E}{\partial t} \quad ,$$

$$-\operatorname{rot} E = \frac{4\pi\rho}{c} H + \frac{\mu}{c} \frac{\partial H}{\partial t} \quad ,$$

которыми Лаборатория пользуется с начала своей работы и которые за это время успели войти в употребление и у иностранных исследователей. Являющаяся отличительной особенностью этих уравнений новая физическая величина – магнитная проводимость ρ вычислена для ряда технических материалов и применена для решения технических вопросов. Даны таблицы и кривые для расчета скин-эффекта в проволоках с учетом магнитных проводимости и проницаемости. Подтверждена на опыте практическая применимость этих таблиц для вычисления тепла токов Фуко и магнитных потерь в железе, а также сопротивления железных проводов переменному току. Первое имеет значение для постройки машин и трансформаторов, второе – для электрификации деревни. Различными путями получены законы отражения волн от ферромагнитных поверхностей. Указано на ошибочность вывода одного частного случая у некоторых иностранных авторов. Работа получила применение за границей в виду ее значения для изыскания железных руд.

Установлен новый вид дисперсии электромагнитных волн – магнитная дисперсия, и выяснено ее отношение к известному старому виду дисперсии – электрической, в частности оптической. Впервые на примерах ясно

показана возможность существования и смысл отрицательных диэлектрической постоянной и магнитной проницаемости, что использовано в работах других авторов. Теоретически и экспериментально изучалось влияние магнитного поля на магнитные спектры.

Теоретически и экспериментально изучена скорость размагничивания железных проволок. Описывающие эту скорость теоретические формулы часто используются иностранными авторами. Найдено время магнитной релаксации в полях разной силы и в связи с этим поставлен вопрос о зависимости проницаемости от частоты на радиочастотах. Измерена проницаемость ферромагнитных соединений железа в быстро меняющихся магнитных полях.

Исследована связь магнитострикции с величиной работы, соответствующей гистерезису. Открыта возможность слышать непосредственно ухом ступенчатое намагничивание железа и обнаружены другие, до сих пор остававшиеся неизвестными, элементарные магнитные явления. Показано, что аномалии проницаемости, наблюдающиеся на звуковых частотах и радиочастотах, могут быть объяснены механическим резонансом образцов железа или никеля, вибрации которых вызываются стрикционными изменениями размеров в переменном магнитном поле. На основании теории кристаллической решетки объяснены явления магнитострикции кристаллов железа и поликристаллических тел.

Даны практические приемы вычисления наиболее выгодной формы электромагнита.

Создан новый источник ультракоротких герцевых волн, переходящих в тепловые лучи. Этот источник исследован со стороны состава излучения и яркости его отдельных точек.

Изучено действие некоторых электромедицинских аппаратов и намечена методика учета терапевтических доз. Указаны рациональные основы конструкции этих приборов и их использования.

На основании теории распространения электромагнитных волн дана критика электромагнитной гипотезы мысленного внушения.

Свою научную деятельность в Магнитной Лаборатории начали следующие лица: Б. А. Введенский, В. А. Карчагин, А. А. Леонтьева, М. А. Чупрова, В. С. Волков, В. И. Гапонов, Б. А. Шиллеров, Ю. П. Симанов, В. К. Митяев, Н. С. Акулов, М. М. Четверикова, А. А. Ермолаев, Н. Н. Малов, Л. В. Мирский, К. А. Волкова.

Часто лица, выполнявшие в Магнитной Лаборатории исследования, напечатанные на русском или иностранном языке, приглашались для организации или производства магнитных исследований в других местах: ВЭИ в Москве, в ГОФТИ в Ленинграде, в институт НКПС в Москве или для

другой исследовательской работы (в ЦАГИ, Институт Силикатов, Минералогический и проч.).

В течение ряда лет в Лаборатории происходили заседания Физического кружка, состоявшего преимущественно из сотрудников Лаборатории и носящего сокращенное название "Магнитный Коллоквиум". Роль этого коллоквиума, начавшего функционировать в Физическом Институте И. М. Г. У. первым после революции, вначале была весьма заметна в Москве: он отражал наиболее живо все крупные события научной жизни, касающиеся физики, его посещали приезжавшие в Москву иногородние, а также иностранные ученые, нередко выступая с докладами. К дню десятилетия Лаборатории состоялось 200 заседаний Кружка.

Несмотря на все затруднения, удалось многое сделать в избранном направлении.

Еще в 1920 году лаборатории удалось завязать сношения с Западом. Когда в России печатание научных работ было крайне затруднено, лаборатория посылала их в Германию, а также публиковала в журнале "Physikalische Berichte" рефераты о вышедших в России исследованиях. Когда получение иностранной литературы еще не было налажено, Лаборатория находилась в курсе интересовавших ее заграничных исследований, так как некоторые заграничные физики, как Ми, Эренфест, Зеннек, Мебиус, В. Кауфман, П. Вейсс, Баркгаузен и другие, высылали ей отписки своих работ.

В 1922 году число сотрудников лаборатории возрастает до 23-х человек. К этому времени целый ряд исследований оказывается законченным. В то же время лаборатория узнает, что возникшее в Москве в 1913 году и выбранное ею направление в изучении магнетизма, именно подход к магнитным явлениям со стороны скорости протекания процессов намагничивания и изучение намагничивания в очень быстро меняющихся полях электрических колебаний, приводящее к изучению своего рода спектров, нашло последователей в Европе и Америке: оказалось, что в том же направлении тогда работали Кауфман, Эрхарт, Урбшат, Бельц (у Резерфорда), Ганс и другие, что по поставленным впервые в России вопросам о колебаниях элементарных магнитов за границей к тому времени успела развиться своя небольшая литература.

В сентябре 1922 года на съезде Российской Ассоциации Физиков в Нижнем-Новгороде членами Московской Магнитной Лаборатории было сделано 9 докладов о собственных законченных в течение трех лет работах. Съездом была принята резолюция, в которой отмечается, что "результаты, полученные в Магнитной лаборатории, настолько ценны и многочисленны, как это признается и за границей, что съезд считает крайне не-

обходимым обеспечением этой лаборатории достаточными средствами, соответствующими важности ее задач и успешности ее работы, и организацию ее в качестве самостоятельного государственного учреждения". Значение этих работ было отмечено также в различных органах печати (газеты "Правда", "Известия" и "Экономическая жизнь", журнал "Электричество" и др.).

Весной 1922 г. В. К. Аркадьев получил приглашение от председателя физического отделения Русского Физико-Химического Общества профессора Г. А. Крутого сделать в Ленинграде сообщение о достигнутых в Московской лаборатории результатах. Поездка и доклад состоялись в октябре 1922 г. В резолюции отделения указывается, что "созданное в Москве новое направление в изучении магнетизма уже дало весьма интересные научные результаты" и что "отделение физики, придавая важное значение новой области исследования и самому факту образования новой деятельной школы физиков, признает, что условия, в которых производятся эти исследования, далеко не соответствуют их значению для русской науки и задерживают их развитие".

Здесь следует отметить, что полемика с американским физиком Р. Гансом, которая велась на страницах журнала "Annalen der Physik", закончилась полным признанием за Москвой (т. е. за В. К. Аркадьевым) приоритета в постановке и прелиминарном разрешении проблемы о магнитной дисперсии и во введении в уравнения Максвелла магнитной проводимости ρ , вытекающей из требований реального опыта. R. Gans заканчивает свою статью в Annalen der Physik (66, 429, 1921) следующими словами: "Als wichtigsten Punkt dieser Notiz bitte ich folgenden anzusehen: Hr. Arkadiew hat vor Loyarte und mir den Begriff der magnetischen Leitfähigkeit eingeführt, ihre Abhängigkeit von der Wellenlänge, sowie die der Anfangspermeabilität, theoretisch berechnet und aus seinen experimentellen Ergebnissen die drei für die Dispersion charakteristischen Konstanten zu ermitteln gesucht. La Plata, Instituto de Física, 18 November 1921".

Комплексная магнитная проницаемость $\mu - i2\rho T$, заключающая в себе означенную магнитную проводимость, находит теперь применение в разрешении ряда вопросов практической электротехники; этой величиной теперь пользуются: Уллер — в Берлине, Трукса — в Вене, Ганс — в Ла-Плате, Тонкс — в Колумбии. Поставленная в Москве проблема магнитных спектров в настоящее время разрабатывается, кроме указанных выше лабораторий, в лаборатории М. Вина в Иене (работы Траутманн и Виккеля) и у Пейджа в Нью-Гевене.

Техническое значение этих работ имело следствием неоднократное

обращение к членам Магнитной лаборатории иностранных издательств и крупных электротехнических фирм с просьбой дать статьи об открытых и изучаемых в Москве магнитных спектрах или выслать имеющийся печатный материал на русском языке.

В числе работ, имеющих вспомогательное значение для магнитной спектроскопии, наибольший интерес вызвал как в России, так и за границей, выработанный в Магнитной лаборатории А. А. Глаголевой-Аркадьевой новый метод получения наиболее коротких электрических волн (1500–100 мкм).

Долгое время колебания этих частот не могли быть получены даже наиболее искусными экспериментаторами, такими как Лебедев, Мебиус, Никколс и Тир. В Магнитной Лаборатории эти волны были получены и обнаружены при помощи приборов обычной чувствительности. Немедленно после опубликования этой работы (в журналах "Nature" (англ.) и "Zeitschr. f. Physik" (нем.)) из-за границы стали поступать запросы о подробностях устройства прибора и его действии. Были получены приветствия от Физического Института Берлинского Университета и ряд лестных отзывов от таких лиц, как О. Д. Хвольсон, А. А. Петровский, Лауе, Принсгейм, Ласки, Мебиус, Штерн, Вагнер и Арко.

Особенный интерес новый метод вызвал у радиотелеграфистов, у которых короткие волны в настоящее время пользуются вообще большим вниманием. Описанию прибора Глаголевой-Аркадьевой посвящены статьи в различных русских и иностранных журналах: в "Experimental Wireless" (Лондон) ему посвящает статью Тейлор, в "Radio revue" (Париж) возлагает большие надежды на прибор Глаголевой Квинт, в "Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften" подробно останавливается на этом методе Ласки (Берлин). "Popular Radio" (Нью-Йорк) запрашивает фотографию работ магнитной лаборатории для статьи, в которой журнал предполагает дать описание этого аппарата.

В 1924 г. Магнитная Лаборатория вступает наряду с другими организациями в состав Российской Ассоциации Физиков. К этому времени лаборатория устанавливает регулярный обмен отпечатками своих работ с иностранными исследовательскими институтами, среди которых должны быть особенно отмечены индийская ассоциация содействия успехам наук в Калькутте и государственный совет исследований в Токио.

Особо должна быть отмечена связь Лаборатории с физико-математическим факультетом И. М. Г. У. Хотя с момента своего возникновения в 1919 году лаборатория и не входила организационно в состав физического института МГУ, однако она всегда находилась в его здании - в Физическом Институте И. М. Г. У. - и ее научная работа органически связана с учебной

работой, которую члены лаборатории вели в Университете на физико-математическом факультете. В разное время это участие принимало разные формы. С 1939 года на базе Лаборатории была основана кафедра теоретических основ электротехники Физического факультета МГУ.

С 1923 г. преподаванию в вузах придан практический уклон. Студенты математического отделения, специализирующиеся в I М. Г. У. по циклу физики, на III курсе избирают ту или другую специальность: теоретической физики, рентгено-радиологии, радиовакуумной техники или физических основ электротехники. Последняя специальность на деле носит не вполне точное название "Электрические измерения". Она организована членами Магнитной Лаборатории и имеет целью подготовить лиц, оканчивающих Университет, как к аспирантуре, так и к научно-технической исследовательской работе в заводских лабораториях или на различных технических предприятиях по телеграфии, телефонии, электроакустике, электромедицине, рентгентехнике и т. п.

Для организации преподавания по такому плану было необходимо ввести чтение соответствующих новых курсов и организовать практические занятия и дипломные работы. Преподаватели физики I М. Г. У., объединившиеся в Магнитной Лаборатории для научной работы (многие из которых начали в ней свою научную деятельность), смогли в короткий срок придать преподаванию практический уклон и организовали специальную электрометрическую лабораторию, обслуживающую студентов III и IV курсов. Этому в значительной степени способствовала близость задач Магнитной Лаборатории к запросам технической физики. К чтению новых курсов были привлечены также инженеры, ведущие преподавание во вузах. План физического цикла был пополнен следующими новыми предметами: электрометрия, теория переменных токов, гармонический анализ, электромагнитные процессы в материи, электротехническое материаловедение, рентгентехника, катодные лампы, электротехнический практикум и др. С тех пор научная работа Магнитной Лаборатории и учебная работа Электрометрической Лаборатории идут параллельно. С одной стороны это способствует живой связи между учебными лабораториями названной специальности и научной исследовательской работой, ведущейся в Магнитной Лаборатории, с другой стороны облегчает доступ к научной дороге студентам, склонным к научным исследованиям. Соседство Магнитной Лаборатории является также значительной материальной поддержкой для осуществления специальных работ студентов IV курса и дипломных работ кончающих. Будучи связана с Магнито-метрической Лабораторией ГЭЭИ идейным руководством, а в последнее время также и территориально, Магнитная Лаборатория выполняет научные и научно-технические исследова-

ния по заданию последней. К выполнению их в качестве волонтеров оказывается возможным привлекать студентов электро-измерительной специальности, которым такое исследование, надлежащим образом подобранное, поручается как специальная или дипломная работа. Ведение этих работ на одни университетские средства, при небольших ассигнованиях последних лет, встретило бы значительные трудности.

Часто новые явления, обнаруженные в Магнитной Лаборатории, и идеи, в ней возникавшие, делались предметом научных исследований и докторских диссертаций в зарубежных университетах, и некоторые из них вошли в русские и иностранные учебники. Поэтому читаемые в Московском Университете курсы не могли остаться вдали от тех вопросов, которые разрабатываются в рядом находящейся Магнитной лаборатории. Многие из упражнений Электрометрической Лаборатории имели целью содействовать усвоению новых понятий теории электромагнитного поля в той форме, в которой ею пользуются сотрудники Магнитной Лаборатории. Сюда относятся коэффициенты поляризации формы, магнитная проводимость, разные виды кажущейся проницаемости, электрическая и магнитная спектроскопия, магнитный спектр и т. д. Задачи соответствующего рода сначала предлагались в виде упражнений студентам IV курса, чтобы потом сделаться достоянием лаборатории III курса. Студенты электрометрической специальности часто привлекались также к выполнению заданий, поступивших со стороны от различных фабрик, заводов, учреждений Наркомздрава и т. п. К этим работам они подготовлялись соответствующим образом выбранными упражнениями в лаборатории. Так, изучение втягивающей силы соленоидов предшествовало испытанию их на сахарном заводе, изучение колебательных контуров и изготовление волномеров производилось перед исследованием лечебных электромедицинских установок, калибрование анемометров в аэродинамической трубе делалось перед испытанием электрических вентиляторов на табачной фабрике и т. п.

Надо заметить, что описанная здесь новая система университетского преподавания, осуществляющая директиву Наркомпроса приблизить преподавание в ВУЗ'ах к запросам практической жизни, вопреки ожиданиям многих недоверчивых скептиков с каждым годом все больше и больше себя оправдывает. Знакомство с производством, которое осуществляется при выполнении производственной практики еще на II или III курсе, своевременно дает возможность студенту на деле видеть, что и как прежде всего должно быть им усвоено из теоретических курсов, что в них практически ценно для научной или научно-технической работы. С каждым годом рассеивается недоверие, с которым практикантов-физматовцев раньше встречали на заводах студенты электроизмерительной специальности

постепенно завоевывают в производстве то место, которое по существу в нем принадлежит научно подготовленному физику.

Нередки случаи, когда студентам при работе на практике удается внести существенные улучшения в производстве или в технике. Есть студенты, которые ежегодно привозят с практики готовые к печати статьи или запатентованные изобретения. Еще находясь в Университете, многие из студентов получают приглашения в исследовательские институты: электрометристы работают в Всесоюзном Экспериментальном Институте, Рентгеновском Институте, Институте Труда, Лаборатории НКПС, Центральной Лаборатории Связи НКПочтеля, ГИФО и др. В настоящее время обе лаборатории – Магнитная и Электрометрическая, обслуживают около 70 студентов электроизмерительной специальности и многих студентов других специальностей цикла физики.

Лаборатория всегда была пионером в осуществлении правительственных мероприятий, касавшихся вузов.

Лаборатория постоянно была связана с Академией Наук СССР, которой обязана возможностью постановки ряда исследований и вовлечения специалистов как для экспериментальной работы, так и для широкого обсуждения интересовавших Лабораторию вопросов.

В первые годы Отечественной Войны руководящий коллектив Лаборатории находился в Казани, где по тематике Лаборатории были организованы исследовательские работы оборонного значения. Работы были поставлены в помещении Казанского Государственного Университета на средства Академии Наук СССР. К работам были привлечены некоторые члены Академии Наук и ряд других научных работников.

Сношения с западом, которые Лаборатории удалось завязать еще в 1920 году, постепенно развивались и крепили. Еще в то время Магнитная Лаборатория, одна из первых в РСФСР, начала публиковать за границей свои труды.

Связь с заграничными научными учреждениями и отдельными учеными продолжала расти. Обмен изданиями и переписка охватили многие страны света. Лабораторию нередко посещали, часто по своей инициативе, приезжавшие в Москву иностранные ученые. Среди них можно назвать Арко и Мейснера из Берлина в 1923 г., Эренфеста и Кромелина из Лейдена в 1924 г.; в 1925 г. были: М. Планк из Берлина, Раман из Калькутты, Фаянс из Мюнхена, Люркен из Брюсселя, в 1926 г. П. Л. Капица из Кембриджа и Д. Франк из Геттингена, в 1927 г. посетили Кемпф и Фоллер из Франкфурта на Майне, в 1928 г. Ланжевен из Парижа и Коссель из Килья.

В 1926 г. по инициативе Магнитной Лаборатории и при ее участии были приглашены в СССР на V Съезд физиков в Москве европейские ученые

проф. Буш из Иены и проф. Ганс из Кенигсберга. Они еще раньше работали над возникшей в Москве проблемой магнитных спектров, а по приезде в Москву приняли живое участие в обсуждении вопросов магнетизма на собранном во время Съезда заседании Магнитного Коллоквиума. На заседаниях Съезда Р. Ганс сделал сообщение о "теплоте намагничивания", а Г. Буш сделал доклад о "магнитной спектроскопии высокой разрешающей силы". В этой работе Буш всецело присоединяется к полученным в Москве теоретическим выводам, использует их и качественно подтверждает полученные в Москве экспериментальные результаты. Фактически это был первый случай, когда в Москву приехали иностранные ученые, работавшие в направлении сделанных в СССР исследований и имевшие возможность по существу обсуждать эти работы.

Этот приезд не был бесплодным и в других отношениях. В 1927 г. два члена Магнитной Лаборатории получили приглашение работать в Кенигсберге в институте проф. Ганса, на что Прусским Министерством Народного Просвещения были отпущены нужные средства. Несколько позже, в 1928 г., возможность поездки в Кенигсберг была предоставлена также лицам, работающим и в других лабораториях Физического Института I М. Г. У.

Магнитной Лаборатории сделано предложение в последующем командировать своих сотрудников также и в другие лаборатории Европы, для чего им была открыта возможность пользоваться стипендиями некоторых иностранных фондов.

Положительное отношение к Магнитной Лаборатории видно также из отзывов прессы. Это явствует также из приема, который был оказан за границей докладам о работах Магнитной Лаборатории некоторых ее членов при их приезде в Германию и Францию в 1928 г.

Для сборника, посвященного десятилетию Лаборатории, прислали свои статьи член Парижской Академии Наук директор Физического Института в Страсбурге проф. П. Вейс, директор Физического Института в Кенигсберге проф. Р. Ганс и директор Физического Института в Фрейбурге декан факультета проф. Густав Ми вместе со своим учеником доктором Франкенбергом.

Следует особо сказать об отношении В. К. Аркадьева к электромагнитной теории Максвелла.

Всем известно, какую громадную роль сыграли уравнения Максвелла в развитии физики и нашего миропонимания, в построении таких широких областей техники, как электротехника и радиотехника. Несмотря на возникновение в 20-м веке новых теоретических концепций, произведших революцию в нашем мировоззрении и выдвинувших ряд совершенно новых проблем, теория электромагнитного поля Максвелла, как и механика

Ньютона, лежит в основе естествознания и до сих пор является эффективным инструментом при исследовании новых физических явлений. Лаборатория им. Максвелла физического факультета Московского государственного университета в этой области имеет свои достижения.

Излагая успехи в доказательстве того, что световые волны это те же электромагнитные волны, В. К. Аркадьев отмечает успех Лебедева, который в 1895 году получил герцевы волны (при помощи электрических приборов) в 6 мм длиной. Одним из важных моментов в истории подтверждения теории Максвелла является 1900 г., когда Лебедев обнаружил на опыте световое давление, предсказанное Максвеллом. По свидетельству К. Тимирязева лорд Кельвин по этому поводу сказал: "Вы, может быть знаете, что я всю жизнь воевал с Максвеллом, не признавая его светового давления, и вот ваш Лебедев заставил меня сдаться".

Другая категория явлений, на которых проверялась теория Максвелла, это оптические свойства различных тел. Теория Максвелла давала возможность вычислять оптические характеристики по электрической ϵ и магнитной μ проницаемости тел и по их удельной электропроводности γ . В случае верности теории вычисленные оптические свойства должны совпадать с действительными. Теория Максвелла проверялась не только на оптических свойствах диэлектриков, но также на оптических свойствах металлов. Еще в 1885 г. голландец Зисинг обнаружил, что в световых колебаниях магнитная проницаемость μ всех веществ равна 1.

В 1912 г. В. К. Аркадьев опубликовал результаты опытов, из которых следовало, что μ уменьшается, падая от своих больших значений на низких частотах, до единицы уже в герцевых волнах, именно при уменьшении длины волны от 72,3 до 1,3 см. Уже при этой последней длине волны никель ведет себя, как немагнитный металл. Таким образом выяснилось, что аномалия, замеченная Зисингом, Рубенсом и Хагеном, имеет место уже в области герцевых волн и потому она нисколько не противоречит учению о тождестве природы электрических и инфракрасных волн.

Это исследование исчезновения магнитных свойств П. С. Эренфест реферировал в физическом кружке в Голландии. Им очень заинтересовался Дебай, который в то время разрабатывал теорию дипольных диэлектриков. По просьбе Эренфеста в ноябре 1912 г. Дебаю был выслан оттиск этой работы.

Снижение магнитной проницаемости при укорочении волн послужило В. К. Аркадьеву поводом к созданию теории электромагнитного поля в ферромагнитных металлах (1913 г.). Эта теория представляла собой первую попытку распространить теорию Максвелла на область таких металлов, как железо, кобальт, никель и их сплавы. Основным моментом этой

теории был учет времени свободного движения молекулярных магнитов, статика которых развита в работах Вебера, Юнга, Вейса и других. Это привело В. К. Аркадьева к введению в уравнения Максвелла новых величин: магнитной проводимости ρ и комплексной магнитной проницаемости $\mu - i2T\rho$. Работа заключала в себе теорию дисперсии внутри среды, содержащей магнитные диполи. Весной 1913 г. по просьбе Эренфеста ему в Голландию была выслана рукопись этой работы, вполне подготовленная к печати. Эренфест, державший иностранных ученых в курсе русских работ, писал, что он с ней познакомил некоторых физиков.

Прием В.К. Аркадьева, состоящий в введении в уравнения Максвелла магнитной проводимости ρ и комплексной магнитной проницаемости $\mu - i2T\rho$, вскоре стал общеупотребительным у физиков и электротехников.

Уже в 1922 г. в Лаборатории был открыт новый источник электромагнитных волн, который испускает ультрагерцевы волны, т. е. излучение, лежащее именно в той области, которая должна была соединить колебания вибраторов с молекулярно-атомными колебаниями. Это – массовый излучатель А. А. Глаголевой-Аркадьевой, который дает волны длиной от нескольких сантиметров до десятой доли миллиметра. Таким образом на шкале волн его излучение является мостом, который переброшен от излучения одного происхождения к излучению другого происхождения. Исследования этого излучения, выполненные в Германии и в Москве, устанавливают, что его мощность может достигать ватта.

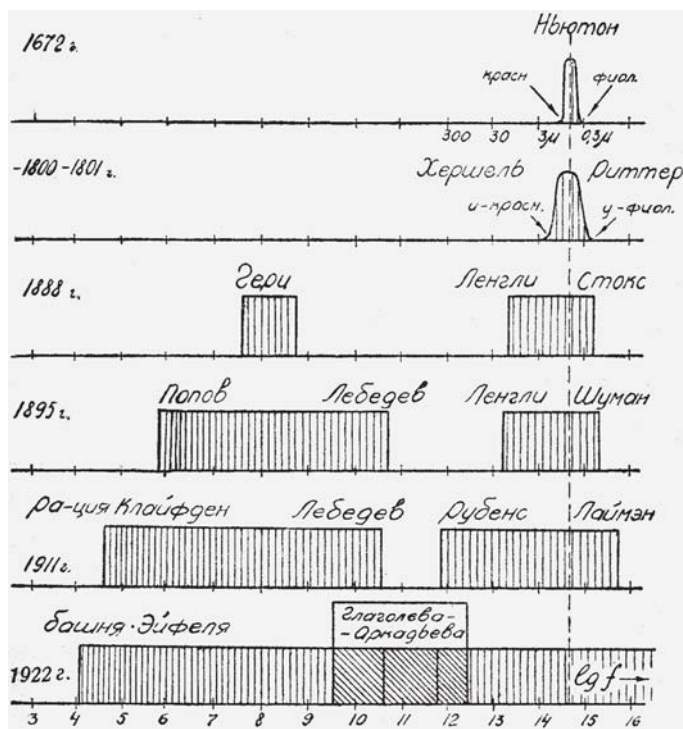
Монохроматизация лучей массового излучателя производилась при помощи ступенчатых решеток и при помощи проволочных решеток Герца.

Состав излучения исследовался при помощи резонансных вакуумных термоэлементов, которые составляли набор наподобие акустических резонаторов Гельмгольца. Теория действия массового излучателя, разработанная Глаголевой-Аркадьевой, позволяет истолковать многочисленные кривые, полученные в Лаборатории Максвелла для анализа излучения и самого процесса действия излучателя. Кривые показывали, что излучают как отдельные частицы в вибрационной смеси, так и пары частиц, а также цепочки частиц, образующиеся при пробивании смеси искрой. Они обуславливали три основные длины волны в излучении массового излучателя.

Сотрудниками Магнитной Лаборатории выяснено, что излучать ультрагерцевы волны может не только смесь масла с опилками классического массового излучателя, а также смесь опилок с пластичной густой массой, нанесенной на обод большого колеса и обминаемая особыми роликами. Кроме того источником могут служить также опилки, поддерживаемые струей газа внутри конической трубки.

В Лаборатории была также поставлена задача получения синусоидальных колебаний инфранизкой частоты. Наиболее медленные колебания имели период, доходящий до нескольких часов.

Лаборатория ставила себе задачу экспериментально изучать магнит-



Диаграмма, иллюстрирующая роль открытия А.А.Глаголевой-Аркадьевой источника ультракоротких электромагнитных волн

ные и электрические свойства тел и процессы в них в указанных пределах от ультрагерцовой до инфранизкой частоты.

Теоретическое изучение электромагнитных процессов в веществе было поставлено тоже весьма широко. Общую картину явлений дают таблицы и кривые величин n , k и R , характеризующих распространение монохроматических волн разного периода $\tilde{\omega}$ в воображаемом "максвелловом" полупроводнике, т. е. в среде с независимыми от $\tilde{\omega}$ коэффициентами ϵ , μ и γ . В совокупности эти кривые, построенные для разных веществ, рисуют слож-

ную спектральную картину некоего псевдомира. Подробно изучены кривые изменения коэффициентов ϵ , γ , а также n , k и R , когда в веществе находятся подвижные электрические заряды.

Свободные заряды находятся в проводниках, а заряды, упруго связанные со своим положением равновесия, — в диэлектриках. Соединенные попарно противоположные по знаку электрические, а также фиктивные магнитные, заряды образуют диполи, которые тоже могут обладать собственными периодами колебаний или собственными временами релаксации. Для вещества с диполями вычислены кривые проницаемостей ϵ и μ и кривые проводимостей ϵ и γ , показывающие изменение с периодом поля Ω свойств диэлектриков и ферромагнетиков.

Для этих веществ получены также кривые n , k и R , показывающие всю сложность явлений, рассматриваемых в общем виде. Наконец, вычислены кривые ϵ , γ , μ , ρ , n и k для веществ, содержащих в себе центры с разными собственными периодами, равномерно распределенными в известном интервале частот, и дающих непрерывные спектры.

Полученные диаграммы исчерпывают основные схемы пассивных спектров однородного изотропного вещества. Они лежат в основе пассивной спектроскопии, т. е. общей теории спектров поглощения, отражения, спектров коэффициентов преломления, проводимости бикомплексных веществ для разных длин волн, от инфранизких частот до рентгеновских лучей. Сочетание уравнений Максвелла с законами движения Ньютона дали возможность получить общие уравнения, представляющие схему поведения веществ на всей шкале электромагнитных колебаний. В частности, из теории В. К. Аркадьева получаются выражения для коэффициента преломления n рентгеновых лучей. Эти же выражения в случае ферромагнетиков дают формулы проницаемости μ в интервале ультрагерцевых и тепловых волн. В этом участке можно говорить о "рентгеновской" области в магнитных спектрах: это та область частот, где от магнитных свойств остаются лишь малые следы, подобно тому как в области рентгеновских лучей остаются ничтожные следы разности $\epsilon - 1$.

Разработанная В. К. Аркадьевым схема охватывает все виды реально-го вещества от ионосферы и газов до битума и чугуна. Работа представляет собой одно из обобщений знаний о поведении тел природы. Она мыслится В. К. Аркадьевым как математическое описание спектральной картины мира.

Указанные экспериментальные исследования в свете этих теоретических построений позволили подробно изучить спектральные свойства самых разнообразных веществ.

Из сказанного видно, что в работах лаборатории Максвелла вещество

рассматривалось как среда, характеризующаяся уже не тремя коэффициентами ϵ , μ и γ , как это делается в первоначальной теории Максвелла, а четырьмя: ϵ , γ , μ и χ . Для случая синусоидальных процессов это позволило осуществить давнее стремление Хевисайда придать уравнениям электромагнитного поля Максвелла вполне симметричный вид.

Такую среду, характеризующуюся четырьмя коэффициентами вещества, объединяемыми в двух комплексах $\epsilon - i2T\gamma$ и $\mu - i2T\chi$, называют бикомплексной. Примером могут служить плохого качества радиотехнические материалы типа сируфера или феррокарта, т. е. магнитные диэлектрики, обладающие заметными электропроводностью и магнитным гистерезисом.

Для тел разной формы из такого бикомплексного материала Лабораторией был решен ряд расчетных задач о распространении в этих телах электромагнитного поля. Наибольшее практическое значение для научных лабораторных исследований и для техники имеет задача о распространении переменных электрического тока и магнитного потока в проволоках и пластинках (листах) из ферромагнитных металлов. Это старая задача о скин-эффекте, около полвека тому назад решенная для проволоки Рэлеем и для листа Томсоном. Металл в то время характеризовался двумя коэффициентами: γ и μ . В. К. Аркадьев теперь учитывает в магнитных металлах потерю на гистерезис и на магнитную вязкость, почему в них и появляется третий коэффициент ρ . Присутствие этого коэффициента сильно усложняет формулы, поэтому в Лаборатории был составлен ряд таблиц и диаграмм для вычислений магнитных характеристик вещества μ и ρ по результатам измерений, а также был найден способ избежать сложных вычислений, связанных с применением бесселевых и гиперболических функций. В последнем случае, однако, надо измерить на опыте не одну пару, а две пары электромагнитных характеристик проволоки или ленты.

Указанные диаграммы дали возможность обработать много экспериментальных данных о намагничивании, как полученных в Лаборатории, так и опубликованных в литературе.

Присоединяя к теории скин-эффекта теорию отражения волн от решеток Герца, основы которой были даны Томсоном, Лэмом, Игнатовским и Гансом, Лаборатория выяснила влияние на короткие радиоволны магнитных свойств проволок при отражении волн от решеток из тонких проволок.

Обработанные на основе этой теории наблюдения дали кривые зависимости магнитных свойств от длины герцевых волн. Позже эти данные были подтверждены наблюдениями других исследователей в области дециметровых волн.

Обработка результатов других наблюдателей дала возможность полу-

чить ряд кривых μ и $\rho' = 2T\rho$ для различных веществ. Наблюдаемые при этом ступень проницаемости μ и максимум кривой ρ' , которые лежат в области инфракрасных частот, являются следствием магнитной вязкости, впервые наблюдавшейся Юнгом и Релеем в 80-х годах позапрошлого столетия.

Медленный вязкий рост намагниченности, тогда легко наблюдавшийся на английских железных проволоках, редко воспроизводился в наблюдениях других авторов на других материалах. Это происходило оттого, что время релаксации магнитной вязкости может лежать в разных частях шкалы электромагнитных колебаний: и в инфранизкой, и в звуковой, и в радиочастоте. Некоторые материалы, как например, кремнистая жемчужина, имеют непрерывный спектр. Все спектры хорошо укладываются в разработанную Лабораторией схему пассивных спектров, упомянутую выше.

В двадцатых годах прошлого века производилось много попыток исследовать магнитные спектры в области радиочастот от УКВ до километровых волн. Не один десяток работ был сделан на эту тему в СССР и еще больше за границей. Однако, до работ Лаборатории в этой области частот так и не было безукоризненной методики измерений и определенных данных, которые позволили бы считать общий характер явлений установленным.

Исследованиями Лаборатории в сантиметровых волнах выяснено, какое поведение железа и стали следует ждать в области инфракрасных и световых колебаний: к этим лучам ферромагнетики должны относиться так же, как все тела к рентгеновым лучам: в X-диапазоне они обнаруживают коэффициенты n и k , едва отличимые от единицы, также и железо в тепловых волнах должно обладать проницаемостью μ , практически не отличающейся от единицы.

Интересно, что отношение магнитных металлов к свету являлось предметом изысканий В.В. Петрова в начале еще прошлого века. В 1812 г. итальянец Морикини утверждал, что крайние фиолетовые лучи спектра намагничивают стальную иглу. Другие наблюдатели отрицали магнитное действие света. Вопрос был спорным и обсуждался крупнейшими учеными того времени. В 1814-1826 гг. вопрос неоднократно поднимался на собраниях Петербургской Академии Наук. Экспериментальное решение его было поручено академику Петрову. На основании произведенных опытов (1814 г.) Петров докладывает: "Обязанностью моею поставляю чистосердечно признаться, что ни одна из испытываемых мною стрелок, после сих над ними опытов, не показала убедительного доказательства приобретенных магнитных свойств, даже и стремления к направлению магнитного мери-

диана, которое свойство едва ли не всегда обнаруживается прежде всех прочих". Через 98 лет, когда мы научились получать высокочастотные магнитные поля, выяснено, что никакой намагниченности, ни временной, ни остаточной, не может получиться не только в магнитных полях световых лучей, но и в более медленно меняющихся полях тепловых лучей.

Упомянутые выше работы по отражению электрических волн от проволок разъяснили многое в работах К. Шеффера и отчасти Ганса. Ганса они побудили признать свой недосмотр, а Шеффер после выхода в свет работ В. К. Аркадьева по решеткам исключил из второго издания своей книги "Теория Максвелла" описание своих опытов с решетками, в толковании которых у него были промахи. В ряде статей 1924-26 г. г. на основании теории В. К. Аркадьева был дан в общей форме строго обоснованный вывод формул отражения волн от ферромагнитных металлов; формулы же, которые приводились в широко распространенных немецких руководствах Шеффера, Хааса ("Теоретическая физика") и Иегера ("Электрические измерения") расходились с формулами В. К. Аркадьева: у них проницаемость входила в знаменатель, а не в числитель. В следующем издании своего руководства (1932 г.) Шеффер уже не приводил своих ошибочно им выведенных формул.

Следует заметить, что некоторые советские авторы в своих статьях ("Техническая Энциклопедия", 3 том) еще в 1928 г. по старой традиции ошибочно выводили формулы отражения по Шефферу и Хаасу.

В 1928 г. Лабораторией даны формулы зависимости магнитной проницаемости от частоты, в основу которых были положены явления магнитной вязкости. Развитием этой теории в Германии занимался Беккер, а в Голландии эти формулы распространил на свойства парамагнитных тел Гортер с сотрудниками. Оказалось, что они оправдываются не только в сильно магнитных веществах, но и в слабо магнитных. В ферромагнетиках магнитную вязкость В. К. Аркадьев объяснял возникновением токов Фуко в микрокристаллах металла (1918) и конечной скоростью распространения в них скачка перемагничивания (1935). Беккер, исходя из этих представлений, пытался дать (1938) более полную картину зависимости магнитных свойств от частоты переменного магнитного поля.

Большое практическое значение получила комплексная проницаемость в телефонии и в радиотехнике. В связи с широким развитием радиовещания сильно повысились требования к чистоте и художественности передачи музыки, пения и речи. Поэтому в работах телефонных фабрик немало важное значение получили исследования динамических процессов намагничивания железа и других магнитных материалов, т. е. изучение зависимости магнитных свойств от частоты магнитного поля и вызывающего его

электрического тока. Эти вопросы сводятся к применению на практике теории электромагнитного поля в ферромагнитных металлах, созданной В. К. Аркадьевым.

Многие работы Лаборатории Максвелла были посвящены теоретическому и экспериментальному изучению электромагнитного поля в ферромагнитных металлах при его аperiодических изменениях. В 1921 г. полученные Б. А. Введенским формулы развития токов Фуко в цилиндре теперь широко использовались в СССР и Германии. В Англии и США долго пользовались приближенными формулами Релея. В 1941 г. Р. В. Телеснин измерениями на ненамагниченных цилиндрах показал, что время намагничивания вполне точно получается по формулам Введенского.

Новая область в этом направлении в лаборатории Максвелла начата работами А. Н. Тихонова, впервые наметившими пути к изучению магнитной вязкости в присутствии токов Фуко при аperiодических изменениях поля, главным образом, когда поле мгновенно возникает или исчезает.

Работы Лаборатории Максвелла, прокладывавшие новые пути в изучении магнетизма, часто далеко уходили вперед от повседневных очередных магнитных интересов большинства исследователей и часто только через много лет они осваивались учеными других школ.

Теоретические работы Н. С. Акулова затрагивали вопросы намагничивания кристаллов, которыми так много занимался Вейсс в конце 19-го и в начале 20-го века. Взгляды Вейсса были положены В. К. Аркадьевым в основу его теории электромагнитного поля в ферромагнетиках, почему в лаборатории Максвелла всегда существовала тенденция к разработке этих вопросов, особенно в направлении динамики намагничивания. Акулов решил очень много вопросов статистики магнетизма кристаллов (1925-31 гг.). Его работы очень быстро были восприняты современными зарубежными магнетологами и сыграли крупную роль в развитии теории ферромагнетизма.

В тридцатых годах Лабораторией пересматривалась схема аналогов между электромагнитными и световыми явлениями. Предыдущими исследователями еще в прошлом веке параллелизм свойств волн Герца и световых был вскрыт достаточно глубоко – для тех и других видов излучения имеют силу одни и те же законы распространения, отражения, преломления, интерференции, дифракции и т. п. Однако, для световых волн и отчасти инфракрасных существовала методика спонтанной регистрации в виде фотографии, а для герцевых волн соответствующего аналога не было. Лаборатория Максвелла предложила такой метод и назвала его стиктографией. Благодаря этому и для сантиметровых герцевых волн были созданы чувствительные пластинки и бумага, подобные фотопластинкам и фотобу-

маге. Здесь, конечно, можно было говорить только о принципиальном подобию, ввиду еще малой разработанности стиктографии по сравнению с совершенными фотографическими методами, имеющими столетнее существование. Впоследствии Лабораторией были разработаны (1940 г.) особые экраны, светящиеся под действием сантиметровых герцевых волн. Они позволяют производить просвечивание диэлектриков, и полупроводников, непрозрачных для света, так же, как это давно делается при помощи рентгеновских лучей. Опубликованные незадолго до начала Отечественной войны сообщения об этих работах за границей вызвали большой интерес, как в ученых, так и в промышленных кругах. В научных журналах стали описывать аналогичные попытки, подражающие московским опытам; ряд иностранных фирм уже во время войны присылал запросы о подобной методике наблюдений. Среди них были фирмы, изготавливающие медицинскую и рентгеновскую аппаратуру, а также различные прозрачные для герцевых волн материалы. Мировая фирма Денлоп еще в прошлом веке впервые начавшая выпускать получившие теперь повсеместное распространение пневматические резиновые шины, запросила через ВОКС о подробностях просвечивания герцевыми волнами.

Таким образом, на протяжении почти 80 лет можно отметить развитие следующих главных ветвей теории электромагнитного поля Максвелла: возбуждение предсказанных теорией электромагнитных возмущений, доказательство электромагнитной природы света, методы расчета электромагнитных характеристик разных веществ, как диэлектриков, так и металлов, особенно ферромагнитных, методы расчета распространения электромагнитного поля в этих веществах и в телах из этих веществ. Широта основных идей теории света Максвелла имела следствием проникновение теории в самые, казалось бы, удаленные от основной задачи области, как X-лучи, процессы намагничивания трансформаторной жести, распространение радиоволн в ионосфере и поляризация дипольных диэлектриков. Все эти и многие другие вопросы решаются при помощи уравнений Максвелла, в применение и в расширение которых внесла свою долю 25-летняя работа лаборатории электромагнетизма им. Максвелла физического факультета Московского Университета.

Основные научные работы В. К. Аркадьева

Научную оценку работ В. К. Аркадьева дали академик Б. А. Введенский и профессор Н. Н. Малов в предисловии к его книге "Избранные труды", вышедшей из печати в 1961 г. [1].

С самого начала своей научной деятельности В. К. Аркадьев заинтересовался взаимодействием электромагнитных волн с веществом. В 1908 г. он обнаружил уменьшение магнитной проницаемости железа и никеля в области сантиметровых волн. Это было время, когда идеи Фарадея, Максвелла еще не полностью были восприняты в научном мире. Г. Герц буквально еще несколько лет назад получил волны длиной 60 см. П. Н. Лебедев, руководитель школы, к которой принадлежал В. К. Аркадьев, только что доказал существование давления света на твердые тела и газы.

Теория электромагнитного поля, уже ставшая орудием исследования физических явлений в оптике, еще не стала таковым при исследованиях поведения вещества в электромагнитном поле. К этому времени значительные достижения уже имела электронная теория Лорентца в области оптической дисперсии. В лаборатории П. Н. Лебедева интенсивно проводились исследования поведения диэлектриков в дециметровом диапазоне длин волн. В. К. Аркадьев занялся аналогичными исследованиями поведения ферромагнетиков, у которых аналог электрической поляризации – магнитная поляризация – проявляется особенно сильно.

В 1907 и 1908 г. г., изучая отражение электромагнитных волн от металлических решеток, В. К. Аркадьев обнаружил сильное ослабление проявления ферромагнитных свойств вещества в области сантиметровых волн [1,7]. Через три года он подтвердил это открытие, исследуя поглощение волн в двухпроводной линии из ферромагнитных проволок [2,3]. Однако численные значения магнитной проницаемости, полученные двумя методами, заметно отличались друг от друга.

Анализируя свои экспериментальные результаты, В. К. пришел к двум смелым идеям, оказавшимся весьма плодотворными. Во-первых, он заключил, что параметры вещества, в частности, магнитная проницаемость, зависят от частоты поля. Во-вторых, для учета явления гистерезиса, заключающегося в отставании изменений индукции от периодических изменений магнитного поля и сопровождающегося необратимыми потерями энергии электромагнитного поля при перемагничивании ферромагнетика, он предложил ввести добавочный параметр – магнитную проводимость

вещества ρ . Благодаря этому уравнения Максвелла принимают симметричную форму

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} H &= \frac{\varepsilon \partial E}{c t \partial} + 4\pi \sigma E \\ -\operatorname{rot} E &= \frac{\mu \partial H}{c t \partial} + 4\pi \rho H \end{aligned}$$

Кроме того, для гармонических процессов периода T В. К. Аркадьев ввел комплексную магнитную проницаемость:

$$\mu = \mu' - i\mu''; \quad \mu = 2\rho T$$

аналогично комплексной электрической проницаемости:

$$\varepsilon = \varepsilon' - i\varepsilon''; \quad \varepsilon'' = 2\sigma T$$

Среда, характеризующая указанными четырьмя параметрами, была названа Аркадьевым "бикомплексной средой" [4-6, 8, 9].

Решая уравнения Максвелла для случая преломления и поглощения электромагнитных волн в веществе, Владимир Константинович 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 одна от другой в тех областях спектра, где магнитная проводимость отлична от нуля. Таким образом, он смог объяснить расхождение численных значений проницаемостей ферромагнетика, измеренных им двумя различными методами.

Пользуясь этими представлениями, В. К. Аркадьев 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 приложив своей теории к изучению свойств вещества Аркадьев называл "маг-

нитной 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 [11-13, 18].

Обнаруженное Владимиром Константиновичем при изучении различных процессов расхождение значений магнитной проницаемости не было случайным. В тридцатых годах он показал, что в связи с большой сложностью процессов намагничивания ферромагнетиков приходится вводить представление о целом ряде различных проницаемостей, определяющих тот или иной процесс перемагничивания (или намагничивания); одна из последних составленных им таблиц, систематизирующих различные проницаемости, содержит свыше 70 различных магнитных проницаемостей; это число, вероятно, не окончательное [22].

Объясняя исчезновение ферромагнитных свойств вещества в быстропеременных полях конечной скоростью возникновения и распространения намагничивания, В. К. Аркадьев ввел представление о "магнитной вязкости" вещества, на протяжении многих лет оказавшееся плодотворным при изучении условий перемагничивания. Свою теорию намагничивания он назвал "магнетодинамикой" и видел в ней развитие и углубление классических идей Максвелла [19, 20].

Введенные В. К. Аркадьевым понятия "магнитной проводимости", "магнитной вязкости" и др., весьма феноменологичны. Они выражают образный подход В. К. Аркадьева к восприятию исследуемых им физических явлений, хороши на начальном этапе изучения и не все сохранились в научной литературе.

В. К. Аркадьев понимал важность роли формы и внутренней структуры изучаемых веществ, и наряду с этим важность роли вихревых токов, развивающихся в толще металла. Именно этими соображениями объясняется появление работ В. К. Аркадьева и его школы по намагничиванию в постоянных полях и исследованию вихревых токов при периодических и аperiodических процессах.

Наряду с научными приложениями своей теории намагничивания (которую В. К. Аркадьев разрабатывал и совершенствовал до последних дней жизни), он всегда стремился применить научные достижения к практике. В ряде его собственных работ и работ его школы строилась теория поверхностного эффекта с учетом магнитной проводимости, уточнялись и заново создавались методы расчета магнитных характеристик при технических расчетах, изучались вопросы намагничивания и размагничивания тел различной формы и решались другие проблемы прикладного характера [10,

14-17]. Эти работы нашли в свое время завершение в известной двухтомной монографии В. К. Аркадьева "Электромагнитные процессы в металлах", вышедшей в 1934 и 1936 гг.

Верный заветам своего учителя П. Н. Лебедева, показавшего в одной из блестящих работ аналогию свойств миллиметровых и оптических волн, В. К. стремился перенести оптические методы в область сантиметровых волн. В тридцатых годах он разработал электромагнитный аналог фотографии, названный им "стиктографией", в котором структура электромагнитного поля исследовалась при помощи большого числа когереров, положенных на бумагу, смоченную электролитом.

Дальнейшим развитием этого метода явилась "искровая стиктография". В этом методе металлические опилки насыпались на фотопластинку, вносимую в исследуемое поле; при достаточной интенсивности поля между опилками проскакивали искры, засвечивавшие пластинку и тем позволявшие судить о распределении поля на ней.

В начале двадцатых годов по предложению В. К. Аркадьева в лаборатории электромагнетизма была выполнена еще одна замечательная работа, завершившая искания П. Н. Лебедева.

Как известно, в девяностых годах позапрошлого века физики стремились "сомкнуть" электромагнитные спектры "волн Герца", с одной стороны, и "оптических" волн – с другой. Но в это время не удавалось получить при помощи электрических методов возбуждения волны короче 6 мм (Лебедев, 1895 г.), а оптическим путем не удавалось выделить инфракрасное излучение с длиной волны, превышающей 0,35 мм (Рубенс, 1896 г.). Многочисленные попытки заполнить пробел не давали результата, так как при электрических методах возбуждения приходилось работать с очень маленькими вибраторами, быстро сгоравшими при искровых разрядах и дававшими ничтожно малую мощность; интенсивность длинноволнового излучения молекул также оказывалась весьма малой и недоступной изменению.

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. Аркадьев, развивая мысль Лебедева, предложил создать генератор со сменными вибраторами ? металлическими опилками, взвешенными в вязком масле. Эта идея была реализована его супругой, проф. Московского университета А. А. Глаголевой-Аркадьевой (1884-1945).

В 1922 г. ею был построен генератор, получивший название "массовый излучатель"; он давал "белое излучение", охватывавшее интервал длин

волн от нескольких сантиметров до 0,08 мм, т. е. перекрывавшее весь промежуток между "оптической" и, так сказать, "контурной" частями электромагнитного спектра. Глаголевой-Аркадьевой были изучены также основные свойства этого излучения [25].

Из других работ в области электромагнетизма, выполненных В. К. Аркадьевым, наиболее интересны изящные работы по наблюдению баркгаузеновского шума при перемагничивании, осуществленные весьма простым и убедительным методом, а также блестящий опыт с "парящим магнитом". Он поместил в жидкий гелий свинцовую пластинку и бросил на нее небольшой магнит. Возникшие при этом в сверхпроводящей пластинке токи были так велики, что благодаря электромагнитному взаимодействию с ними магнит после нескольких движений вверх и вниз "парил", висая над пластинкой почти неподвижно [21,26].

Среди различных работ В. К. Аркадьева, посвященных другим областям физики, очень интересна и своеобразна работа по френелевой дифракции, выполненная им и его сотрудниками А. С. Беркманом и Н. Н. Яковлевым [23]. Во многие учебники физики вошли прекрасные фотографии, впервые помещенные в указанной работе, ярко и доходчиво иллюстрирующие различные важнейшие и принципиальные моменты явления дифракции Френеля (например, появление при определенных геометрических соотношениях светлой точки на "тени" от круглого непрозрачного экрана и, наоборот, темной точки в центре светлого кружка при освещении круглого отверстия; остроумный опыт, доказывающий тождественность дифракционной картины от острого клинка и от края "стеклянной башни" диаметром 80 м", и ряд других). Эта работа весьма интересна сопоставлением дифракционных явлений с теорией, убедительно показывающим справедливость теории. Пожалуй, наиболее интересен описанный в работе метод моделирования (основанный на легко выводимых из общей теории формулах подобия), который позволяет получать уменьшенные дифракционные картины, отвечающие условиям, обычно не встречающимся в лабораторной экспериментальной практике, например, при расстояниях порядка десятков километров и для больших дифрагирующих экранов, таких, как тарелка или человеческая рука. Этими опытами, в частности, было ясно показано, что детали френелевой дифракционной картины совсем не обязательно должны быть мелкими, доступными наблюдению только в лупу.

На первый взгляд кажется, что эта работа стоит особняком. На самом же деле и здесь проявляется все та же тенденция В. К. Аркадьева всесторонне освещать проблемы взаимодействия электромагнитного излучения и вещества. Есть основания утверждать, что одно время он предполагал подойти к изучению вещества со стороны дифракционных явлений.

Значительный интерес представляет также работа, выполненная В. К. совместно с Н. В. Баклиным. Они сконструировали импульсный генератор высокого напряжения, описанный Аркадьевым в 1925 г. под названием "искровой трансформатор". Этот прибор состоял из системы параллельно включенных конденсаторов. При заряде их до достаточно высокого потенциала возникал пробой искровых промежутков, в результате чего конденсаторы включались последовательно, и напряжение на выходе прибора соответственно возрастало [24]. Построенные на таком принципе генераторы, называемые иногда "генераторами молний", применялись в исследованиях, требовавших сверхвысоких напряжений.

В созданной В. К. Аркадьевым Лаборатории электромагнетизма его многочисленные ученики вели систематические исследования магнитных явлений, причем он всегда охотно привлекал к работе молодежь. На научном коллоквиуме лаборатории обсуждались как работы лаборатории, так и научные новинки, появлявшиеся в литературе.

В 1935 г. Вышел из печати учебник В. К. Аркадьева "Электромагнитные процессы в металлах. Часть 1. Постоянное электрическое и магнитное поле".

Эта книга является прообразом современных учебников по основам электричества и магнетизма. Многое из нее излагается в современных учебниках по электричеству и магнетизму, а то, что осталось только в ней, дает представление и об истории развития науки и о смене приоритетных направлений в научных исследованиях с течением времени. Ряд параграфов, посвященных описанию некоторых физических явлений, небесполезно прочитать и современному студенту.

Вот перечень названий глав этой книги:

1. Краткие сведения из металлографии.
2. Поле вектора плотности электрического тока.
3. Магнитное поле тока.
4. Свойства металлических проводников электричества.
5. Свойства ферромагнитных веществ.
6. Теория электрической и магнитной поляризации тела.
7. Тела с неоднородной поляризацией.
8. Механические силы, энергия и работа магнитного поля.
9. Магнетостатика кернов и постоянных магнитов.

Эту книгу В. К. Аркадьев посвятил рассмотрению электромагнитных процессов в металлах, преимущественно в ферромагнитных, так как эта область наиболее сложна и именно этой области к тому времени было посвящено наименьшее число монографий. В этом руководстве он задался

целью дать теоретические основания к использованию металлов в электротехнике, учитывая их электромагнитные функции.

В. К. Аркадьев отмечает следующие главные особенности, отличающие изложение материала в этой книге.

В первой части книги теория электрических и магнитных явлений в металлах излагается на базе основных металлографических сведений о структуре металлов. Поэтому не только первая глава посвящена вопросам строения металлов и сплавов, но также и другие главы, где говорится специально об их, как выражается В. К., электропроводных, и магнитных свойствах.

Рассмотрение основных понятий теории потенциала (глава II) проводится на явлениях электрического тока, законах диффузий, движения тепла и фильтрации жидкости, на которых и выясняются основные законы потока вектора, в частности, закон обратной пропорциональности квадрату расстояния.

При изложении вопросов, касающихся проводимости и намагниченности отдельных тел и разомкнутых магнитных цепей применяются предложенные автором представления о намагничивании тела, вещества и формы. Ими в настоящее время пользуются и другие руководства. Особенно кстати они оказались при изложении современной теории магнитов.

Вторая часть книги посвящена переменному полю и электромагнитным явлениям в металлах. Здесь вводится понятие о магнитной динамике. Процесс возникновения электромагнитного поля в металлах сопоставляется с процессом теплопроводности. Все частные случаи скин-эффекта излагаются по одной общей схеме, именно с точки зрения "проникания" внешнего поля внутрь металла.

Эти явления в ферромагнитных телах трактуются при помощи введенной В. К. Аркадьевым комплексной проницаемости, применение которой сделалось общепринятым.

Подробно разработанная теория поведения в магнитном и электрическом полях цилиндрических проволок и "жести" (так В. К. Аркадьев называет некоторые ферромагнитные сплавы) позволяет дать удобные для практических вычислений диаграммы.

Здесь же дается понятие об общем спектре вещества, в частности, о магнитных спектрах ферромагнитных металлов и тел.

В первой главе приводятся краткие сведения из металлографии. Затем излагаются основы теории электрического тока, вводится понятие емкости, рассматривается множество конкретных ситуаций.

Для углубления понимания читателем законов физики, да и для анализа различных физических явлений В. К. Аркадьев подчеркивает важ-

ность применения аналогий. В рассмотренных им аналогиях В. К. Аркадьев видит также ряд обстоятельств большого практического значения: "Изучая теоретически или экспериментально явления одного рода, мы можем переносить полученные законы на явления совсем другого рода. Так, закон Ома мы применяем к расчетам магнитного потока, измерение электростатической емкости системы может быть использовано для расчета теплового потока между ними и т. п. Особенно большое практическое значение имеет гидродинамическая аналогия. Ею часто пользуются, чтобы решить вопрос о магнитном потоке между телами сложной формы, например, при конструировании статора и якоря динамо. Для решения плоских задач достаточно пропускать вязкую жидкость (глицерин) в пространство между двумя параллельными стеклянными пластинками, близко расположенными одна от другой. Между ними ставят плоские модели исследуемых воздушных промежутков такой толщины, чтобы установить соотношение между просветами, отвечающее проницаемостям воздушных и железных частей. Трубки течения становятся хорошо видимыми, если в бесцветный глицерин вводить струйки окрашенного глицерина." Подробно рассматривает В. К. Аркадьев использование гидродинамической аналогии при изучении топографии электрического поля в твердом металлическом теле, поля трехфазного тока и др. В. К. Аркадьев излагает метод электрических изображений, который по существу также является аналогией, но с оптическими явлениями. Рассмотрена аналогия между магнитным полем тока и полем электрического заряда.

В целом создается определенное впечатление, что В. К. Аркадьева очень заботило понимание излагаемого им материала читателем (к сожалению, есть книги, у авторов которых такая забота отсутствует напрочь). В последующие годы многое из книг В. К. Аркадьева естественно перешло в учебники, в том числе в учебники зарождавшегося в его годы курса общей физики как дисциплины, вводящей студента в мир науки, готовящей его к восприятию более сложных представлений бурно развивающейся физики. Очень подробно В. К. Аркадьев излагает теорию магнитного поля, электрические и магнитные свойства тел и вопросы их практического применения.

В 1961 году вышли в свет "Избранные труды" В. К. Аркадьева. Ответственным редактором этой книги был чл.-корр. АН СССР С. В. Вонсовский, вступительную статью написал академик Б. А. Введенский. В этой книге собраны основные работы Владимира Константиновича Аркадьева, которые кратко излагаются ниже.

1. Отражение электрических волн от проволок

[ЖРФХО, физ. отд. **45**, 46, 1913; Ann. D. Phys., (4) **45**, 133, 1914]

Описанные в этой статье измерения энергии отраженных от проволок электрических волн имели своей целью исследование магнитных свойств железа при быстрых электрических колебаниях. Принцип эксперимента, предложенного проф. П. Н. Лебедевым, основывался на том, что тогда обнаруженном свойстве редких герцевых решеток заметно поглощать энергию электрических волн. Это поглощение увеличивалось по мере уменьшения числа проволок в решетке, достигая максимума при одной отдельной проволоке. В последующем описаны измерения с решетками в четыре проволоки и особый прием исследования действия одной отдельной проволоки.

Первый метод состоял в непосредственном измерении энергии, отраженной от нескольких тонких прямых проволок, составляющих небольшую решетку, и параллельных электрическому вектору волн. В опытах В. К. Аркадьева решетки состояли из четырех длинных проволок, расположенных на расстоянии одна от другой. Мерой отраженной энергии служило отклонение зеркала гальванометра, соединенного с термоэлементом резонатора, на который падала отраженная волна.

Второй метод состоял в том, что между двумя герцевыми зеркалами, оси которых были поставлены под углом 90° одно к другому, вносилась тонкая натянутая проволока, составлявшая угол в 45° с плоскостью поляризации волн. Вызванное этим отклонение гальванометра и здесь могло служить характеристикой свойств материала проволоки. Эксперименты выполнены при длинах волн 3 x 30 см

Для количественного выражения результатов экспериментов были введены специальные характеристики, представленные в виде таблиц и графиков. В. К. обнаружил, что магнитные металлы (железо, сталь, никель, кобальт) обнаруживают меньшую отражательную способность в сравнении с немагнитными (серебро, фосфористая бронза). Магнитные свойства всех исследованных ферромагнитных металлов при быстрых электрических колебаниях стоят в том же соотношении, как и в постоянных полях. Их магнитные свойства уменьшаются с длиной волны и, как показывает экстраполяция, стремятся к исчезновению при длине волны около 1 см.

Эти результаты получены В. К. Аркадьевым еще в конце 1907 г. и были им доложены 21 января 1908 г. на заседании Физического Отделения О.Л.Е.А. и Э.

2. Поглощение электрических волн в параллельных проволоках
[ЖРФХО, физ. отд. **44**, 165,1912; Ann. D. Phys., (4) **58**, 105, 1919]

В этой работе В. К. Аркадьев ставит целью изучение магнитных свойств железных проволок в переменных полях наиболее коротких электромагнитных волн. В. К. отмечает, что эта задача была предложена ему профессором П. Н. Лебедевым еще в 1907 г. и исследовалась в его лаборатории и под его наблюдением разными методами. Уже было опубликовано большое число работ, посвященных теоретическому изучению вопроса о распространении электрических волн в проволоках. Однако, не было еще ни одного экспериментального исследования этого явления, посвященного сколько-нибудь подробному и точному количественному сравнению опытных данных с теоретическими.

В своем эксперименте В. К. Аркадьев измерял скорость и поглощение волн. Измерительная установка (или "прибор", как называет ее В. К.) представляла собой следующее. На фокальных линиях металлического эллиптического цилиндра были расположены герцевы вибратор и резонатор. Через отверстие за резонатором в цилиндре, распадавшемся в действительности на два эллиптических герцева зеркала, проходили две параллельные проволоки, присоединенные к резонатору так, что они захватывали в средней части около $1/5$ его длины. При возбуждении вибратора вдоль проволок распространялись волны, нагревавшие термоэлемент. Последний мог свободно передвигаться по проволокам и при этом в любой точке мог их собой замыкать. Находясь от резонатора на расстоянии в несколько полуволн, он отрезал на проволоках определенный прямоугольник, который резонировал на его колебания. Соединенный с гальванометром термоэлемент, передвигаемый по длине проволок, обнаруживал максимумы нагревания, из расположения которых можно было определить длину распространявшихся волн.

На некотором расстоянии от этой области резонанса, которую В. А. Аркадьев называл областью измерения λ , совершается переход в область измерения γ . Это расстояние определяется условием, чтобы волны, отразившиеся от термоэлемента и резонатора и обратно возвращающиеся к термоэлементу, несли лишь достаточно малую долю первоначальной энергии. Эта область будет простирается тем дальше, чем длиннее проволоки: при отодвигании термоэлемента от заднего конца системы имеет место входение в область измерения γ , как только энергия волн, прошедших термоэлемент и возвращающихся к нему при отражении от конца, будет достаточно мала по отношению к энергии пришедших.

В. К. Аркадьев, опираясь на работы Г. Ми, "который первый указал путь к точному теоретическому решению вопроса о распространении незатухающих электрических волн в двух бесконечно длинных параллельных проволоках", и И. Ценнека, построил свою теорию этого явления. Для того, чтобы количественно характеризовать этот процесс, необходимы и достаточны две величины: скорость распространения фаз ω или длина волны и коэффициент поглощения амплитуды κ , равный половине коэффициента поглощения энергии γ ($\gamma = 2\kappa$).

Результаты проведенного исследования состояли в следующем. Были получены чистые затухающие электрические волны в проволоках длиной от 73,7 до 1,27 см. Эти волны поглощаются в проволоках, следуя экспоненциальному закону. Выведены формулы, при помощи которых можно вычислять скорость и поглощение незатухающих волн. Измеренные значения коэффициентов поглощения для немагнитных проволок весьма близки к числам, которые дает теория. Относительная величина скорости в пределах ошибок наблюдения оказалась согласной с теоретической. Ход кривой коэффициента поглощения магнитных проволок указывает на быстрое падение проницаемости в исследованном интервале. Из величин поглощения в магнитных проволоках были вычислены значения магнитной проницаемости. При волнах в 1,31 см максимальное значение ее опускается с 93 до 8 для мягкого шведского железа и с 20 до 1 для никелевой проволоки в 0,053 мм. Экстраполяция показывает, что для железа μ обращается в единицу при длине волны в несколько миллиметров; таким образом, уже и в области электрических волн, хотя и очень коротких, свойств ферромагнитных металлов таковы, что электромагнитные процессы в них протекают при $\mu = 1$, т. е. так же, как в случае длинных тепловых волн Рубенса. Работа выполнена в 1911 г.

3. Ферромагнитные свойства металлов как функция длины волны [ЖРФХО, физ. отд. 45, 103, 1913]

В этой статье В. К. Аркадьев дает обзор экспериментальных работ как своих, так и работ других авторов, посвященных измерению магнитной проницаемости в проволоках различного диаметра на различных частотах переменного магнитного поля. Результаты измерений, выполненных различными методами, создают картину монотонного падения проницаемости по мере увеличения частоты. На небольших частотах магнитная проницаемость постоянна; на частотах от 10^3 до 10^9 Гц медленно уменьшается (для железа от 1000 до 1000, для никеля – от 150 до 20); при даль-

нейшем возрастании частоты падает до единицы, причем для железа это имеет место при $\lambda = 1$ см, а для никеля – около 2 см. В области тепловых и световых длин волн опять наблюдается независимость μ от частоты ($\mu = 1$). По ходу изложения материала В. К. обращает внимание на то, что некоторые авторы не учитывают зависимость μ от амплитуды переменного магнитного поля.

4. Теория электромагнитного поля в ферромагнитном металле [ЖРФХО, физ. отд. **45**, 312, 1913; Phys.Zs., **14**, 928, 1913]

В.К. Аркадьев отмечает, что характерное изменение в зависимости от длины волны коэффициента поглощения электрических волн в железных и никелевых проволоках и своеобразные особенности, обнаруженные при измерении отражения от тех же проволок, указывают на резкое уменьшение магнитной проницаемости в области наиболее быстрых электрических колебаний. Откладывая на будущее детальное объяснение всех обнаруженных при этом явлений, в настоящей статье В.К. делает попытку построить общую теорию электромагнитных процессов в ферромагнитных металлах (при слабых полях). Как показывает сравнение с опытными данными, эта теория не только весьма удовлетворительно представляет общий характер приведенной ниже схемы отношений ферромагнитного металла к электромагнитной волне, но и позволяет сделать ряд количественных выводов, которые должны привести к более глубокому пониманию механизма намагничивания и внутреннего строения материи. С формальной же стороны излагаемая здесь теория может быть рассматриваема как новый шаг к расширению теории электромагнитного поля; во введении в уравнение величины магнитной проводимости можно видеть осуществление давних стремлений придать симметричный вид уравнениям Максвелла.

В.К. Аркадьев пишет, что основное представление о механизме намагничивания, из которого он исходит при построении излагаемой теории, заимствовано им у В. Вебера [4]. Он предполагает, что в ненамагниченном ферромагнитном веществе оси элементарных молекулярных магнитов, из которых оно состоит, согласно этой гипотезе, расположены по всевозможным направлениям; в этих положениях они упруго удерживаются некоторым внутренним направляющим полем; под действием внешнего поля оси отдельных элементарных магнитов приближаются к направлению последнего, они совпадают с ним при намагничивании до насыщения. В последующем Аркадьев предполагает, что намагничивание не выходит из



25-е заседание Физического Коллоквиума при Магнитной лаборатории 12 декабря 1921 г.



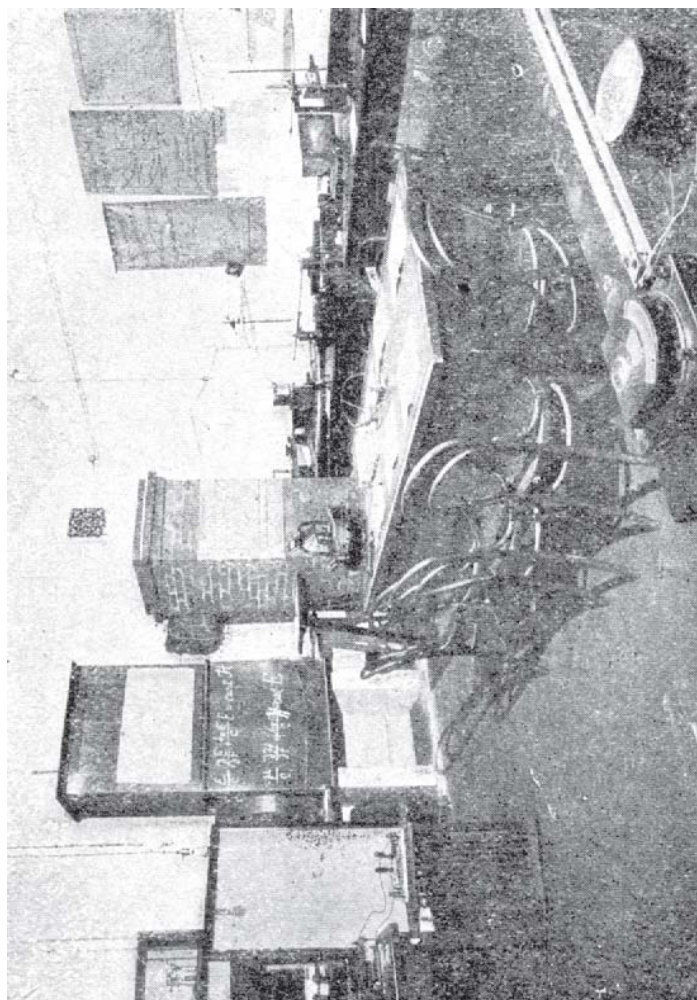
160-е заседание Физического Коллоквиума при Московской Магнитной Лаборатории, состоявшееся при участии германских ученых 16 декабря 1926 года. 1 ряд: Глаголева-Аркальева, Г.Бунд из Иены, Аркадьев, Р.Ганс из Кенигсберга, Леонтьева. 2 ряд: Теодорчик, Симанов, Чупрова, Введенский, Никитин, Волкова, Четверикова, Митяев. 3 ряд: Карчагин, Акулов, Онищин, Волков, Ермолаев.



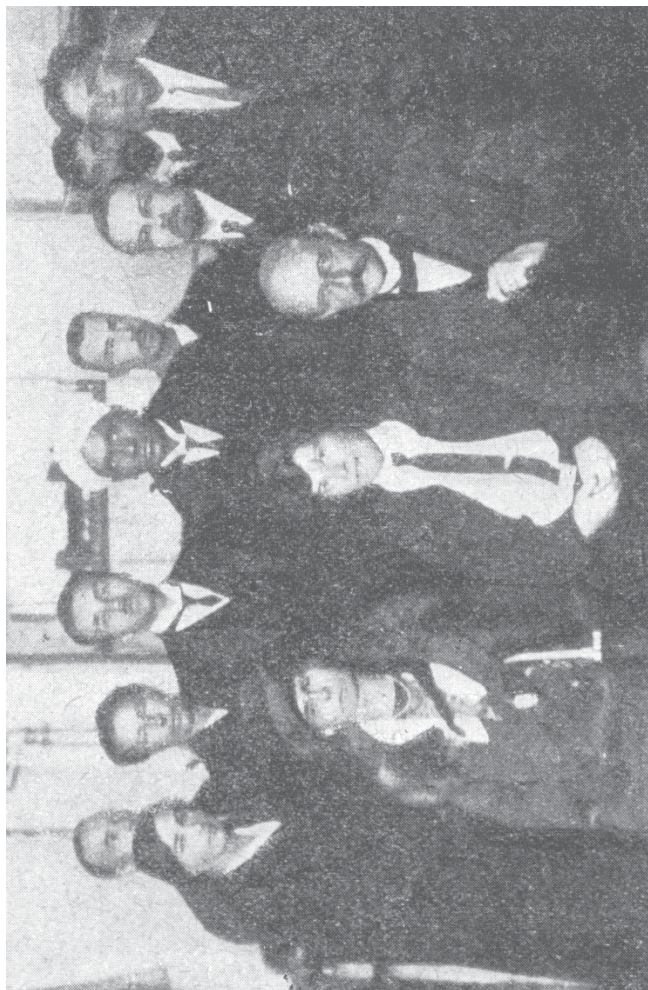
178-е заседание Коллоквиума 2 июня 1928 года при участии проф. П.Ланжевена (Париж).



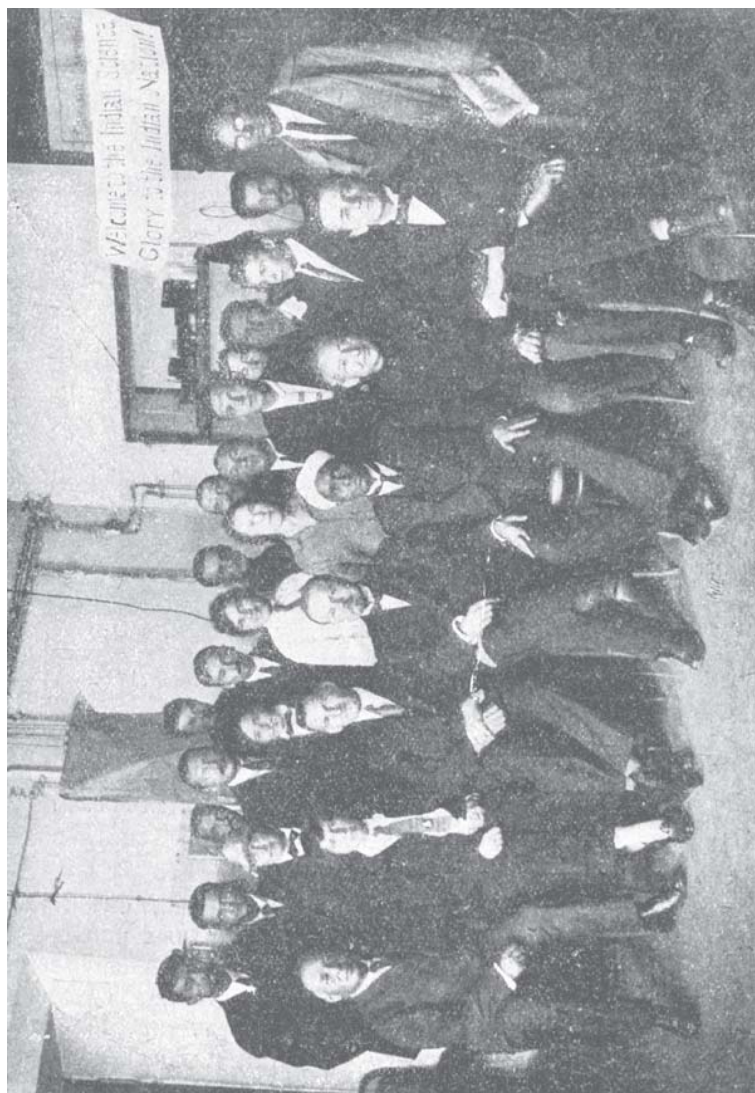
187-е заседание Физического коллоквиума 22 ноября 1928 года при участии проф. В. Коссея (г. Киль).



Лаборатория, в которой происходили заседания "Магнитного коллоквиума".



В дни двухсотлетия Академии Наук СССР (сентябрь 1925 года).
На снимке - проф. М.Планк с женой и проф. Ч.Раман.



139-е заседание Коллоквиума при Магнитной Лаборатории 15 сентября 1925 года. В первом ряду - проф. К. Фджанс из Мюнхена и проф. Ч. Раман из Калькутты.

начальной стадии и что отклонение отдельных осей от их первоначального направления невелико. В этих условиях в статических полях гистерезиса нет, намагничивание обратимо и коэффициенты намагничивания не зависят от напряженности поля.

По ходу развития теории В.К. Аркадьев замечает: "Можно думать, что элементарные магниты могут иметь определенные периоды собственных колебаний". Он рассматривает уравнение движения элементарных магнитов и получает выражения для периода этих колебаний. В.К. Аркадьев получает также формулы, выражающие зависимость проницаемости μ от частоты. Их анализ показывает, что при не сильном затухании проницаемость μ проходит через максимум.

В.К. Аркадьев, вводя в рассмотрение магнитную проводимость ρ и используя обычные характеристики вещества ϵ , σ и μ , записывает уравнения Максвелла для однородного и изотропного тела в следующей симметричной форме:

$$\frac{\epsilon}{c} \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{4\pi\sigma}{c} E = \text{curl} H$$

$$\frac{\mu}{c} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{4\pi\rho}{c} H = -\text{curl} E$$

Здесь же В.К. Аркадьев, рассматривая распространение электромагнитных волн в ферромагнитном металле, получает уравнения

$$\frac{\epsilon'\mu'}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = \Delta E$$

и, соответственно,

$$\frac{\epsilon'\mu'}{c^2} \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} = \Delta H$$

Полученные соотношения подобны уравнениям электромагнитных волн, распространяющихся в диэлектрике, только в данном случае, как и в среде с одной электрической проводимостью, действительный коэффициент при производной по времени заменен комплексной величиной. Для диэлектрика этот коэффициент есть $\epsilon'\mu'$, для металла обыкновенно получают $\epsilon'\mu'$, а в данном случае он равен $\epsilon'\mu' - \frac{4\pi\sigma}{\omega}$ (здесь ϵ' и μ' комплексные величины).

В.К. Аркадьев, анализируя теорию ферромагнетизма Вейса (P. Weiss), построенную на выводах Ланжевена, относящихся к парамагнитному газу, констатирует, что она в применении к настоящему случаю не вносит никаких изменений в полученные результаты. Теория Ганса (R. Gans), предусматривающая кристаллическое строение металла, только подтверждает выводы В.К. Аркадьева; раскрытые же Гансом свойства вращающейся молекулы глубже обосновывают исходные положения теории Аркадьева.

В. К. Аркадьев отмечает, что построенная им теория не предусматривает никакой связи между структурными элементами вещества и предполагает лишь, что они имеют один определенный период согласованных вращательных колебаний. Кроме того, оставляется без рассмотрения влияние кристаллической структуры вещества, которая может иметь большое значение в случаях, когда захватываемый магнитной волной слой соизмерим с размерами кристаллов.

Сопоставляя выводы своей теории, выражающиеся в анализе полученных формул для величин μ и ρ , с опытными данными, В. К. Аркадьев находит полное согласие.

Большой интерес представляет оценка В. К. Аркадьевым границы применимости теории Максвелла. Он говорит, что классическая теория электромагнитного поля Максвелла, рассматривающая вещество как нечто непрерывное и однородное, приводит к полному определению всех отношений такого тела к электромагнитной волне при помощи трех констант: диэлектрического коэффициента, электропроводности и магнитной проницаемости. Однако в этой форме теория Максвелла лишь в редких случаях дает согласные с опытом результаты. Действительные явления становятся понятнее, как только мы присвоим телу определенную структуру: мы можем приписать элементам строения вещества характеристические временные и пространственные константы. Пока последние малы по сравнению с временными и пространственными характеристиками электромагнитного процесса (в простейшем случае – перед $\dot{O}$ и λ) отдельные структурные элементы и их состояние в отдельные моменты времени не оказывают влияния на течение такого процесса: здесь приходится считаться лишь со средними по пространству и времени величинами, которые определяют константы вещества. По мере же уменьшения характеристики процесса и при приближении их к константам структурных элементов вещества, на смену представлениям классической теории Максвелла вступают в силу ее расширения и обобщения, предусматривающие различные внутренние детали строения. Теперь вещество уже нельзя рассматривать как континуум, Здесь лежит граница применимости теории Максвелла.

В области металлооптики теория Максвелла получила блестящее под-

тверждение в исследованиях Гагена (E. Hagen) и Рубенса (H. Rubens), показавших, что для длинных тепловых волн отражательная способность немагнитных металлов вполне определяется их электрическими свойствами в постоянных полях; по мере же приближения к видимому спектру, при $\lambda = 10$ мкм и меньше, замечаются значительные отступления, которые указывают на приближение к электронным временным характеристикам. Для магнитных металлов Гаген и Рубенс получили числа, которые даются вычислением по электропроводности, полагая $\mu = 1$.

Касаясь своей работы, В. К. Аркадьев говорит, что он сделал попытку установить новую временную характеристику металла: собственный период молекулярных магнитов, который лежит при длине волны в несколько сантиметров. Тот факт, что делается постоянно равным единице при длине волны в 1 мм, объясняет поведение ферромагнитных металлов в опытах Гагена и Рубенса.

Таковы две временные константы металла, электронная и молекулярная, которые определяют его отношение к электромагнитному полю.

Что касается пространственных констант, то молекулярная пространственная характеристика вещества сказывается только в наиболее коротких из известных нам волн, именно в области рентгеновых лучей. Но уже в области ультрафиолетовых лучей и далее молекулярная структура не оказывает влияния на механизм распространения волны. Поэтому здесь мы могли бы считаться только с кристаллической структурой металла, которая имела бы существенное значение в тех случаях, когда слой металла, захватываемый магнитной волной, делается соизмеримым с размерами кристаллов.

В заключение этой своей работы В. К. Аркадьев строит графики зависимостей показателя преломления n и коэффициента абсорбции k_1 различных металлов от длины волны и проводит такое рассуждение: "Если при изучении дисперсии жидкостей подобная картина иногда называется электрическим спектром ее, то исследованную мной область кривой мы могли бы назвать магнитным спектром металла. Всю же построенную здесь схему отношений вещества к интересующим нас процессам мы должны были бы назвать его электромагнитным спектром".

При внимательном чтении работ В.К. Аркадьева рождается образное ощущение, что ты следишь за борьбой (в буквальном смысле) двух мастеров высокого класса: один из них (В.К. Аркадьев) постоянно делает попытки прорваться к уязвимым местам противника, сделать захват, подсечку; другой (природа) упорно сопротивляется, уходит от таких попыток. Но иногда первому удается провести тот или иной прием, и в награду мы получаем еще одну раскрытую тайну природы. Борьба продолжается!

5. О магнитной дисперсии и абсорбции
[ЖРФХО, ч.физ., 56, 194, 1924]

В этой статье В. К. Аркадьев отмечает, что в настоящее время, при теоретической обработке вопросов намагничивания, сопровождаемого потерей энергии, часто пользуются комплексной проницаемостью

$$\mu' = \mu - i\rho'$$

и функциями

$$\mu_k = \sqrt{\mu^2 + \rho'^2} + \rho' \quad \text{и} \quad \mu_n = \sqrt{\mu^2 + \rho'^2} - \rho'$$

которые им были введены для исследования электромагнитных процессов в веществе с резонирующими элементарными магнитами Вебера. В. К. Аркадьев назвал кажущейся проницаемостью. Они позволяют, между прочим, решить в первом приближении вопрос о магнитной дисперсии и абсорбции.

В настоящей статье разбирается течение этих функций в зависимости от периода внешнего поля, т. е. от длины волны, действующей на ферромагнитное вещество, при условии, что μ и ρ' обусловлены резонансом элементарных магнитов. По ходу дела В. К. вводит величину β , названную им проводимостью. Она характеризует поляризацию в определенной фазе, которая наводится в теле в 1 с при силе поля равной 1. Наряду с этим В. К. готов назвать коэффициент β , как величину, характеризующую истекающую за полупериод колебательного процесса индукцию, натеком.

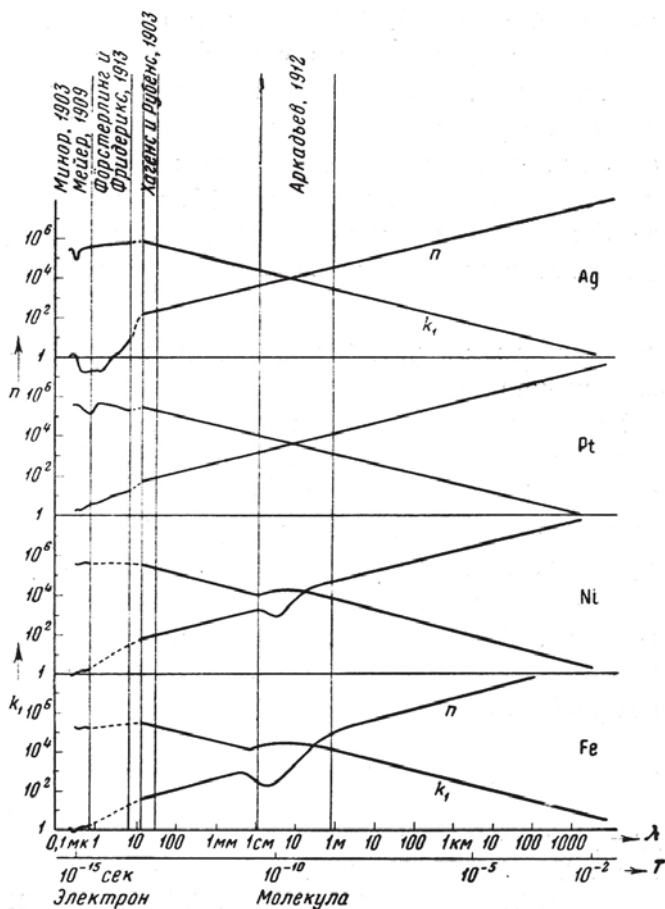
В. К. Аркадьев получает выражения для всех коэффициентов, фигурирующих в его теории и дает их подробный анализ.

6. Об анализе спектральных кривых
[ЖРФХО, ч.физ., 56, 219, 1924]

В этой статье В. К. Аркадьев дает подробные указания для анализа экспериментально получаемых спектров в свете его теории.

7. Отражение электромагнитных волн от герцевых решеток
[Ann. D. Phys., (4) 75, 426, 1924]

Приводим рис. 1 из статьи – он очень выразителен.



Зависимость показателя преломления n и коэффициента абсорбции k_1 металлов в слабых полях

В этой работе В. К. Аркадьев экспериментальные результаты для немагнитных проволок, которые он получил при исследовании отражательной способности узких решеток из четырех проволок длиной 49 см, сравнивает с теоретическими результатами. Диаметр проволок был при этом от 0,018 до 0,055 мм. Проволоки находились одна от другой на расстоянии

8. Отражение электромагнитных волн от магнитной среды
[ЖРФХО, ч. физ., 58, 149, 1926; см. также Zs. F. Phys., 38, 908, 1926]

Получена формула для коэффициента отражения R энергии, падающей нормально на поверхность металлического зеркала.

9. Магнитные спектры отражения

[ЖРФХО, ч. физ. 58, 59, 1926; см. также Ann. D. Phys., (4) 81, 649, 1926]

В. К. Аркадьев отмечает, что вследствие невозможности измерения абсорбции электромагнитных волн при их отражении от сплошных металлических поверхностей прибегают к исследованию отражения от герцевых решеток. При помощи теории их, распространенной здесь на случай решеток из ферромагнитных проволок, т. е. обладающих магнитной проводимостью ρ и проницаемостью μ , возможно определить магнитные свойства при электрических колебаниях. Вычисленная из отражательной способности железных и никелевых решеток проницаемость весьма близка к тому ходу ее, который определяется теорией магнитной дисперсии на основании параметров, полученных из наблюдения поглощения волн в магнитных параллельных проволоках.

В. К. Аркадьев показал, что абсорбция при отражении от решетки во столько раз больше абсорбции отражения от зеркала, во сколько раз поверхность зеркала больше поверхности проволок на решетке тех же размеров. В частности, при отражении от решетки из проволок диаметром в 0,02 мм, натянутых на расстоянии 1 мм одна от другой, абсорбция при отражении будет в 16 раз больше, чем от зеркала.

10. О расчете железных проводов для переменного тока

[Исследования по электромагнетизму. 2. М., НТО ВСНХ, 1926, стр. 70].

Эта работа инициирована возникновением вопроса об использовании железных проводов для целей освещения и передачи энергии. В.К. Аркадьев предлагает подход к решению возникающих при этом задач по расчету потери напряжения в проводах с использованием той методики изучения магнитных явлений, которая в течение ряда лет применяется в Московской магнитной лаборатории. Вопрос сводится к изучению процессов перемагничивания, связанных с потерей энергии в железе проволоки. В. К. Аркадьев дает рекомендации по расчету этих потерь.

11. О проницаемости при высоких частотах

[Ann. d. Phys., (5) 406, 1931]

Здесь В. К. Аркадьев дискутирует с Михельсом [P. Mihels. Ann. d. Phys., (5), 8, 877, 1931], который считает ненужной магнитную проводимость.

В. К. Аркадьев указывает [В. Аркадьев. Phys. Zs., 14, 928, 1193], что магнитную проводимость он вводит во второе уравнение Максвелла:

$$\begin{aligned}\operatorname{rot} H &= \frac{\varepsilon}{c} \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{4\pi\sigma}{c} E \\ -\operatorname{rot} H &= \frac{\mu}{c} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{4\pi\rho}{c} H\end{aligned}$$

где она играет роль при синусоидальном временном изменении магнитного поля H .

Величина ρ и также связанная с ней комплексная проницаемость

$$\mu - i\rho' = \mu - i2\rho T \tag{1}$$

происходит в действительности из гипотезы резонанса магнитных центров и основанной на этом теории магнитной дисперсии, которую В. К. Аркадьев разработал в 1913 г. с целью объяснения исчезновения магнитных свойств в области ультрагерцевых волн. Позже на основании этой теории Р. Ганс и Р. Лоярт [R. Gans und R. Loyarte. Ann. d. Phys., 64, 209, 1921] математически обработали полученную ими полосу поглощения на никелевых проволоках и вычислили магнитную проводимость ρ для этих проволок при различных частотах. Магнитная проводимость используется во многих работах, а также при обычной частоте, особенно в теоретической электротехнике. Магнитную проводимость использовал Миттельштрасс [A. Mittelschtrass. Arch. f. El., 19, 595, 1927]. Он показал, что ρ хорошо объясняет расчет распределения переменного тока внутри железного цилиндра. Ермолаев [A. Ermolaev. Arch. f. El., 25, 125, 1931] указал применение магнитной проводимости для вычисления сопротивления переменного тока и магнитных потерь железных проволок для технических частот; также и Антик [U. Antick. Arch. f. El., 25, 125, 1931] позже нашла, что полученные значения с помощью магнитной проводимости гораздо лучше могут быть вычислены, чем по старым формулам. Величина ρ объясняет существование гистерезиса и связанных с ним потерь Q электромагнитной энергии, которая возникает при процессах в ферромагнитных металлах. Величина ρ принимает при синусоидальных процессах значение

$$\rho = \frac{2Q}{TH_0^2} ,$$

где $\dot{O}$ – период и $\dot{I}_0$ – амплитуда поля.

Этот способ вычисления потерь на гистерезис Q при пользовании максвелловскими уравнениями уже употребляется. Применение магнитной проводимости и комплексной проницаемости можно найти теперь во многих работах и учебниках, где применяют тот же способ вычисления, хотя слова "магнитная проводимость" там не всегда используются. Это показывает, что возражения Михельса против магнитной проводимости связаны с недоразумением.

Далее В. К. Аркадьев обсуждает точность измерений в работах Лавилля, При этом он обращает внимание на важность знания механического состояния железных проволок, являвшихся объектами исследования и в работах Лавилля. Как показывают опыты Садикова [В. Sadicov. Arch. f. El., 25, 431, 1931], натяжение или изгиб железных проволок может изменять омическое сопротивление иногда на 23% и индуктивное сопротивление на 40 %. Опыты Садикова показывают, что вольтметр уже указывает разницу в потребляемой энергии, если переменный ток проходит через железную проволоку, свободно лежащую на столе или натянутую под собственным весом, или если проволока имеет свешивающиеся концы. Горизонтально натянутая проволока особенно чувствительна к нагрузке и к температурным колебаниям вследствие связанных с этим больших изменений напряжения. Вероятно, эти неизвестные и не вычисленные в то время факторы и давали большие отклонения в прежних измерениях.

В работах Михелса это также не принято во внимание. Между тем можно обнаружить изменение нагрузки натянутой проволоки, если, например, передвигать термоэлемент вдоль проволоки. При его положении в середине проволоки или близко к ее концу, если проволока наклепана без нагрузки и без прокатки, термоэлемент может обнаружить изменение механического натяжения, которое может оказывать влияние на измерение абсорбции и длины волны. Сам термоэлемент, если он касается проволоки, не может быть рассмотрен как безразличный прибор. При сравнении самоиндукции проволок при звуковых частотах и при высоких частотах должна быть принята во внимание не только напряженность поля, но также соответствующее механическое напряжение железных проволок, или лучше следует исключить влияние этих напряжений.

Возникновение полос в магнитных спектрах, как мы теперь знаем, обусловлено различными причинами. Кроме структурных причин, в некоторых случаях могут играть роль механические колебания исследуемых образцов железа. Предсказанные нами резонансные колебания железных образцов, обусловленные магнитострикцией, найдены фактически в Америке [G. W. Pierce. Proc. Ann. Ac., **63**, 1928] и почти одновременно в Москве [Н. Н. Малов. Успехи физ. наук, **9**, 859, 1929]. Полученная абсорбция энергии и определенное поведение проницаемости, наступающее при определенных периодах, может оказывать влияние на полосы магнитных спектров. Так как происхождение этих механических колебаний зависит от способа укрепления железного образца, то указанная аномалия проницаемости может обнаружиться или не обнаружиться.

Важность предварительного намагничивания проволок подчеркнута в работах Антик [см. 1 с.] Также должно сказываться состояние полировки поверхности проволок, особенно в коротких волнах.

Замечание: В этой статье В. К. Аркадьева и далее идет анализ других экспериментов.

В заключение В. К. Аркадьев пишет, что только полное отсутствие тепла гистерезиса, т. е. отставания индукции от напряженности поля, может дать повод отказаться от магнитной проводимости и от формулы (1). Но мы не имеем никаких оснований считать, что это отставание при высокой частоте в области начальной проницаемости, особенно в метровых волнах, отсутствует. Что касается поверхностной гипотезы (), то все до сих пор проведенные экспериментальные факты опровергают ее. Но в некоторых случаях можно, конечно, неравномерное распределение проницаемости в поперечном сечении проволоки привлечь для объяснения некоторых опытных результатов.

12. Что такое аномальное поведение проницаемости при высокой частоте

[Zs. F. Phys, 79, 558, 1932]

Зависимость от частоты различных коэффициентов, которые характеризуют поведение вещества в электромагнитном поле, можно рассмотреть с оптической точки зрения и обозначить в виде спектров. Спектрам соответствует показатель преломления, диэлектрические коэффициенты, магнитная проницаемость, электрическое сопротивление и др. При графическом изображении получают спектральные кривые, наклон которых может быть рассмотрен как спектральная область дисперсии или граница полосы абсорбции спектральных кривых. Различают нормальный или аномальный

наклон спектральных кривых, которые обозначают определенное поведение вещества.

В области магнетизма уже давно ищут явление уменьшения проницаемости вещества при повышении частоты, которое можно ожидать вследствие магнитной вязкости или магнитного последствия, помимо влияния вихревых токов, которое приводит к кажущемуся уменьшению проницаемости. В литературе мы находим много подтверждений этого явления в очень широком интервале длин волн от $\lambda = \infty$ до нескольких метров. Аркадьев ссылается при этом на работы Введенского и Теодорчика, Брикведде, Холла, Малова, Стрэтта, Волковой, Урисона, Крайслехеймера.

Независимость проницаемости от частоты или ее уменьшение при высоких частотах можно обозначить как нормальное поведение (нормальный наклон спектральных кривых), наоборот, каждое увеличение истинной проницаемости вещества при высоких частотах можно рассматривать как несовместимое с этим и обозначить как аномальное поведение. Каждый максимум или минимум, если он обнаруживается, должен быть рассмотрен как специальный случай аномалии, так как каждое такое явление связано с увеличением проницаемости при возрастании частоты. В оптике понимают под нормальной дисперсией света увеличение показателя преломления в коротких волнах, "потому что очень длинные волны не могут иметь другой дисперсии" [Д. Гольдхальмер. Дисперсия и адсорбция света. Берлин, стр. 51; Вуд. Физическая оптика, Нью-Йорк, 1911, стр. 113; М. Планк. Введение в теоретическую оптику, Лейпциг, 1927, стр. 157]. Считают это определение случайным и нецелесообразным. Я хочу обсудить на основании изложенной выше точки зрения статью Вайта [G. Wait. Zs. F. Phys., 77, 695, 1932], которую он опубликовал по поводу пункта 5 § 6 моей работы [W. Arkadiew. Zs. F. Phys., 74, 396, 1932], и способ изложения, который может привести к неправильному толкованию.

Совокупность опытных данных для магнитных спектров соответствует нормальному поведению проницаемости в области коротких волн, т. е. уменьшению μ .

13. Возражение на замечание М. Вина к моей статье "О проницаемости при высокой частоте"

[Ann. D. Phys., (5), 13< 636, 1932]

В. К. Аркадьев отмечает, что в ответ на его замечания [W. Arkadiew. Ann. D. Phys., (5), 11, 406, 1931] к работам Михельса [R. Mihels. Ann. D.

Phys., (5), 8, 877, 1931; M. Wien. Ann. D. Phys., (5), 8, 899, 1931] и Вина Вин отчасти согласен с его соображениями. Вин понимает теперь сам преимущество вычисления с комплексной проницаемостью и допускает постоянную электрическую проводимость в поверхностных слоях металлов, которая имеет влияние на сопротивление переменного тока при герцевых волнах. Аркадьев очень сожалеет, что его изложение отчасти наталкивается на возражения Вина, работы которого В. К. всегда очень высоко ценил и обязан ему некоторыми указаниями в исследованиях. В. К. Аркадьев путем скрупулезного анализа замечаний Вина подтверждает результаты своих исследований.

14. Вычисление проницаемости и потерь в ферромагнитной жести при любых частотах

[Phys. Zs. D. Sow. Union, 3, 1, 1933]

В. К. Аркадьев, исходя из дополненных им максвелловских уравнений, строит теорию электрического и магнитного скин-эффекта. Результаты представлены как в аналитическом виде, так и в виде многочисленных графиков и таблиц. В заключение В. К. отмечает, что посредством приведенных здесь кривых решение практических задач можно получить гораздо быстрее, нежели ранее.

15. Два способа вычисления скин-эффекта в ферромагнетиках.

[Из сборника "Практические проблемы электромагнетизма". Изд. АН СССР, 1939, 19-42].

В. К. Аркадьев стоял у начала объяснения физиками скин-эффекта. Он ясно понимал практическое значение учета электротехниками этого эффекта, что хорошо видно, в частности, и из этой работы.

При намагничивании сердечников трансформаторов, дросселей, электромагнитов и их якорей возникновение магнитного потока тормозится образующимися в ферромагнитном металле электрическими вихревыми токами (токами Фуко). Вследствие их образования, как появление, так и исчезновение намагниченности в теле происходит прежде всего в поверхностных слоях тела. Это явление, носящее название кожного действия, или скин-эффекта, имеет большое значение в названных выше приборах. Оно обуславливает, в частности, значительные потери при передаче энергии на расстояние. На одно бесполезное нагревание железа трансформаторов энергетической сети СССР затрачиваются ежегодно десятки миллионов рублей. Большие относительные потери мы несем также в линиях

электропередачи, на которых часто ставят железные провода вместо медных. Электрическое сопротивление железных проводов вообще велико. В 7-8 раз больше медных, а их сопротивление переменному току вследствие скин-эффекта еще в несколько раз больше.

Теория скин-эффекта имеет пятидесятилетнюю давность; ей посвящено очень много исследований. Математически задача скин-эффекта в ферромагнитных металлах (железо, сталь, никель, их сплавы и т. п.) в настоящее время может быть решена, если принять одно из двух условий: 1) магнитная проницаемость магнитного материала не зависит от напряженности поля и 2) магнитная индукция B постоянна и идет крутым фронтом внутрь намагничиваемого тела.

Первое условие осуществляется в обычных материалах в очень узком интервале слабых полей. Второе условие имеет место в сильных магнитных полях, при которых достигается магнитное насыщение вещества.

В. К. Аркадьев детально анализирует (строит теорию) намагничивания пластинки и цилиндра импульсом внешнего магнитного поля, определяет работу намагничивания, разбирает случай намагничивания в постоянном поле, в поле, меняющем знак, в периодическом поле, рассматривает также нагревание в периодическом поле. В заключение В. К. утверждает, что, несмотря на несоответствие исходных положений действительности (модель, положенная в основу теории, слишком проста), результаты теории допускают приемлемое согласование с тем, что имеет место в действительности. Это позволяет надеяться предвычислить основной характер явлений с точностью, достаточной для практических целей; в частности, возможно применение полученных результатов для выяснения влияния скин-эффекта при электромагнитной дефектоскопии рельсов, а также для вычисления силы, нужной для движения электромагнита по рельсам.

16. Полоса дисперсии и скин-эффект в синусоидальном и переходном полях

[ДАН СССР, 16, 35, 1937]

В. К. Аркадьев отмечает, что в непроводящей среде с магнитной вязкостью рост магнитной индукции после мгновенного появления постоянного магнитного поля представляют в зависимости от времени. Полученную кривую сравнивают с дисперсионной полосой консервативной магнитной проницаемости этой среды в синусоидальном поле, построенной в зависимости от периода поля. Кривые обнаруживают сходство, которое сохраняется, если время заменить его логарифмом. При проникновении магнитной индукции в электропроводящее полупространство с магнитной

вязкостью появление индукции внутри задерживается токами Фуко и вязкостью. В. К. предлагает сопоставить кривые роста потока индукции в постоянном поле в зависимости от увеличения времени его действия и в синусоидальном поле в зависимости от увеличения его периода. Магнитные спектры, содержащие полосы магнитной дисперсии, могут быть получены из обеих кривых. Из указанного сходства роста потока вытекает близкое сходство и формул расчета сильного скин-эффекта при намагничивании цилиндра в синусоидальном и переходном полях.

17. Определение частоты и коэффициента затухания по полосе поглощения

[ЖЭТФ, 20, 48, 1950]

В. К. Аркадьев показывает, что при графоаналитическом анализе кривых пассивных спектров дисперсии и поглощения меру затухания колеблющихся центров легче всего получить из кривых поглощения.]

18. Ферромагнитные свойства в миллиметровых волнах

[ЖЭТФ, 24, 501, 1953]

(Это письмо в редакцию написано совместно с К.А. Волковой)

В более ранних работах (В. К. Аркадьев. ЖРФО, ч. Физ., 45, 103, 1913 (см. статью 3 наст. сб.; В. К. Аркадьев. Phys. Zs., 14, 561, 1913.) высказывалось утверждение, что ферромагнитные свойства никеля исчезают при длине волны , а железа при $\lambda < 1$ см. Впоследствии, когда было введено понятие кажущейся проницаемости по сопротивлению μ_R и по индуктивности (В.К. Аркадьев. Zs. F. Phys., 74, 396, 1932) μ_L , можно было более определенно сказать, что полученные в 1913 г. значения проницаемости представляли собой μ_R .

В последнее время в лаборатории В. К. Аркадьева были поставлены опыты по измерению нагревания коротких ферромагнитных резонаторов в виде проволок длиной 1 мм. Проволоки помещались в фокусе вогнутого зеркала, где на них падали волны массового излучателя А.А. Глаголевой-Аркадьевой. Интерферометрические измерения позволили определить длины волн, на которые резонировали резонаторы. Это были волны в 2,4 мм (железо) и 5,3 мм (никель). Одновременно на резонаторы действовало параллельное им магнитное поле напряженностью от 100 до 13500 Э. Для каждого резонатора удавалось подобрать такое поле, в котором он нагре-

вался сильнее всего (температура измерялась термоэлементом). Этот максимум нагревания указывал на максимум μ_R , т. е. на то, что описанный электрический резонатор одновременно резонирует магнитно на магнитное поле возбужденных в нем электрических колебаний. Поэтому авторы назвали его бирезонатором.

Таким образом, железные и никелевые резонаторы указанной длины относятся не безразлично к изменению наложенного магнитного поля. Наоборот, на манганиновые резонаторы той же длины магнитное поле совершенно не действует. Это значит, что ферромагнитные металлы могут намагничиваться в миллиметровых волнах. Таким образом, предел, достигнутый в 1913 г., при помощи наложенного магнитного поля теперь был продвинут авторами письма приблизительно на три октавы.

19. Условия максимума временного магнетизма. (Доложено 18 декабря на V съезде физиков в Москве)

[Журнал прикладной физики, 5, 3, 1928]

Если тело имеет удлиненную форму (например, цилиндр длиной в 100 диаметров) или представляет собой магнитную цепь с ничтожным воздушным промежутком, то остаточное намагничение I_r в таком теле весьма значительно, а временное $I_t = I - I_r$ очень мало. Замыкание и размыкание даже сильного тока лишь очень мало меняет намагничение такого электромагнита. Это происходит оттого, что в телах такого вида слишком ничтожно размагничивающее действие их концов; последнее будет больше в телах короткой формы или в цепях с большим воздушным промежутком. Если, однако, тело слишком коротко или промежуток слишком велик, то, вследствие большого размагничивающего поля концов, затрудняется самое намагничивание. Настоящая работа посвящена решению задачи о наиболее выгодной форме размагничивающегося тела, т. е. выбору такой формы, при которой временный магнетизм при данной силе внешнего поля H есть максимум.

Условия максимума размагничивания были высказаны В. К. Аркадьевым как первое приближение еще в 1913 г. (В. Аркадьев. ЖРФХО, 46, 22, 1914 (см. 22 статью наст. сб.)) и они были подтверждены экспериментально В. С. Волковым в 1922 г. (В. Волков. Труды ГЭЭИ, 6, 1925). Здесь выведены правила значительно более общего значения. Они были проверены В. С. Волковым в 1926 г. (В. Волков. V съезд физиков, стр. 59, 1926) на железных тороидах, разрезанных по радиусу. Испытания производились в интервале полей от 1 до 100 гаусс. Внутри ошибки измерения предложен-

ные здесь графически с методы определения оптимальных условий размагничивания на опыте нашли хорошее подтверждение.

20. Магнитные спектры, вызванные магнитным последствием
[Zs. F. Phys., 72, 116, 1931]

Быстрая часть магнитного последствия, которая называется магнитной вязкостью, продолжается несколько миллионов долей секунды; можно предположить, что она вызывает падение проницаемости в переменном поле при частотах порядка миллиона. Здесь делается попытка показать связь обоих явлений при падении кажущейся проницаемости, которое наблюдается различными авторами.

Какое время необходимо для того, чтобы железо намагнитилось в мгновенно возбужденном поле, или какой необходим период, чтобы его временная намагниченность в быстро исчезающем поле исчезла, — этот вопрос ставил в свое время уже Гельмгольц [Helmholtz. Pogg. Ann., 83, 505, 1851]

Только экспериментальные средства этого столетия дают возможность иметь приближенные измерения этих малых промежутков времени. Гильдмейстер [M. Gildmeister. Ann. D. Phys., 23, 401, 1907] впервые наблюдал эти явления с помощью эдельмановского маятника прерывателя. Введенский [B. Wwedensky. Ann. D. Phys., 64, 609, 1921; 66, 102, 1921] исследовал это на многих сортах проволок и показал, что явление от толстых проволок до проволок толщиной 0,1 мм вызывается вихревыми токами. Тонкие проволоки (0,08 или 0,04 мм диаметром) показывают запаздывание размагничивания, которое объясняется молекулярными свойствами железа. Кривые исчезновения намагниченности дают для времени θ , при котором намагниченность падает до половины, значения порядка от 10^{-7} до 10^{-6} сек, которые зависят от напряженности поля (1 10 Э).

Это явление, которое часто называют магнитным последствием или магнитной вязкостью, можно также обозначить как релаксацию намагниченности. Она должна вызывать в переменном поле такой же силы определенное поведение проницаемости железа. Соответствующий этому период должен соответствовать времени . Нахождение этого особого хода проницаемости и было целью второй работы Введенского [Wwedensky u. K. Theodortschick. Ann. D. Phys., 68, 463, 1922]. Только теперь получены опытные результаты для высокой частоты, которые показывают наличие релаксации намагниченного железа. Малов [Н. н. Малов. Журн. прикладн. физ. 6, 27, 1929; Phys. Ber., 11, 454, 1930; Zs. F. Phys. 71, 30, 1931] в Москве

и Стрэтт [М. I. O. Strutt. Zs. F. Phys., **68**, 632, 1931] в Айндохфе (Eindhove) получили кривые проницаемости железных проволок в области приблизительно от 50 до 150 и 320 м, которые обнаруживают постепенный спад проницаемости в коротких волнах. В настоящей статье В. К. Аркадьев хочет объяснить количественную связь между обоими явлениями.

Он принимает, что намагниченность состоит по крайней мере из четырех частей. Первая часть должна исчезать гораздо быстрее, чем это соответствует постоянной времени θ , эта часть относится к магнитной проницаемости при очень больших частотах (10^9 – 10^{10} пер/сек); третья часть относится к медленному ходу магнитного последействия, которое продолжается в мягких материалах иногда до нескольких секунд; четвертая часть, остаточная намагниченность, вообще не исчезает и не принимает непосредственного участия в релаксации. Поведение второй части представляет цель настоящего рассмотрения.

Факт существования конечного времени релаксации говорит о том, что изменение намагниченности связано с каким-то видом трения. В первом приближении В. К. Аркадьев принимает, что это трение пропорционально скорости изменения; но внутренние силы, которые вызывают уменьшение намагниченности, сами пропорциональны намагниченности:

$$p \frac{dI}{dt} + qI = 0$$

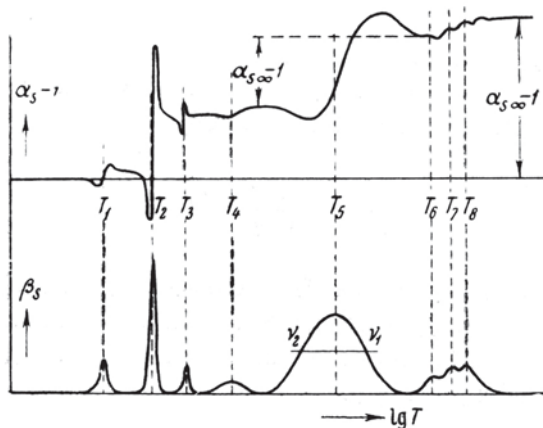
Отсюда следует, что

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau_u}}$$

причем $\tau_u = p/q$ обозначает время, в течение которого временная намагниченность падает до e -той части ее первоначального значения. Хотя полученные Введенским опытные кривые только приблизительно соответствуют этому экспоненциальному закону, мы можем в дальнейшем принять его ради упрощения. Нужно сделать оговорку, что кривые размагничивания, которые известны до сих пор, лежат на диаграмме гистерезиса только с одной стороны от оси абсцисс, в то время как измерения при высокой частоте, если материал хорошо размагничен, соответствуют симметричному ходу.

Изучая (строая теорию) абсорбции электромагнитной энергии, и, кроме того, вычисляя сопротивление переменному току железных проволок, В. К. Аркадьев отмечает огромную роль комплексной проницаемости, особенно образуемого ею максимума, что важно при определении динамических магнитных характеристик в области сантиметровых волн. Максимум сопротивления переменному току является отличительным признаком соб-

ственных колебаний намагниченности. Этот максимум получается в области сантиметровых герцевых волн.



Спектры коэффициентов, введенных в рассмотрение В.К.Аркадьевым (коэффициент а связан с магнитными свойствами вещества, коэффициент b — с электрическими)

В. К. Аркадьев доводит свои теоретические расчеты до формул, которые можно непосредственно использовать для количественной оценки реальных процессов, а также построить по ним графики, составить таблицы, и также использовать при анализе экспериментальных данных

Теории В. К. Аркадьева весьма громоздки: он часто по ходу дела вводит обозначения получающихся комбинаций символов и далее ведет рассуждения уже относительно них, весьма опосредствованно связанных с первоначальными физически ясными величинами, что затрудняет и понимание результатов его теоретического анализа и применение их к интерпретации экспериментального исследования ферромагнетиков.

21. Шум, сопровождающий намагничивание железа.

[ДАН СССР, А, № 18, 277, 1927]

Еще в 1919 г. Баркгаузен нашел, что некоторые образцы железа обнаруживают ступенчатый ход намагничивания, проявляющийся в виде шума в телефоне, соединенном с катушкой, содержащей испытуемый образец.

Так как намагничивание сопровождается деформацией тела (магнитострикция), то можно было ожидать ступенчатых деформаций при намагничивании названных образцов; эти деформации могут сопровождаться акустическими явлениями, наблюдаемыми непосредственно ухом. Действительно, слышать намагничивание оказывается возможным весьма простым способом.

а) Кусок железной проволоки 0,5 мм диаметром и 40 мм длиной припаивают к медной диафрагме, укрепленной в стеклянном стакане. Прикладывая последний к уху, около стакана вращают на закрученной нити подковообразный магнит. При каждом перемагничивании во вращающемся поле магнита и стакане слышится характерное шипение, вполне сходное с баркгаузенским шумом в телефоне, наблюдаемым описанным выше старым способом.

б) Этот шум слышен у вложенной в стакан тонкой железной пластинки в 25-50 мк толщиной (пластинка должна быть совершенно чиста - уже тонкий слой воска заглушает шипение). Он слышен и у толстой пластинки, если к ней приблизить полюсы постоянного неподвижного магнита; проще всего это сделать, вращая магнит около диафрагмы ни с чем не соединенной телефонной трубки.

в) Возможно, что этот шум сказывается и при телефонной передаче, искажая передаваемые звуки. Во всяком случае этот шум обнаруживается при совершенно плавном изменении тока в телефоне.

г) Описанные акустические явления, сопровождающие намагничивание, особенно резки, если намагничивать материалы, обладающие эффектом Баркгаузена в том исполинском масштабе, в котором его обнаружил у никеля Форе [R. Forer. C. R., **108**, 1253, 1394, 1925]. Никелевая проволока в 0,2 мм диаметром, препарированная по Форе, укрепляется одним концом у дна стеклянного стакана, а другим припаивается в натянутом состоянии в отверстии в центре диафрагмы, укрепленной внутри стакана. Во вращающемся магнитном поле никелевая проволока обнаруживает два звонких удара на один период обращения магнита.

д) Если проволока находится в натянутом состоянии, то удары сильнее, так как перемагничивание проволоки в магнитном поле вызывает заметное поперечное смещение (вздрагивание), сопровождающееся большим выделением энергии, чем когда проволока сильно натянута и может только удлиняться и укорачиваться.

е) Такое внезапное изменение пондеромоторных сил в магнитном поле у тел, обладающих эффектом Форе, может быть показано следующим образом. Стеклянный капилляр с никелевой проволокой в 0,47 мм укрепляется на короткой пружинке в горизонтальном положении, под ним немно-

го ниже укрепляется капилляр с железной проволокой или с прокаленной никелевой. Вращающийся над ними подковообразный магнит перемагничивает обе проволоки и периодически притягивает их. Нижний капилляр при этом совершает правильные колебания с периодом переменного поля, а верхний получает толчок при каждом перемагничивании и после этого быстро колеблется с собственным малым периодом. Эти толчки и вызывают описанные в опыте "Г" звонкие удары.

22. Магнитные коэффициенты формы, вещества и тела [ЖРФХО, физ. отд., 46. 22, 1914]

Как известно, намагничивание тела, внесенного в магнитное поле, определяется не только напряжением этого поля и восприимчивостью вещества тела. Причина этого заключается в том, что наведенными на теле свободными магнитными массами создается новое поле, ослабляющее действие внешнего; поэтому магнитная поляризация вещества задается меньшей силой, зависящей от растянутости тела и его положения относительно направления внешнего поля. Настоящая статья представляет собой попытку просто и выразительно показать имеющиеся здесь место законности при помощи введения особых предельных коэффициентов восприимчивости и проницаемости тела, обусловленных исключительно его геометрическими свойствами.

Замечание. Для В. К. Аркадьева характерна образность в восприятии анализируемого им физического явления. При этом он не стеснялся в введении новых понятий, терминов, которые затем использовал в создаваемом им аналитическом описании этого явления. Не все введенные им термины сохранились впоследствии в научной и учебной литературе, что в некоторой степени затрудняет чтение его работ.

Замечание. Для В. К. Аркадьева характерно стремление довести свои теоретические разработки до возможности легко использовать их в практической работе с магнитными материалами. Так, эту статью В. К. Аркадьев заканчивает разделом, в котором дает числовые примеры расчетов магнитных характеристик тел различной конфигурации, указывая условие наиболее выгодной формы тела для аккумуляции магнитной энергии, а также условия наиболее выгодной конструкции соленоидов с железом.

23. Дифракция Френеля [ЖРФХО, физ. отд., 43, вып. 46 1456 1912]

Предлагаемые в настоящем очерке фотографические снимки представляют собой результат применения фотографии к обнаруживанию и фиксированию явлений френелевой дифракции.

Как известно, в общих курсах физики этот отдел бывает почти совсем лишен всяких рисунков и репродукций относящихся сюда явлений.

Указанный пробел учебника не устраняется и на лекции, так как дифракционные явления Френеля почти совсем не поддаются демонстрации в аудитории. При обычных условиях дифракционную картину приходится рассматривать в лупу, почему этот род дифракции часто называется микроскопической. Последнее нередко влечет за собой совершенно ложное представление о ничтожности дифракционных явлений этого вида.

Ввиду сказанного В. К. Аркадьев предложил слушателям Московского городского народного университета Имени А. Л. Шанявского А. С. Беркману, Е. В. Таранову и Н. Н. Яковлеву получить ряд дифракционных снимков, которые могли бы иллюстрировать некоторые наиболее важные моменты истории экспериментального и теоретического изучения этого явления.

Если под явлением дифракции разумеют отклонение света от законов геометрической оптики, имеющее место при несвободном распространении световой волны, встречающей преграду, то ясно, что это явление должно прежде всего обнаруживаться в случаях, когда, при этих условиях, к прямолинейности светового луча предъявляются наивысшие требования.

Дифракция Френеля, как известно, имеет место при простейшем явлении, в основе которого лежит прямолинейное распространение света, именно при образовании тени, повторяющей внешние очертания предмета. Поэтому, подобрав соответствующим образом условия, требующие строгой прямолинейности луча, и в то же время наиболее благоприятные для образования резкой тени, мы, понятно, осуществим расположение опыта, наиболее выгодное для обнаружения интересующего нас явления. Такими условиями здесь, очевидно, является удаление предмета от экрана, на котором получается тень, и уменьшение полутени уменьшением размеров источника света и удалением его от предмета.

Настоящие снимки были получены при расстоянии от экрана до источника света свыше 39 м; источником света служило при этом небольшое отверстие в металлической пластинке, круглое или в виде щели, шириной не более 1,5 мм (угловой диаметр, под которым виден источник света – щель или круглое отверстие – из экрана, вызывающего дифракцию, должен быть меньше углового диаметра ширины интерференционных полос, видимых отсюда же). При опытах с белым светом на отверстие этой диаф-

рагмы проектировались концы углей фонаря переменного тока (30 А), а при фотографировании в монохроматических лучах отверстие диафрагмы ставилось в фокусе зрительной трубы спектроскопа, на щель которого проектировались те же угли.

Выходящие из такого монохроматора лучи встречали на расстоянии a от диафрагмы предмет, от которого получалась дифракционная тень, и далее, на расстоянии b от предмета, лучи падали на фотографическую пластинку, которая ставилась перпендикулярно к ним. Время экспозиции для пластинок средней чувствительности при $a + b = 39$ м обыкновенно было около 3 мин в белом свете и до 10 и 15 в синем ($\lambda = 0,46$ мк).

Рис. 1 представляет собой тень клинообразной щели, образованной прямыми краями двух сложенных пластинок. В этом случае дифракция вызывает крайнее искажение геометрической тени, которая обозначена на снимке пунктирной линией: где просвет уже, там тень шире. В этом случае $a=24,17$ м, $b=15,47$ м, $\lambda = 0,46$ мк. Отверстие диафрагмы и время экспозиции около двух часов.

Были сделаны фотографии дифракции Френеля на объектах различной формы (непрозрачное треугольное тело и отверстие треугольной формы, тело и отверстие в виде параллелограмма, ножницы, карандаш, вязальная спица, конский волос, человеческий волос, кварцевая нить, шуруп). Очень выразительны фотографии, полученные при воспроизводстве опыта Юнга [Th. Young. Philos. Tr., 20, 12, 1802] по дифракции на двух близко расположенных отверстиях, открываемых порознь (рис. 14) и одновременно (рис. 15).

Пятна пары a на рис. 14 получены от отверстий в пластинке, сделанных на расстоянии 19,5 мм одно от другого. На снимках b расстояние между отверстиями было 4 мм; на экране световые пятна немного захватывают друг друга. Так как они были сфотографированы в разное время (отверстия открывались последовательно), то мы имеем здесь простое сложение двух световых воздействий на чувствительный слой; это соответствовало бы сложению колебаний некогерентных лучей. То же относится и к снимку c , где пятна почти покрывают одно другое; в этом случае расстояние между отверстиями было 1,2 мм.

На рис. 15 сняты те же самые пятна, но отверстия в медной пластинке были открыты одновременно; теперь вступает в силу закон, из которого следует, что "свет, прибавленный к свету, может дать не только свет, но также и тьму"; пятна оказываются перерезанными светлыми и темными полосами; они тем шире, чем ближе отверстия к пластинке. Расстояния при этом были: $a = 16$ м, $b = 12$ м. По ширине полос можно определить длину волны света, которая оказалась равной 0,42 мкм.

Экспозиция в белом свете на пластинках средней чувствительности при этом продолжалась 5 мин.

Весьма выразительны и другие опыты, поставленные учениками В. К. Аркадзева.

24. Генератор молний. (Об одном русском изобретении)

[Электричество, № 10, 52, 1940]

Здесь В. К. Аркадьев излагает материалы к вопросу об истории появления схемы, обычно носящей название "генератора молний", или менее правильное название "импульсный генератор".

Впервые она была предложена В. К. Аркадьевым в 1914 г. для получения очень высоких напряжений путем трансформации электроэнергии от обычного электромагнитного трансформатора. В основе работы этой схемы лежит метод, указанный еще Франклином и состоящий в пересоединении ряда заряженных конденсаторов из параллельного расположения в последовательное. В отличие от известного механического приспособления, которое позволяло такое переключение производить с достаточной быстротой, В. К. Аркадьев предложил схему, в которой конденсаторы, соединенные параллельно друг другу с помощью жидких проводников с большим сопротивлением, заряжаются от источника постоянного напряжения. По мере заряжения конденсаторов происходит последовательный во времени пробой разрядников, соединяющих конденсаторы последовательно друг с другом (при этом они остаются соединенными и параллельно, но проводниками с большим сопротивлением). Ряд последовательных искр, доходя до последнего конденсатора, повышает его потенциал до максимума. При разряде получившейся цепочки конденсаторов образуется большая искра, разряжающая всю батарею. Длина этой искры достигала 15 см. В. К. Аркадьев назвал этот прибор искровым конденсаторным трансформатором. Он был построен и опробован в 1914 г. в физической лаборатории университета им. Шанявского в Москве. В. К. Аркадьев отмечает, что претензии некоторых иностранных ученых присвоить себе первенство в изобретении искрового трансформатора неосновательны.

25. Возбуждение незатухающих электрических колебаний сверхвысокой частоты

[Электричество, № 3, 4, 1947]

В этой статье В. К. Аркадьев делает обзор работ, в которых описыва-

ются устройства для генерации коротких волн, и констатирует, что советские работы держат лидерство в деле изучения магнитных свойств материалов в области самых коротких электрических волн. Он отмечает также, что за границей к вопросу получения и использования кратчайших радиоволн проявляется большой интерес. Об этом свидетельствует, в частности, ряд запросов, поступающих из-за границы, о деталях устройства наших приборов, и те иностранные работы, в которых используются наши конструкции и методы генерирования кратчайших волн. Это следует также из той интерпретации магнитных явлений в переменных полях сверхвысокой частоты, которая теперь является общепринятой и которая принадлежит советским авторам. При этом он имел в виду открытое им различие между действительной и мнимой проницаемостями, объяснение причины убывания магнитных свойств при увеличении частоты переменного магнитного поля в доменах и пр. (В. К. Аркадьев. "Электричество", № 3, 1939).

Вывод, который вытекает из сказанного: необходимо широко изучать методы получения и использования незатухающих кратчайших радиоволн, привлекая для этого открытые у нас методы их генерирования.

26. О силах, действующих на диамагнитные тела

[ДАН СССР, 47, 18, 1945]

В. К. Аркадьев отмечает, что еще П. Н. Лебедев в 1911 г. [П. Н. Лебедев. ЖРФХО, ч. Физ., **43**, 125, 1911; Phys. Zs., **13**, 324, 1912] указал принцип абсолютного астазирования подвижной магнитной системы. Его прием состоял в присоединении к парамагнитному подвесу диамагнитных частей. Применяя сильно диамагнитные тела, каковыми являются сверхпроводники, можно при небольшом магнитном поле иметь подвес с большой подъемной силой. Обертывая задачу, можно заставить над сверхпроводником парить магнит. Сверхпроводник рассматривают как тело с магнитной проницаемостью $\mu = 0$. Ни одна линия магнитной индукции не входит в сверхпроводящую пластинку. Это значит, что вблизи пластинки линии магнитного потока магнита деформируются так, что их границей является поверхность пластинки, т. е. плоскость. Это может быть только тогда, когда в поверхности пластинки получается магнитное изображение магнита, в точности и во всех отношениях ему равное и симметрично с ним расположенное относительно поверхности. При этом силовой поток магнита оказывается односторонне сжатым. Вследствие этого сверхпроводящая пластинка должна действовать отталкивающим образом на всякий магнит. Когда эта сила отталкивания равна весу магнита, то он парит над пластинкой.

В.К. Аркадьев показывает, в частности, что атомы серебра опыта Штерна и Герлаха при медленном падении на сверхпроводящую поверхность и достаточно низкой температуре не будут садиться. Они должны парить на высоте порядка сотой доли микрона. При этом поле у поверхности сверхпроводника – всего сотые доли эрстеда.

Явление будет проще всего, если поле магнита $\vec{I}$ около пластинки не превосходит критического поля сверхпроводника $\vec{I}_{кр}$. Для оценки поля $\vec{I}$ были произведены опыты с двумя нифералиевыми магнитами; один магнит при помощи направляющих удерживался над другим, который играл роль изображения, находящегося под горизонтальной поверхностью сверхпроводника. Такие опыты нам показали, что магнит весом ρ от 1 до 8 г и длиной от 1,5 до 3 см держится над другим таким же магнитом на расстоянии их осей около 1 см, независимо от размера. Максимальное значение поля H в середине, когда магниты сближены, т. е. когда магнит лежит на поверхности сверхпроводника, равно 111-157 Э. При парении напряженность поля будет меньше. Мы видим, что это поле значительно меньше критического поля свинца, которое достигает 700 Э при 2,7 К.

Описанные явления возможны благодаря тому, что магнитное поле изображения заметно не размагничивает самый магнит. Для этого он должен обладать достаточной коэрцитивной силой. Нс.

Вертикально стоящий длинный прямой магнит может быть использован для парения зонтикообразной оболочки из сверхпроводника.

Описанные здесь соображения о парении магнитов, впервые доложенные 12 декабря 1944 г. на конференции Московского государственного университета "Современные проблемы науки", по просьбе В.К. Аркадьева были осуществлены на опыте в Институте физических проблем Академии наук в Москве в январе 1945 г. Намагниченный нифералиевый брусочек квадратного сечения 4×4 мм и длиной 1 см был брошен на вогнутый свинцовый диск диаметром около 4 см, находившийся на дне сосуда Дьюара с жидким гелием. Совершив несколько упругих прыжков по вертикали, магнит после ряда сложных быстрых колебательных движений установился в горизонтальном положении над свинцом на высоте многих миллиметров. Когда, после испарения гелия, температура свинца поднялась и он потерял сверхпроводимость, магнит спокойно лег на диск.

Парение над сверхпроводящей поверхностью магнитов малого размера может быть применено к изучению сверхпроводящих вкраплений в металле при низких (а может быть и при не очень низких!) температурах. Микроскопические магнетики будут скатываться в части с обычной проводимостью. Методика такого наблюдения будет сходна с методикой получения так называемых биттеровских фигур при помощи эмульсий из маг-

нтных порошков. Соответствующий критерий позволит отличать магнитные домены от доменов сверхпроводимости.

27. Химическое фиксирование на бумаге изображений, полученных от электрических волн

[Zs. F. Phys., 92, 194, 1934; см. также ЖЭТФ, 7, 87, 1937]

Посредством этого метода можно химически фиксировать на белой бумаге присутствие высокочастотного электрического поля, а также след от падающих или проходящих электромагнитных волн, не применяя при этом гальванометра, термоэлементов или какого-нибудь другого аппарата. Метод состоит в применении одного вида детектора в форме короткого когерера, который имеет электроды из различных металлов. Когерер лежит на листе бумаги и касается ее в двух точках. Бумага пропитана чувствительным к току индикатором, который изменяет свою окраску вследствие электролиза при падении волн на детектор. Электроды когерера могут быть из одинакового материала, но при этом необходимо, чтобы через бумагу пропускали ток от отдельной батареи. Если расположить на одном листе бумаги большое число таких детекторов, длиной примерно 1 см, то получают на бумаге после падения волн след от падения или прохождения потока в форме цветных пятен. Этот метод заменяет в оптике герцевых волн фотографию в области света.

28. Видение и фотографирование поля герцевых волн.

[ДАН СССР, 28, 316, 1940]

В. К. Аркадьев, Д. И. Пеннер

(Эта статья от имени автора представляет метод фотографирования электромагнитных волн.)

В 1934 г. В. К. Аркадьевым было показано, что методика фотографии может быть перенесена в область герцевых волн. Это значило, что и в этой области электромагнитного спектра возможна автоматическая химическая регистрация радиации на плоскости. Как известно, до этого времени исследование герцевых волн осуществлялось лишь путем последовательного прощупывания поля волны с помощью термоэлемента, болометра, или реже радиометра.

Так как изображения, наименее размытые вследствие дифракции, возможно получать при наиболее коротких волнах, то для опытов были выб-

раны герцевы волны наименьшей длины, но обладающие еще достаточной мощностью, именно сантиметровые волны.

Осуществленный В. К. Аркадьевым метод (названный им стиктографией) позволяет фиксировать след прохождения электрических волн через бумагу, пропитанную специальными химическими реактивами. Через такую химическую чувствительную бумагу пропускают постоянный электрический ток и покрывают ее когерерами. Последние представляют собой стеклянные трубочки, закрытые с обеих сторон металлическими электродами, каждый из которых своими концами (шляпками) касается бумаги. Промежуток между внутренними поверхностями электродов до некоторой высоты заполнен мелкими оксидированными металлическими опилками. Под действием электромагнитных волн когереры, будучи расположены параллельно электрическому вектору, пробиваются, т. е. их сопротивление падает с R_1 значения порядка мегомов до значения R_2 порядка тысяч омов и меньше. В силу этого ток, проходящий через бумагу, начинает ответвляться в когереры и тогда под шляпками когереров вследствие электролиза появляются окрашенные пятна – электролитически зафиксированные следы поля.

Путем многократного наложения когереров (соединенных по несколько десятков в одно клише) можно получить более или менее точное отображение проходящих электрических волн, изучить распределение напряженности поля и т. д.

Работами Лаборатории им. Максвелла Научно-исследовательского института физики Московского государственного университета этот метод был усовершенствован и применен для получения снимков герцевого вибратора [В. К. Аркадьев и А. М. Морозова. Док. АН СССР, 1, 277, 1936], интерференционных картин и т. д.

Задача фиксации электрических волн решалась бы много проще с помощью металлических частиц, если бы под действием этих волн происходило искрение между частицами и таким образом последние превратились бы в источники света.

Встряхиванием определбленной силы, очевидно, можно достигнуть того, чтобы расстояния между частицами, непрерывно меняясь, достаточно часто принимали значения, наиболее благоприятные для образования искр. При использовании частиц с относительной длиной >1 в результате такого встряхивания мы будем достаточно часто наблюдать случаи наиболее благоприятной ориентации частиц относительно электрического вектора волны (близость к параллельности). Вероятность одновременного осуществления обоих независимых событий (наивыгоднейшего искрового промежутка и наивыгоднейшей ориентации) будет, очевидно, для каж-

дого момента времени не особенно велика и поэтому для получения большого числа таких совпадений потребуется достаточно длительная экспозиция.

В отличие от стиктографии, где чувствительное зерно представляет собой когерент с прилегающим участком химической бумаги, в данном случае чувствительным зерном является пара частиц и участок фотоэмульсии.

Такой метод фиксации электрических волн был задуман В. К. Аркадьевым еще в 1933 г.; его удалось практически осуществить в результате длительных наблюдений, поставленных в 1939-1940 гг. Д. И. Пеннером. С помощью встряхиваемых частиц оказывается возможным даже визуально фиксировать сантиметровые герцевы волны в виде значительного числа искр, следующих за каждым ударом встряхивателя. Хорошо адаптированный на темноту глаз может, например, при помощи такого метода сразу определить область попадания волн, светящуюся искрами разных интенсивностей. Помещая частицы на фотопластинке или же фотопленке, можно просто и быстро сфотографировать источник герцевых волн.

Любопытную картину представляет металлический порошок (испытывались Al, Ni и Cu). Под действием волн хорошо адаптированный на темноту глаз замечает очень слабое свечение всей массы порошка, подвергаемой действию волн. При этом слой его должен иметь очень малую толщину.

Герцевский вибратор был приготовлен искровым способом. Герцевы лучи с помощью металлического зеркала собирались на фотопластинке. При фотографировании были использованы частицы длиной около 8 мм. То же получается и с помощью парафиновых линз диаметром 40 см при общем расстоянии между вибратором и пластинкой порядка полутора метров.

Если использовать частицы меньше 1 мм, то видно наличие определенных нюансов в виде более темных точек в центре и более слабых по краям дифракционного пятна.

Полученные снимки представляли собой следы искр, плотность которых на 1 см² можно произвольно умножить путем увеличения числа встряхиваний (иными словами, длительности экспозиций). Вполне удовлетворительные снимки получаются уже при относительно малых экспозициях (меньше одной минуты).

По внешнему виду эти "искровые" снимки представляют собой сочетание черточек и точек и напоминают снимки, выполненные когерентным способом; поэтому новый способ можно бы назвать "искровой стиктографией".

Основное достоинство нового метода заключается в его простоте, что, возможно, обеспечит ему определенное место в лабораторной и учеб-

ной практике. Практическое значение предлагаемого метода предугадывать еще рано. Несомненно, однако, что, позволяя "видеть" герцевы лучи так же, как мы "видим" на флуоресцирующем экране рентгеновы лучи, он приближает нас к новому практическому использованию герцевых волн в различных областях науки и техники.

Литература

1. Б. А. Введенский и Н. Н. Малов. О научном значении работ В.К. Аркадьева. В кн. В. К. Аркадьев. Избранные труды. М. 1961.

Библиография трудов В. К. Аркадьева

Научные публикации В. К. Аркадьева

1. Магнитные свойства железа и никеля при быстрых электрических колебаниях. - В кн.: Дневник Второго Менделеевского съезда по общей и прикладной химии и физике в С.-Петербурге с 21 по 28 декабря, 1911 г. № 7. СПб., Распоряд. Ком. Съезда, 1911, стр. 7-8.

2. Поглощение электрических волн в параллельных проволоках. - ЖРФХО, физ. отд., 44, вып. 4, 165-200, 1912

3. Отражение электрических волн от проволок. - ЖРФХО, физ. отд., 45, вып. 2, 46-60, 1913.

4. Ферромагнитные свойства металлов как функция длины волны. ЖРФХО, физ. отд., 45, вып. 3, 103-108, 1913.

5. Теория электромагнитного поля в ферромагнитном металле. ЖРФХО, физ. отд., 45, вып. 6, 312-345, 1913.

6. Das Verschwinden der ferromagnetischen Eigenschaften bei den kurzesten elektrischen Wellen. (Исчезновение ферромагнитных свойств при кратчайших электрических волнах). - Phys. Zs., 14, № 13, 561-562, 1913.

7. Eine Theorie des elektromagnetischen Feldes in den ferromagnetischen Metallen. (Теория электромагнитного поля в ферромагнитных металлах). Phys. Zs., 14, № 19, 928-934, 1913.

8. Магнитные коэффициенты формы, вещества и тела. - ЖРФХО, физ. отд., 46, вып. 1, 22-42.

9. Über die Reflexion elektro magnetischer Wellen an Drahten. Об отражении электромагнитных волн от проволок). - Ann. D. Phys., 4, Folge, 45, H. 17, 133-146, 1914.

10. Über die Absorption elektrovagnetischer Wellen an zwei parallelen Drahten. (О поглощении электромагнитных волн в двух параллельных проволоках). Ann. D. Phys., 4 Folge, 58, H. 2, 105-138, 1919.

11. Теория намагничивания тела в постоянном и переменном полях и ее приложение к практическим вопросам электротехники. - Телегр. и телефон без пров., № 7, 135-182, 1920.

12. Die Theorie des elektromagnetischen Feldes in ferromagnetischen Metallen und die Berechnungen von R. Gans. [Теория электромагнитного поля в ферромагнитных металлах и вычисления Р. Ганса]. Ann. D. Phys., 65, H. 15, 643-656, 1921.

13. Erklärungen zu der Arbeit von R. Gans "Die Permeabilität des Nickels für kurze Hertz'sche Wellen und die Messungen von Arkadiew" [Разъяснения к

работе Р. Ганса "Проницаемость никеля для коротких волн Герца и измерения Аркадьева". - Ann. D. Phys., F. 4, 66, H. 18, 130-132. 1921.

14. Das Spektrum der magnetischen Permeabilität des Eisens in dem Bereiche der Wellenlängen von 1 cm bis 1 km. [Спектр магнитной проницаемости железа в области длины волны 1 см - 1 км]. Phys. Zs., 22, № 18, 511-513, 1921.

15. Получение слабозатухающих коротких герцевых волн. [Реферат]. - В кн.: Сообщения о научно-технических работах в Республике. Вып. 9. Пг., НХТИ, 1922, стр. 12.

16. О процессе возбуждения искрой быстрых электрических колебаний и об абсолютном измерении их амплитуды. [Реферат]. - Там же, стр. 12-13.

17. Зависимость проницаемости железа и никеля от периода и силы магнитного поля при медленных и очень быстрых электрических колебаниях. [Реферат]. - Там же, стр. 13.

18. Über die Herstellung von schwachgedämpften kurzen Hertzschen Wellen. Versuche von B. Miltntz. [О получении слабозатухающих коротких герцевых волн. Опыты Б. Миленца]. Phys. Zs., 23, № 2, 35-36, 1922.

19. Berichtigung zu der Arbeit von A. Leontiewa "Über die entladungspotentiale für schnelle elektrische Schwingungen". Phys. Zs., 23, 35, 1922. [Поправка к статье А. Леонтьевой "О разрядных потенциалах при быстрых электрических колебаниях"]. - Phys. Zs., 23, № 7, 159, 1922.

20. Magnetische Spektren von Eisen- und Nickeldrähten für zentimeterlange Hertzsche Wellen/ [Магнитные спектры железных и никелевых проволок для волн Герца сантиметровой длины]. - Zs. f. Phys., 28, H. 1, 11-28, 1924.

21. Reflexion elektromagnetischer Wellen an Hertzschen Gittern. [Отражение электромагнитных волн от герцевых решеток]. Ann. D. Phys., F. 4, 75, H. 20, 426-434, 1924.

22. Магнитные спектры железных и никелевых проволок в области сантиметровых герцевых волн. - ЖРФХО, ч. физ., 57, вып. 3-4, 241- 258, 1925.

23. О процессе возбуждения искрой быстрых герцевых колебаний и об абсолютном измерении их амплитуды. - В кн.: Исследования по электромагнетизму. Под ред. В. К. Аркадьева. М., НТО ВСНХ, 1925, стр. 130-141, (ТР. ГЭЭИ, вып. 6).

24. Зависимость проницаемости железа и никеля от периода и силы магнитного поля при медленных и очень быстрых электрических колебаниях. - стр. 142- 154. В кн.: Исследования по электромагнетизму. Под ред. В. К. Аркадьева. М., НТО ВСНХ, 1925, стр. 142-154, (ТР. ГЭЭИ, вып. 6).

25. Искровой конденсаторный трансформатор. - В кн.: Исследования

полю электромагнетизму. Под ред. В. К. Аркадьева. М., НТО ВСНХ, 1925, стр. 155-158, (ТР. ГЭЭИ, вып. 6).

26. Отражение электромагнитных волн от магнитной среды.- ЖРФХО, ч. физ., 58, вып. 2, 149-157, 1926.

27. Магнитные спектры отражения.- Там же, стр. 159-173.

28. О затухании малых герцевых вибраторов.- Там же, стр. 175-180 [Совместно с А. А. Леонтьевой].

29. О решетках Герца.- В кн.: Исследования по электромагнетизму. 2. Под ред. В. К. Аркадьева. М., НТО ВСНХ, 1926, стр. 5-13. (ТР. ГЭЭИ, вып. 15).

30. О затухании малых вибраторов Герца.- Там же, стр. 52-62. [Совместно с А. А. Леонтьевой].

31. О расчете железных проводов для переменного тока.- Там же, стр. 70-79.

32. О максимуме размагничивания. [Реферат доклада].- В кн.: V Съезд русских физиков. (Москва, 15-20 декабря 1926 г.). М.-Л., Гос. Изд., 1926, стр. 59-60.

33. Об излучении малых вибраторов Герца. [Реферат доклада]. Там же, стр. 61.

34. Über die Dämpfung von kleinen Hertzschen Vibratoren. [О затухании малых герцевых вибраторов].- Zs. f. Phys., 38, Н. 9-10, 706-715, 1926. [Совместно с А. А. Леонтьевой].

35. Die Reflection elektromagnetischen Wellen an ferromagnetischen Oberflächen. [Отражение электромагнитных волн от ферромагнитных поверхностей]. Zs. f. Phys., 38, Н. 11-12, 908-919, 1926.

36. Die Reflection Hertzschen Wellen an ferromagnetischen Drahtgittern. [Отражение герцевых волн от ферромагнитных проволочных решеток].- Ann. D. Phys., F. 4, 81, Н. 23, 649-665, 1926.

37. Les oscillations et la resonance des aimants elementaires. [Колебания и резонанс элементарных магнитов]. C. R. Acad. Sci. Paris, 183. № 10. 777-779. 1926.

38. Die Löslichkeit des Chlors in Wasser.- J. D. Russ. Phys.-chem. Ges., chem. Tl., 50, 205, 1918. Автореферат.- Phys. Ber. 7, Н. 20, 1614, 1926.

39. Колебания и резонанс элементарных магнитов.- Докл., АН СССР, А, № 1, 12-16, 1927.

40. Шум, сопровождающий намагничивание железа.- Докл. АН СССР, А, № 18, 277-278, 1927.

41. Звучание железа при намагничивании.- Электричество, № 8, 255-256, 1927.

42. Die elektromagnetische Spektroskopie der Metalle. [Электромагнит-

ная спектроскопия металлов].-O.D.Chwolson. Die Physik. 1914-1926. Braunschweig, Vieweg. 1927, 646-680, стр. 679-680.

43.Bruissement dans l'aimantation du fer. [Шум, сопровождающий намагничивание железа]. - C. R. Acad. Sci. Paris, 184, № 21, 1233-1234, 1927.

44.Теоретические основания конструкции, действия и эксплуатация аппаратов дАрсонваля для автоиндукции.- Физиотерапия, 2, № 2, 98-112, 1928.

45.Условия максимума временного магнетизма.- Ж. прикл. физ., 5, вып. 2, 3-12, 1928.

46.Границы распределения полос в магнитных спектрах.- В кн.: VI Съезд русских физиков. Москва, Нижний-Новгород, Казань, Саратов (5-16 августа 1928 г.). Перечень докладов, представленных на съезд, с кратким их содержанием. М., Гос. Изд., 1928.

47.Вычисление электрического сопротивления и магнитной проницаемости металлических проводов и тросов в переменном поле.- Вестн. электротехн., № 5, разд. 3, 77-79, 1930.

48.Uber die Berechnung der magnetischen Permeabilitat von Drahten und uber eine Entstehungsache scheinbarer Banden in magnetischen Spektren. [О расчете магнитной проницаемости проволок и о причинах возникновения кажущихся полос в магнитных спектрах].- Zs. f. Phys., 74, Н. 5-6, 396-417, 1932.

49.Was ist das anomale Verhalten der Permeabilitat bei Hochfrequenz? [Что такое аномальная проницаемость при высокой частоте?]-Zs. f. Phys., 79, Н. 7-8, 558-561, 1932.

50.Erwidung auf die Bemerkungen des Herrn M. Wien zu meinem Aufsatz "Uber die Permeabilitat bei Hochfrequenz". [Возражение на замечания г. Вина к моей статье "О проницаемости при высокой частоте"].- Ann. D. Phys., F. 5, 13, Н. 5, 636-640, 1932.

51.Berechnung der Permeabilinan und der Verluste in ferrjmagnetischen Blechen bei beliebiger Frequenz. [Расчет проницаемости и потерь в ферромагнитной жести при любой частоте].- Phys. Zs. Sowjet., 3, Н. 1, 1-28, 1933.

52.Kurven zur Berechnung der Permeabilitat und der Verluste im Blech. [Кривые для расчета проницаемости и потерь в листовом железе]. - Elektr. Nachr. Techn. 10, Н. 5, 220-222, 1933.

53.On the permeability of iron at ultra-radiofrequencies. [О проницаемости железа при ультра-радиочастотах]. - Phys. Rev., 43, # 8, 671-672, 1933.

54.Квазихимическое действие герцевых волн и его применение.- Докл. АН СССР. 3, № 6, 412-413, 1934.

55.То же на немецком языке.- Там же, стр. 413-414.

56.Фотографирование лучами Герца.- В кн.: Тезисы докладов на Декабрьской сессии Академии наук СССР. Л., АН СССР, 1934, стр. 4.

57.Chemische Fixierung auf Papier der von elektrischen Wellen gegebenen Abbildungen. [Химическое фиксирование на бумаге изображений, получаемых от электрических волн].-Zs. f. Phys., 92, Н. 3-4, 194-203, 1934.

58.Photography by short electrical waves.- [Фотографирование короткими электрическими волнами]. Phys. Zs. Sowjet., 6, Н. 3, 327, 1934.

59.La diffraction des ondes elektriques enregistree chimiquement. [Химически зарегистрированная дифракция электрических волн].- С. R. Acad. Sci. Paris, 1934, 199, № 18, 848-849, 1934.

60.Электромагнитные процессы в металлах. Ч. 1. Постоянное электрическое и магнитное поле. М.-Л., Энергоиздат, 1934.

61.Магнитные и электрические спектры в высокой частоте. Докл. АН СССР, 2, № 3-4, 204-206, 1935.

62.То же на нем. яз.-Там же, стр. 207-208.

63.Пат.: Способ регистрации электрических колебаний ультравысокой частоты. № 44031. Кл. 42 d. I. Заяв. свид. № 147004. Заявлен 6/V 1934 г. Опубл. 1935 г.

64.Фотографирование изображения герцева диполя.- Докл. АН СССР, 1, № 7, 277-279, 1936. [Совместно с А. М. Морозовой].

65.То же на франц. Яз.- С. R. Acad. Sci. URSS, 1, № 7, 289-291, 1936.

66.Kontinuierliches magnetisches Soektrum des Transformatorblexches in Tonfrequenz. [Сплошной магнитный спектр трансформаторной жести в звуковой частоте].- Zs. f. Phys., 101, Н. 7-8, 527-532, 1936.

67.L'analyse des courbes dynamiques de la permeabilite magnetique et des pertes dans le fer. [Анализ динамических кривых магнитной проницаемости и потерь в железе].- G. R. Acad. Sci. Paris, 202, № 1, 39-41, 1936.

68.La relation magnetodynamique entre les pertes visqueuses et la permeabilite dans les champs tres faibles. [Магнетодинамическое соотношение между вязкими потерями и проницаемостью в очень слабых полях].- С. R. Acad. Sci. Paris, 202, № 22, 1840-1841, 1936.

69.Сплошной магнитный спектр трансформаторной жести в звуковой частоте.- Изв. АН СССР, ОТН, № 1, 71-77, 1937.

70.О развитии теоретических основ дефектоскопии.- Изв. АН СССР, ОТН, № 2, 233-240, 1937.

71.Полоса дисперсии и скин-эффект в синусоидальном и переходном полях.- Докл. АН СССР, 16, № 1, 35-40, 1937.

72.То же на франц. яз.- С. R. Acad. Sci. URSS, 16, № 1, 35-40, 1937.

73.Фиксация на бумаге электрических волн и ее теоретические основы.- Ж. эксп. и теор. физ., 7, вып. 1, 87-137.

74.Свойства детекторов для химического фиксирования высокочастотных электрических полей на бумаге.- Там же, стр. 107-113. [Совместно с Э. Г. Чернявской].

75.Непериодические электромагнитные процессы в среде с магнитной вязкостью.- Там же, стр. 131-137.

76.Uber die stikto graphische Fixierung elektrischer Stralen auf Papier. [О стиктографическом фиксировании электрических лучей на бумаге].- Internationaler Kongress fur Kurzwellen in Physik, Biologie und Medizin. Wien, 1937. Referate und Mitteilungen. Wien u. Leipzig, Perles, 1937, S. 167-170.

77.Непрерывные пассивные спектры.- Изв. АН СССР, ОТН, № 2, 55-70, 1938. [Совместно с О. И. Велецкой].

78.К вопросу об изготовлении сплавов с особыми физическими свойствами.- Изв. АН СССР, ОТН, № 8-9, 93-99, 1938.

79.Вычисление сопротивления и индуктивности железных проволок при переменном токе.- Там же, стр. 55-59. [Совместно с Э. Г. Чернявской].

80.Проникание магнитного потока в пластинку жести с магнитной вязкостью.- Там же, стр. 109-116.

81.Видение и фотографирование поля герцевых волн.- Докл. АН СССР, 28, № 4, 316-318, 1940. [Совместно с Д. И. Пеннером].

82.То же на нем. яз.- С. R. Acad. Sci. URSS, 28, № 4, 315-317, 1940.

83.Кривые дисперсии полупроводников по теории Максвелла.- Докл. АН СССР, 34, № 2, 64-68, 1942.

84.То же на англ. Яз.- С. R. Acad. Sci. URSS, 34, № 2, 58-61, 1942.

85.Простой способ вычисления комплексной проницаемости.- Докл. АН СССР, 38, № 1, 17, 1943. [Совместно с К. М. Поливановым].

86.То же на англ. яз.- С. R. Acad. Sci. URSS, 38? № 1, 14, 1943.

87.Элементарный скин-эффект.- Докл. АН СССР, 41, № 2, 67-70, 1943.

88.То же на англ. яз.- С. R. Acad. Sci. URSS, 41, № 2, 63-66, 1943.

89.Дисперсия, нормальная абсорбция и отражательная способность полупроводников.- Ж. эксп. и теор. физ., 13, вып. 9-10, 335-352, 1943.

90.Магнитные свойства как функции частоты магнитного поля.- Ж. техн. физ., 13, вып. 6, 324-330, 1943.

91.О кажущемся размагничивании.- Докл. АН СССР, 43, № 1, 10-13, 1944. [Совместно с Л. А. Юровским].

92.То же на англ. яз.- С. R. Acad. Sci. URSS, 43, № 1, 10-13, 1944.

93.О силах, действующих на диамагнитные тела.- Докл. АН СССР, 47, № 1, 18-21, 1945.

94.То же на англ. яз.- С. R. Acad. Sci. URSS, 47, № 1, 19-21, 1945. Спектр электромагнитных волн в год открытия радио.- Электричество, № 5, 33-35, 1945.

95. Magnetic spectra of diverse materials at various frequencies. [Магнитный спектр различных материалов при различных частотах].- J. of Phys., 9, № 5, 373-378, 1945.

96. Избранные труды. (Отв. ред. чл.-корр. АН СССР С. В. Вонсовский. Вступит. Статья Б. А. Введенского. М., Изд-во Акад. наук СССР, 1961).

Научно-методические публикации В. К. Аркадьева

1. Самодельные физические приборы на выставке для слушателей летних лекций. - Русск. Вед., 1910, 22/VI, № 141.

2. О демонстрации явлений дифракции. - в кн.: Дневник Второго Менделеевского съезда по общей и прикладной химии и физике в С.-Петербурге с 21 по 28 декабря, 1911 г. № 6. СПб., Распоряд. Ком. Съезда, 1911, с. 3.

3. Дифракция Френеля. ЖРФХО, физ. отд., 43, вып. 4, 145-153, 1912.

4. Die Fresnelschen Beugungserscheinungen. (Явления дифракции Френеля). Phys. Zs., 14, № 17, 832-835, 1913.

5. Динамометр для измерения кинетической энергии. - Вопр. физ., вып. 4, 126-129, 1914.

6. Измерение абсолютной амплитуды электрических колебаний. - В кн.: труды III Съезда Российской ассоциации физиков в Нижнем Новгороде (17-21 сентября 1922 г.). Н.-Новгород, тип. Нижегород. Радиолаб., 1923.

7. Электромагнитные процессы в металлах. Ч. 2. Электромагнитное поле. Применение теории Максвелла к рациональному использованию металлов в электротехнике. М.-Л., Энергоиздат, 1936.

8. Прикладной магнетизм. Программа. М., МГУ, 1936.

9. Два способа вычисления скин-эффекта в ферромагнетиках. - В кн.: Практические проблемы электромагнетизма. Отв. Ред. В. К. Аркадьев. М.-Л., АН СССР, 1939.

Работы В. К. Аркадьева оборонной тематики

1. Научно-технические основы газовой борьбы. Лекции читанные инструкторам по газовой обороне. Изд. 1. М., Гл. ком. Всерос. зем. и гор. союзов по снабж. армии, 1915.

2. Научно-технические основы газовой борьбы. Лекции читанные инструкторам по газовой обороне. Изд. 2. М., тип. т-ва Рябушинских, 1915.

3. Научно-технические основы газовой борьбы. Лекции читанные инструкторам по газовой обороне. Изд. 3. М., тип. т-ва Рябушинских, 1916.

4. Инструкция к полевому ветрометру упрощенного типа В. К. Аркадьева. Изд. 1. М., Газ. Секция Гл. ком. Всерос. Зем. И гор. Союзов по снабж.

армии, 1916.

5. О работе на оборону физического кабинета и лаборатории Московских педагогических курсов им. Тихомирова.- В кн.: Московские женские педагогические курсы им. Д. И. Тихомирова при Обществе воспитательниц и учительниц. Отчет 1915 г. М., типо-лит. Рихтера, 1916, стр. 60-62.

6. Научно-технические основы газовой борьбы. Лекции читанные инструкторам по газовой обороне. Изд. 4, значит. Измен. И доп. М., типо-лит. Русск. Т-ва печат. И изд. Дела, 1917, 257 стр.

7. Инструкция к полевому ветрометру В. К. Аркадьева. Изд. 2. М., Газ. Секц. Гл. ком. Всерос. зем. и гор. союзов по снабж. армии, 1917, 7 стр.

8. Испытание респираторов в Физико-химической лаборатории Земгора. - Изв. Физ.-хим. Лаб., вып. 1, 7-18, 1918.

9. О применении распылителей в борьбе с удушливыми газами. Механическая сторона действия распылителей. Там же, стр. 19-26.

10. О преподавании теоретических основ применения газов на войне. - Там же, стр. 49-69.

11. Некоторые способы испытания противогазовых материалов и приборов. - Там же, стр. 70-73. (Совместно с Г. С. Ландсбергом).

12. Об анемометре с доской и о значении его показаний. - Изв. Физ.-хим. Лаб., вып. 2, 79-91, 1917.

13. Упрощенный способ определения коэффициента диффузии газов. - Там же, стр. 97-101.

14. Дифференциальные весы для определения убыли угля в респираторной коробке. - Там же, стр. 133-138.

15. Реометрический штупер для внутривенных вливаний кислорода. - Там же, стр. 139-141.

16. Растворимость хлора в воде. - ЖРФХО, ч. хим., 50, вып. 3-4, 205-209, 1918.

17. Приборы для измерения скорости течения газов (реометры). - Там же, стр. 210-220.

18. Получение дыма для наблюдения движения воздуха при аэродинамических исследованиях. - ЖРФХО, физ. отд., 50, вып. 1, 50-52, 1919.

19. Упрощенный способ определения коэффициента диффузии газов. - Там же, стр. 52-56.

20. К вопросу об уничтожении вредителей сельского хозяйства при помощи ядовитых газов. - Научно-техн. вест., 1, № 1, 31-37, 1920.

21. Научно-технические основы газовой борьбы. Лекции читанные инструкторам по газовой обороне. Изд. 1. М., Гл. ком. Всерос. зем. и гор. союзов по снабж. армии, 1915.

22. Научно-технические основы газовой борьбы. Лекции читанные инструкторам по газовой обороне. Изд. 2. М., тип. т-ва Рябушинских, 1915.

В. К. Аркадьев – организатор науки

1. Исследование магнитных процессов в железе. (Реферат).- В кн.: Сообщения о научно-технических работах в Республике. Январь-февраль. М., НТО ВСНХ, 1920, стр. 5-6. (Совместно с Б. А. Введенским и Л. Г. Зиловым).

2. Магнетизм и время. Автореферат.- в кн.: Съезд Российской ассоциации физиков. М., НТО ВСНХ, 1920, стр. 170-172. (Сообщения о научно-технических работах в Республике. Вып. 3).

3. О постановке научно-технических вопросов и их разработке. (По опыту последней войны). Автореферат.- Там же, стр. 183-184.

4. Реф.: W. S. Titow/ Die Verteilung des Chlors zwischen Wasser und einer gasformigen Phase. Nachr. D. Phys.-chem. Lab. D. Semsoiuses, redig. Von W. Arkadiew, Moskau, 1917, 102-110.- Phys. Ber., 1 H. 19, 1182, 1920.

5. Magnetisierungskoeffizienten der Gestalt, des Stoffes und des Körpers. J. d. Russ. Phys.-chem. Ges., phys. Tl., 46, 22-56, 1914. Автореферат.- Там же, стр. 1195-1196.

6. Реф.: W. Romanoff. Über eine Methode der Erregung und über die Dämpfung der kurzen elektrischen Wellen an Drahten. J. d. Russ. Phys.-chem. Ges., 50, 57-133, 1918. Там же, стр. 1197-1198.

7. Реф.: W. Ignatowsky. Die beugung des Objektivs von beliebiger Öffnung. J. d. Russ. Phys.-chem. Ges., phys. Tl., 51, 225-260, 1919.- Там же, стр. 1210-1211.

8. Реф.: A. Predwoditelew. Absorptionskoeffizienten von truben Medien. Arch. d. Phys. Wiss., 1, 10-21, 1918.- Там же, стр. 1217.

9. Реф.: H. A. Lorentz. Über das Nernstsche Wärmethorem. J. d. Russ. Phys.-chem. Ges., phys., Tl., 46, 4-11, 1914.- Там же, стр. 1221.

10. Вести из-за границы. [О научных работах]. - В кн.: Сообщения о научно-технических работах в Республике. Вып. 4. М., НТО ВСНХ, 1921, стр. 236-240.

11. Современные задачи изучения намагничивания тела и веществ в постоянном и переменном полях.- Научн. изв., сб. 3, физика, 320-342, 1922.

12. О магнитной спектроскопии. Реферат.- Там же, стр. 16-17.

13. О деятельности Московской магнитной лаборатории.- В кн.: труды III Съезда Российской ассоциации физиков в Нижнем Новгороде (17-21 сентября 1922 г.). Н.-Новгород, тип. Нижегород. Радиолаб., 1923, стр. 6-8.

- 14.О магнитной спектроскопии.- Там же, стр. 19-23.
- 15.Работа М. А. Чупровой о намагничивании цилиндра.- Там же, стр. 29.
- 16.Измерение А. А. Леонтьевой разрядных потенциалов при быстрых электрических колебаниях.- Там же, стр 57. В кн.: труды III Съезда Российской ассоциации физиков в Нижнем Новгороде (17-21 сентября 1922 г.). Н.-Новгород, тип. Нижегород. Радиолаб., 1923.
- 17.Магнитная спектроскопия. М., НТО ВСНХ, 1924, 80. (Тр. ГЭЭИ, вып. 4).
- 18.О магнитной дисперсии и абсорбции. - ЖРФХО, ч. физ., 56, вып. 2-3, 194-216, 1924. Об анализе спектральных кривых.- Там же, стр. 217-224.
- 19.О магнитных спектрах и методах их получения. ЖРФХО, ч. физ., 56, вып. 4, 321-330, 1924.
- 20.Об электромагнитной гипотезе передачи мысленного внушения.- Ж. прикл. физ., 1, вып. 1-4, 215-222, 1924.
- 21.Электрическая и магнитная спектроскопия.- Усп. Физ. наук, 4, вып. 4-5, 263-270, 1924.
- 22.Приложение спектрального анализа к изучению магнетизма. (Магнитная спектроскопия).- В кн.: Новые идеи в физике. Сб. 11. Новое в области магнетизма. Л., "Образование", 1924.
- 23.Итоги III Всероссийского съезда физиков в Нижнем Новгороде.- В кн.: Сообщения о научно-технических работах в Республике. Вып. 12. Л., НХТИ, 1924, стр. 5-6.
- 24.Задачи общей спектроскопии. [Реферат доклада].- В кн.: IV Съезд русских физиков в Ленинграде (15-20 сентября 1924 г.). Л., НХТИ, НТО ВСНХ, 1924, стр. 25-26. (Сообщения о научно-технических работах в Республике. Вып. 14).
- 25.Uber Magnetische und elektrische Spektroskopie/ [О магнитной и электрической спектроскопии].-Zs. f. Phys., 27, Н. 1, 37-55, 1924.
- 26.Рец.: A dictionary of appkied physics, edited by R. Glacebrook. Londjn, 1922-1923.-Ж. Прикл. Физ., 1, вып. 1-4, 266-267, 1924.
- 27.Московская магнитная лаборатория. 1920-1924 г. М., "Магнитный коллоквиум", 1925.
- 28.Задачи общей спектроскопии.- ЖРФХО, ч. физ., 57, вып. 1-2, 57-60, 1925.
- 29.Московская магнитная лаборатория.- Огонек, № 41, 4, 1925.
- 30.Elektric and magnetic spectrjscopy. [Электрическая и магнитная спектроскопия].-Phil. Mag., 50, № 295, 157-163, 1925.
- 31.Ред.: Иссдедования по электромагнетизму. М., НТО ВСНХ, 1925. (Тр. ГЭЭИ, вып. 6).

- 32.Предисловие.- Там же, стр. 3-5.
- 33.Электромагнитная спектроскопия металлов.- В кн.: О. Д. Хвольсон. Курс физики. Том дополнительный. Физика. 1914-1926 г. Ч. 2. М.-Л., Гос. Изд., 1926, стр. 237-267.
- 34.Ред.: Исследования по электромагнетизму. 2. М., НТО ВСНХ, 1926. (Тр. ГЭЭИ, вып. 15).
- 35.Предисловие.- Здесь же, стр. 3.
- 36.Физика.- В кн.: Десять лет советской науки. Сборник статей под ред. Ф. Н. Петрова. М.-Л., Гос. Изд., 1927, стр. 107-186. [Совместно с Н. Н. Андреевым и др.]. О. Д. Хвольсон.- Энци. Слов. Гранат, изд. 7, 45, ч. 2, 156-157, 1928.
- 37.Современное состояние вопроса о магнитных спектрах.- Усп. физ. наук, 8, вып. 2, 194-221, 1928.
- 38.Московская магнитная лаборатория.- 1919-1929. Итоги за 10 лет. М., "Магнитный коллоквиум", 1929.
- 39.О магнитных спектрах. [Реферат доклада]. - В кн.: Всесоюзный съезд физиков. (VII Съезд русских физиков). Одесса, 19-24 августа 1930 г. Л., НХТИ, Всехимпром ВСНХ СССР, 1930, стр. 26-27. (Сообщения о научно-технических работах в Республике. Вып. 29).
- 40.Uber die Resonanz der Magnetonen. [О резонансе магнетонов].- В кн.: Современные проблемы электромагнетизма. Сборник, посвященный десятилетию Московской магнитной лаборатории, 1919-1929. М.-Л., Главная наука, Огиз, ГНТИ, 1931, стр. Теория проницаемости и потерь в магнитной жести при любой частоте. [М., Всес. Энерг. Ком., 1932]. (Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности. По секции материаловедения).
- 41.К вопросу о терминологии и обозначении электромагнитных характеристик материалов (66 основных видов проницаемости). М., тип. Школы ФЗУ Огиза РСФСР треста "Полиграфкнига", 1932. (Материалы по вопросам технической реконструкции связи и развития слаботочной промышленности во 2-й пятилетке. Электрические измерения).
- 42.Деятельность лаборатории им. Максвелла (Московской магнитной лаборатории) за последние три года, 1929-1932 г.г.- Ж. техн. физ., 2, вып. 9-10, 1094-1098, 1932.
- 43.Ред.: Ф. Дессауер. Ионизированный воздух и его физиологическое действие. М.-Л., ГТТИ, 1932.
- 44.Предисловие.- Здесь же, стр. 5-6.

45. Современное состояние вопроса о магнитных спектрах.- В кн.: Тезисы докладов на Декабрьской сессии Академии наук СССР. Л., АН СССР, 1934, стр. 23-24.

46. Конференция по магнетизму.- Электричество, № 7, 56, 1935.

47. Рец.: E. C. Stoner. Magnetism and matter, 1934, XV. Усп. физ. наук, 15, вып. 2, 320-321, 1935.

48. Рец.: Eisen, magnetische und elektrische Eigenschaften des reinen und kohlenstoffhaltigen Eisens. (Gmelins Handbuch d. Anorg. Chemie, T1. A. Lfr. 7, 1421-1634, 1934). Усп. физ. наук, 15, вып. 8, 1051- 1054, 1935.

49. Рец.: H. S. Biggs. The electromagnetic field, N. Y., 1934.-Ин. Книга, № 1, 25-26, 1935.

50. Рец.: J. Perrin. Grains de matiere et de lumiere. Paris, 1935. -Ин. книга, № 5, 44-45, 1935.

51. Рец.: П. А. Козьмин. Участие профорганизаций в борьбе с металлическими примесями в зерне, муке, крупе. М., 1935. - Сов. Мук. и хлебопеч., № 8, 1935.

52. Задачи Комиссии магнитных и проводниковых материалов.- В кн.: Проблемы электротехнического металла. Отв. Ред. В. К. Аврадьев. М.-Л., АН СССР, 1938, стр. 3-6. (АН СССР, ОТН, серия 4, Техническая физика, вып. 8).

53. Ред.: Проблемы электротехнического металла. М.-Л., АН СССР, 1938. (АН СССР, ОТН, серия 4, Техническая физика, вып. 8).

54. Магнитный спектр как одно из технических условий на трансформаторную сталь.- Там же, стр. 81-82.

55. Магнитный спектр как одно из технических условий на трансформаторную сталь.- Электричество, № 3, 39-42, 1939.

56. Работы физиков МГУ за 1917-1937 гг.- В кн.: Р. П. Гаухман. Библиография печатных трудов физиков Московского государственного университета за период 1917- 1937 гг. Под ред. В. К. Аркадьева и Т. И. Райнова. М., МГУ, 1939, стр. III-IX.

57. Новая кафедра "Теоретические основы электротехники". Моск. ун-т, 1939, 15/II, № 10.

58. Ред.: Р. П. Гаухман. Библиография печатных трудов физиков Московского государственного университета за период 1917-1937 гг. М., МГУ, 1939. [Совместно с Т. И. Райновым].

59.Ред.: Практические проблемы электромагнетизма. М.-Л., АН СССР, 1939.

60.Предисловие.- Здесь же, стр. 3.

61.Лаборатория электромагнетизма им. Максвелла. 1919-1939. М., МГУ, 1940.

62.О некоторых вопросах библиографии и авторской этики.- Изв. АН СССР, ОТН, № 4, 121-124, 1941.

63.Рец.: В. П. Внуков. Физика и оборона страны. Изд. 4, перераб. М., Воен. изд., 1940, 315 стр. - Техн. кн., № 2, 83-84, 1941.

64.Электромагнитная теория света и работа Лаборатории им. Максвелла при Физической факультете за 25 лет, 1919-1944. М., МГУ, 1944.

В. К. Аркадьев – популяризатор науки

1. Физика.- В кн.: Практическая школьная энциклопедия. М., журн. "Для нар. учителя", стр. 177-174, 1912.

2.Научные институты высших учебных заведений Вены. Природа, декабрь, 1487-1490, 1913.

3.85-й Съезд немецких естествоиспытателей и врачей. Физика, № 2, 30-33, 1913.

4.Молекулярный мир и его изучение. М., "Цетран", 1922.

5.Новые пути в изучении молекулярного мира.- Наука и техн., № 2-3, 20-27, 1922.

6.Рец.: А. К. Кауфман. (А. Клементьев). Памятка изобретателя. М., ГТИ, 1921. - Наука и техн., № 2-3, 60, 1922.

7.Рец.: О. Бриен. Как нужно работать на токарном станке. М., ГЦИ, 1919. Там же, стр. 60.

8.Рец.: Л. Грец. Электричество. Берлин, "Знание", 1921. Там же, стр. 61.

9.Рец.: Н. И. Иванов. Ручная обработка металлов. М., ГТИ, 1921. - Там же, стр. 61.

10.О работах русских физиков за последние годы. - Правда, 1923, 18/III, № 60.

11.Современные вопросы физики.- Там же.

12.Магнитная спектроскопия.-Техн. энци., 12, 415-416, 1930.

13.Усовершенствованный аппарат д?Арсонваля для общей д?арсонвализации.- Физиотерапия. 4, № 2, 126-130. [Совместно с А. Н. Обросовым и Л. М. Певзнер].

14.О схемеТеслы.- Физ., хим., мат., техн. В труд. Шк., № 6, 53-55, 1930.

15. Исследование лампочек накаливания и пластинок из стекла витаглас.- Физиотерапия, 4, № 6, 597-599, 1930. [Совместно с П. Г. Мезерницким и Н. А. Глаголевой].
16. Фотографирование радиоволн.- Известия, 1934, 4/IX, № 220.
17. Магнитные сплавы.- Известия, 1934, 10/XI, № 288.
18. Фотографирование лучами Герца.- Правда, 1934, 21/XII, № 350.
19. Физические основы магнитной сепарации сыпучих тел.- Сов. мук. и хлебопеч., № 6, 4-6, 1935.
20. Новые методы исследования электрических волн.- "Сорена", вып. 2, 34-39, 1935.
21. Новый метод просвечивания материалов.- Известия, 1935, 9/I, № 8.
22. Новый магнитный металл.- Известия, 1935, 26/VII, № 199.
23. Индукция.- БСЭ, 28, стр. 446-449, 1937.
24. Магнитная проницаемость.- Физ. слов. 3, стр. 403-408, 1937.
25. Магнитная спектроскопия.- Физ. слов. 3, стр., 408-411, 1937.
26. О дефектоскопии и магнитном анализе.- Стахановец, № 10, 48, 1937.
27. Проверка теории замечательной практикой.- Техника, 1937, 27/V, № 49.
28. Проницаемость магнитная.- Физ. слов., 4, стр. 416-417, 1938.
29. Работы Герца, их значение и дальнейшее развитие.- В кн.: 50 лет волн Герца. Отв. Ред. В. К. Аркадьев. М.-Л., АН СССР, 1938, стр. 9-30.
30. Ред.: 50 лет волн Герца. М.-Л., АН СССР, 1938.
31. Ферромагнетики.- Физ. слов., 5, стр. 400-401, 1939.
32. Памяти Е. В. Богословского.- Усп. физ. наук. 21, вып. 3, 347-351, 1939.
33. 50 лет открытия волн Герца.- Вестн. АН СССР, № 4,-5, 98-101, 1939.
34. Победы советской физики.- Техн. Кн., № 11-12, 49-55, 1939.
35. 50 лет открытия волн Герца.- Моск. ун-т, 1939, 14/IV, № 28.
36. Генератор молний. Об одном русском изобретении. [К 25-летию первых опытов многократного повышения напряжений].- Электричество, № 10, 52-54, 1940.
37. О новой спектроскопии.- Природа, № 10, 22-25, 1940.
38. Александр Степанович Попов - изобретатель радио.- Физ. в шк., № 1, 1-3, 1940.

39.Динамометр для измерения кинетической энергии.- Физ. в шк., № 3, 57-58, 1940.

40.О размагничивающем факторе.- В кн.: Униполярные машины; применение постоянных магнитов в электромашиностроении. М.-Л., АН СССР, 1940, стр. 82-85.

41.О сантиметровых волнах.- В кн.: Труды I Всесоюзного совещания врачей, биологов и физиков по вопросам применения коротких и ультракоротких волн (ВЧ и УВЧ) в медицине. Москва, 16-19 мая 1937 г. М.-Л., Медгиз, 1940, стр. 28-39.

42.Электромагнитная теория света и работа Лаборатории им. Максвелла при Московском университете (1919-1944).- Природа, № 5-6, 123-126, 1944.

43.The Maxwell laboratory at the University of Moscow. [Лаборатория им. Максвелла при Московском университете]. Nature, 154, № 3900, 157, 1944.

44.Изобретатель электрической свечи. К 50-летию со дня смерти П. Н. Яблочкова.- Веч. Москва, 1944, I/IV, № 78.

45.Новое физическое явление. [Парение магнита над сверхпроводником]. - Природа, № 2, 50-51, 1945.

46.Hovering of a magnet over a supraconductor. [Парение магнита над сверхпроводником].- J. of Phys., 9, № 2, 148, 1945.

47.Новое физическое явление. [Парение магнита над сверхпроводником].-Известия, 1945, 31/I, № 25.

48.Оптика Ньютона и современная спектроскопия.-

Основные даты жизни и деятельности чл.-корр. АН СССР В. К. Аркадьева

1884 г.

Владимир Константинович Аркадьев родился в Москве 9 (21) апреля

1904 г.

Окончил Московскую 2-ю гимназию, поступил на математическое отделение Физико-математического факультета Московского университета и работал у профессора Н. А. Умова.

1905-1906 гг.

Прошел общий практикум по физике у профессора А. П. Соколова.

1907 г.

Был допущен к работе в лаборатории проф. П. Н. Лебедева.

1908 г.

Обнаружил существование предела скорости намагничивания железа и никеля, за что получил премию от общества любителей естествознания, антропологии и этнографии.

1908-1918 гг.

Преподавал на педагогических курсах им. Тихомирова в Москве.

1910 г.

Начал руководить практическими занятиями слушателей Городского народного университета им. Шанявского в лаборатории П. П. Лазарева (Москва).

1911 г.

Закончил второе исследование зависимости магнитных свойств от длины волны.

1913 г.

Участвовал в Съезде по кинетической теории материи в Геттингене и в Съезде естествоиспытателей и врачей в Вене.

Дал первую теорию магнитного резонанса и магнитной дисперсии.

1914 г.

Совместно с Н. В. Баклиным построил первый (импульсный) генератор молний.

1915-1918 гг.

Руководил физическим кабинетом и лабораторией на Педагогических курсах им. Тихомирова, где организовал физическую аудиторию и читал курс "Классные приемы преподавания физики".

Организовал научные исследования по вопросам химической обороны и разработал курс "Научно-технические основы газовой борьбы".

1916 г.

Организовал лабораторию физико-химических исследований при Комитете Всероссийского земского и городского союзов (Земгор).

1918 г.

Был зачислен в качестве преподавателя в Московский государственный университет, куда влился Народный университет им. Шанявского.

1919 г.

Преподавал на Педагогических курсах Моссовета, Военно-химических курсах РККА и в академии социального воспитания.

Руководитель Московской магнитной лаборатории при Московском государственном университете (впоследствии Лаборатории электромагнетизма).

1920-1926 гг.

Занимал кафедру физики в Институте народного хозяйства им. Плеханова.

1923 г.

Организовал при кафедре Физико-математического факультета Московского государственного университета практическую специальность "Электрические измерения".

1924 г.

Построил детальную теорию пассивных спектров.

1926 г.

Развил теорию решеток Герца и получил кривые магнитной дисперсии на основании отражения от решеток.

1927 г.

Открыл метод наблюдения скачков перемангничивания непосредственно ухом (без помощи телефона).

1928 г.

Изобрел аппарат для автокондукции высокой мощности и электрические вихремеры.

Участвовал в Съезде естествоиспытателей в Гамбурге.

1931 г.

Работал над заменой меди железом в электропромышленности.

1932 г.

Государственным Ученым советом при Наркомпросе утвержден в звании профессора по кафедре физики.

1934 г.

Президиумом Академии Наук СССР присуждена ученая степень доктора физико-математических наук без защиты диссертации.

Изобрел чувствительные к герцевым волнам пластинки (стиктография).

1939 г.

Руководитель основанной им кафедры "Теоретические основы электротехники" на Физическом факультете МГУ.

1940 г.

Указал метод просвечивания изделий из полупроводников и диэлектриков.

1941-1942 гг.

Дал расширенные основы теории скин-эффекта в различных телах.

1943 г.

Указал возможность устройства компрессора магнитного потока для получения сверхсильных магнитных полей, исходя из теории скин-эффекта.

1944 г.

Установил новый случай равновесия тел в мировом пространстве.

1945 г.

Награжден орденом Трудового Красного Знамени за выдающиеся заслуги в развитии науки и техники в связи с 220-летием Академии Наук СССР.

1953 г. В. К. Аркадьев скончался (1 декабря).

