



## «Опыт Эйхенвальда»



Николай ГРИГОРЬЕВ

Nickolay D. GRIGORIEV

**Более чем в столетней истории Московского университета путей сообщения имя профессора Эйхенвальда занимает особое место. Он стал первым выборным его директором (ректором), почти четверть века являлся заведующим кафедрой физики, получил широкую известность в научном мире своими работами в области электричества, магнитных полей, нелинейной акустики, уравнений гидродинамики, физической кинетики газов. В эти дни научная и педагогическая общественность отмечает 150-летие со дня рождения ученого.**

*Ключевые слова: наука, образование, история, электротехника, физика, уравнения Максвелла, опыт Эйхенвальда.*

*Григорьев Николай Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника, метрология и электроэнергетика» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

**Р**усский физик и электротехник, доктор натуральной философии и физики, профессор, первый выборный директор Московского Инженерного училища (позднее МИИТ) Александр Александрович Эйхенвальд родился в семье профессионального художника-фотографа и солистки Императорских театров, профессора консерватории по классу арфы 4 января 1864 года (23 декабря 1863 года по старому стилю) в Санкт-Петербурге.

В 1883 году юноша после переезда семьи в Москву окончил частную гимназию и поступил на физико-математический факультет Московского университета. После завершения второго курса он по материальным соображениям перевелся в Санкт-Петербургский институт инженеров путей сообщения (ныне университет). Во время каникул студент участвовал в постройке каменной трубы на казенной Московско-Курской (ныне Московской) железной дороге и Московской скотобойне.

### НЕ ЕДИНЫМ СТРАСБУРГОМ

Получив в институте специальность инженера-строителя, Эйхенвальд в 1888–1890 годах служил в правлении акционерного общества Рязанско-Козловской

частной железной дороги (ныне от Рязани до Ряжска она Московская, а от Ряжска до Мичуринска – Юго-Восточная). Сначала он был техническим секретарем, а затем начальником технического отдела ремонта пути и зданий. В 1890–1895 годах в качестве помощника производителя работ молодой специалист занимался проектированием, постройкой и экспериментальной проверкой главного коллектора периодического действия длиной 9 верст (9,6 км) Киевской городской канализации, а также паровой мельницы и элеватора.

После семи лет инженерной практики с марта 1895 года по июль 1897 года Эйхенвальд стажировался в Страсбургском университете. В то время это был крупный научный центр в Германии, где незадолго до того учился его друг детства П. Н. Лебедев, который с мальчишеских лет мечтал о своей будущей деятельности ученого-физика. Александр Александрович прослушал курс лекций по химии, математике и теоретической физике профессора Э. Г. Кона, трудился в лаборатории Физического института при университете, через год стал ассистировать директору института К. Ф. Брауну и проводить практические занятия со студентами. В июле 1897 года российский стажер защитил диссертацию на тему «Поглощение электрических волн электролитами» и получил степень доктора натуральной философии Страсбургского университета.

Тогда же Эйхенвальд поступил на работу в Московское Инженерное училище (с 1913 года – институт инженеров путей сообщения, с 1924 года – институт инженеров транспорта, с 1993 года – государственный университет путей сообщения), стал преподавателем физики и электротехники (десять лет спустя – адъюнкт (помощник профессора), с 1910 года – профессор).

В 1897–1921 годах Александр Эйхенвальд являлся заведующим кафедрой физики. Профессор Лебедев был ее основателем в 1896 году и первым заведующим, но перешел в Московский университет, уступив место своему другу детства.

Подчеркнем: 1905–1908 годы – это время, когда Эйхенвальд директорствовал в Инженерном училище. Он оказался в истории МИИТ вторым по счету директором, но первым выборным, поскольку



его предшественник Ф. Е. Максименко был назначен в 1896 году на эту должность без выборов.

В 1901 году Эйхенвальд параллельно приступил к преподаванию и возглавил кафедру физики на Московских высших женских курсах. В 1918 году они были преобразованы во Второй Московский университет, разделенный позднее (1930 г.) на Второй медицинский институт (ныне медицинский университет им. Н. И. Пирогова), Педагогический институт (ныне Московский педагогический государственный университет) и Институт тонкой химической технологии (ныне Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М. В. Ломоносова).

Работал он с 1906 года и в Московском университете. Вначале приват-доцентом (в то время ученое звание внештатного преподавателя), а через четыре года – профессором. В 1911 году Александр Александрович, впрочем, подал в отставку вместе с большой группой профессоров в знак протеста против реакционных действий министра народного просвещения Л. А. Кассо. В 1917-м его снова приняли на работу в университет, но не прошло и трех лет, как от лекций там пришлось отказаться из-за возросшей нагрузки в Институте инженеров путей сообщения, Вто-



*Московские Высшие женские курсы (МВЖК) открылись 1 июля 1900 г., А. А. Эйхенвальд возглавил кафедру физики. Строительство собственного здания МВЖК (ныне корпус «А» МИТХТ им. М. В. Ломоносова), в котором размещался физико-математический факультет МВЖК, проводилось по проекту А. А. Эйхенвальда архитектором А. Н. Соколовым.*



ром университете и Политехническом институте. Преподавал он также в Коммерческом институте (ныне Российская экономическая академия им. Г. В. Плеханова) в 1912–1918 годах.

В Инженерном училище и на Высших женских курсах Эйхенвальд организовал лучшие в Москве физические кабинеты и общие студенческие лаборатории, в которых многие приборы и установки для демонстрации опытов были спроектированы и изготовлены при его непосредственном участии. Им заложены традиции тщательных научных исследований и их связи с учебным процессом. Здание физико-химического корпуса Высших женских курсов было построено по его проекту.

### **ОТНОСИТЕЛЬНО ЭЙНШТЕЙНА**

Эйхенвальд в созданной им в Инженерном училище научно-исследовательской лаборатории в 1901–1904 годах выполнил свою главную и принципиально важную для физики экспериментальную работу «О магнитном действии тел, движущихся в электростатическом поле». За этот труд он в 1908 году получил ученую степень доктора физики Московского университета. Поставленную в исследовании задачу пытались за границей решить еще в 1838 году. Английские физики М. Фарадей и Д. Максвелл высказали предположение об эквивалентности магнитного действия

электрического тока и движущегося заряженного макроскопического тела с перемещением заключающихся в нем зарядов (конвекционного тока). Максвелл предложил идею эксперимента с помощью вращающегося заряженного непроводящего диска.

Первые эксперименты в этом направлении были проведены в 1885 году немецким физиком В. К. Рентгеном. Он использовал горизонтальный эбонитовый диск, вращающийся вокруг вертикальной оси между двумя станиолевыми обкладками (тонкие листы из олова или его сплава со свинцом). Нижняя обкладка была разделена на два изолированных и противоположно заряженных полукольца. Над верхней обкладкой исследователь повесил магнитную стрелку, середина которой совпадала с осью вращения диска. Во время вращения диска в диэлектрике дважды за оборот менялась поляризация (упругое смещение электрических зарядов), что приводило к появлению тока смещения. Рентген по направлению отклонения отклоненной магнитной стрелки только в лучших экспериментах на качественном уровне наблюдал ток смещения.

В экспериментальной установке Эйхенвальда эбонитовый диск размещался вертикально, около него находились две полукольцевые (четыре элемента) вертикальные обкладки, заряженные попарно раз-

ноименными зарядами. По величине напряженности магнитного поля, площади кольца обкладки и скорости вращения диска вычислялись ток смещения и связанное с ним отклонение магнитной стрелки, которое сравнивалось с экспериментальным значением. Ученый проводил тщательный анализ ошибок. В первых опытах ошибка эксперимента оценивалась в 10%. В дальнейшем точность была повышена.

Эйхенвальд установил существование магнитного поля при механическом движении наэлектризованных тел и доказал, что магнитное поле конвекционного тока по величине и направлению тождественно полю тока проводимости, вызванного упорядоченным движением заряженных частиц (электронов, ионов и др.). Одновременно опытным путем было выявлено, что токи смещения, пропорциональные скорости изменения переменного электрического поля в диэлектрике (при изменении поляризации), создают магнитные поля, и поэтому токи смещения и проводимости эквивалентны, так как они порождают магнитные поля по одному закону.

В экспериментах при вращении плоского конденсатора вместе с помещенным между обкладками диэлектрика ученый доказал, что магнитные действия возникают при движении электричества относительно магнитной стрелки, отклонения которой наблюдаются. Поэтому была верна теория нидерландского физика Х. А. Лоренца: эфир не участвует в движении тел. Эфир — предполагавшаяся в то время промежуточная среда, будто бы заполняющая мировое пространство и промежутки между частицами вещества (в том числе промежутки внутри молекул и атомов). При помощи эфира объясняли распространение электромагнитных волн и лучистой энергии.

Результаты, достигнутые в лаборатории Инженерного училища, не противоречили физическим постулатам и согласовывались с теорией относительности Альберта Эйнштейна, созданной в 1905—1916 годах. Материалы исследования под названием «Опыт Эйхенвальда» вошли во все энциклопедические и учебные издания по физике.

В теоретическом анализе световых волн «О движении энергии при полном внутрен-

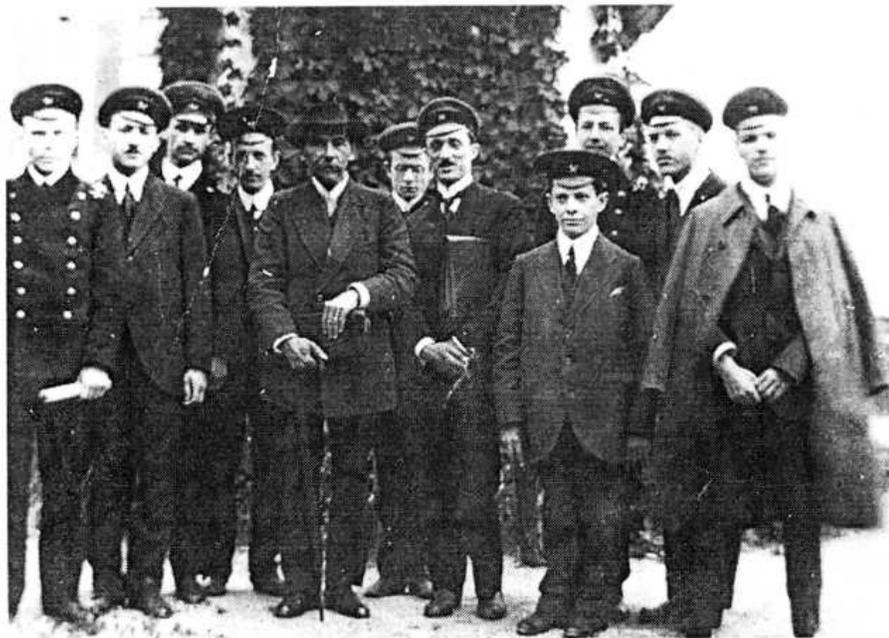
нем отражении», выполненном в 1908 году, Эйхенвальд уточнил положения немецкого физика П. Друде. Тот считал, что с учетом полного внутреннего отражения в случае движения света из более преломляющей среды в менее, когда угол падения превышает предельную величину, существует самостоятельный луч света, идущий с продольными колебаниями вдоль плоского раздела. Наш ученый с помощью системы уравнений Максвелла, следствием которых является теорема Умова-Пойтинга, развеял это недоразумение. Он решил задачу о направлении колебаний плоских световых волн в окрестности раздела двух сред при полном внутреннем отражении и представил полученные результаты в виде диаграмм, вошедших в научную и учебную литературу. Эффект, имевший ранее теоретическое значение, получил техническое применение с развитием волоконной оптики и связи.

В дальнейшем теория Эйхенвальда совершенствовалась по мере изучения реальных свойств электромагнитного излучения во времени и пространстве. В 1912 году в работе «О поле световых волн при отражении и преломлении» ему удалось интерпретировать решение задачи для ранее не фигурировавших в расчетах условий.

## НЕЛИНЕЙНОСТЬ ФИЗИКИ

Александр Александрович был одним из лучших педагогов-методистов и непревзойденным мастером лекционных демонстраций. При иллюстрации кинетической теории газов молекулы изображались им шариками, которые могли кататься по стеклянному дну квадратной коробки, проектируемой на экран. Стенки коробки имели плоские стальные пружинки, приводившиеся в колебательное движение при помощи электромагнитов, питаемых переменным током. Движение пружинок передавалось прикасающимся к ним шарикам, которые все вместе имитировали передачу теплового движения от стенок сосуда заключающемуся в нем газу. Этим прибором можно было демонстрировать беспорядочность перемещения молекул, зависимость их средней скорости от температуры (изменением силы тока в электромагнитах), давление газа на подвижную стенку, брауновское (броуновское)





*А. А. Эйхенвальд в Московском высшем инженерном училище.*

движение (размещением среди шариков более крупных предметов).

Большой успех имел демонстрационный опыт с взаимодействием токов. Перед горизонтальной неподвижной катушкой подвешивалась на длинных проводах вторая, более широкая и короткая катушка. Когда токи в обеих катушках имели одинаковое направление, подвижная катушка притягивалась к неподвижной и надевалась на нее. При перемене направления тока в одной из них подвижная катушка отталкивалась от неподвижной, затем перевертывалась в воздухе на пол-оборота и надевалась на неподвижную другой стороной. Движения подвижной катушки становились более энергичными, когда в неподвижную вставлялось железо.

Альберт Эйнштейн предположил, что если подвергнуть железный стержень продольному намагничиванию, то оси вращающихся электронов должны ориентироваться вдоль оси стержня, и по закону сохранения момента количества движения весь стержень должен при этом получить вращение в обратную сторону относительно вращения электронов. Эйхенвальд для иллюстрации опыта Эйнштейна в своей модели заменил вращающийся электрон гироскопом, который стоял на подставке, способной вращаться около вертикальной

оси, а ось гироскопа могла свободно принимать любое направление. Чтобы гироскоп, подобно вращающемуся электрону, обладал магнитным моментом, его стальная ось намагничивалась. При поднесении сверху к вращающемуся гироскопу полюса магнита его ось принимала вертикальное положение. Подставка при этом приходила во вращение в обратную сторону.

На Высших женских курсах Эйхенвальд организовал методический семинар, на котором курсистки (так тогда называли студенток) излагали какой-нибудь небольшой раздел физики с сопровождением доклада демонстрациями. Причем часть демонстрационных приборов изготавливалась самой докладчицей в мастерской кафедры. Занятия этого семинара получили большую популярность, и аналогичная методика стала применяться в других высших учебных заведениях. В результате выпускницы женских курсов приобрели известность как хорошие учителя физики. Многие из них самостоятельно организовывали школьные физические кабинеты.

Эйхенвальд являлся автором учебников, написанных на основе прочитанных им курсов: «Акустика и оптика» (два издания), «Теоретическая физика» (в четырех томах), «Электричество» (лучший из имеющихся учебников имел 11 переизданий, был пере-

веден на немецкий язык в 1928 году и украинский язык – в 1938 году). Написанное им отличалось исключительной четкостью и ясностью, педагог ставил себя на место студента и стремился заранее снять трудности и сомнения, которые у того могли бы возникнуть при усвоении материала. Характерная для него деталь: будучи неизбежным «эксплуататором» математических формул, он всегда оставался физиком, старался увидеть за ними прежде всего физический смысл, а не абстрактные цифры.

В 1920 году Эйхенвальд выехал с правительственным поручением в научную командировку и на лечение в Германию. Спустя два года им было принято решение уйти в отставку. Поначалу он жил в Праге, а с конца 20-х годов – в Италии. Последняя его статья «Акустические волны большой амплитуды», присланная из Милана и опубликованная в 1934 году в журнале «Успехи физических наук», посвящена нелинейной акустике.

Общий подход, связанный с линеаризацией гидродинамических уравнений в акустике, не годился для изучения волн большой амплитуды. Немецкий математик В. Риман обнаружил, что в некоторых случаях можно найти методы более точного решения уравнений. Но они казались сложными с математической точки зрения и лишены физической наглядности.

Эйхенвальд предложил итеративную процедуру, характеристики нелинейных уравнений в частных производных, что позволило исследовать переход акустических волн малой амплитуды до ударных волн. Применяя полученные соотношения к музыке, он установил изменение тембра звука при переходе к волнам большой амплитуды. Эти его находки используются теперь композиторами и музыковедами.

\*\*\*

Умер ученый во время Великой Отечественной войны в возрасте 80 лет 12 сентября 1944 года в Италии. Известие об этом его московские родственники получили только через три года. Место его смерти, обстоятельства, ее сопровождавшие, кладбище и могила, где он похоронен, остались невыясненными.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Эйхенвальд А. А. Избранные работы / Под ред. (с биогр. очерком) и с примечаниями проф. А. Б. Млодзеевского. – М.: Гостехиздат, 1956. – 267 с.
2. Ректоры МИИТ // Железнодорожный транспорт, 1996, № 8. – С. 24–31.
3. Эйхенвальд Александр Александрович (1864–1944 гг.). Директор ИМИУ (1905–1908 гг.). Исторически-культурный очерк МИИТ: 110 лет на службе Отечеству. Под общей ред. Б. А. Лёвина. – М.: МИИТ, 2006. – С. 214–216.
4. Второй директор МИУ Александр Александрович Эйхенвальд // Инженер транспорта, 1996, № 4, 22 марта. ●

## EICHENVALD TEST

**Grigoriev, Nikolay D.** – Ph.D. (Tech), associate professor at the department of electric engineering, metrology and electric power of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

*Professor Eichenvald belongs to the prominent cohort of Moscow University of Railway Engineering. He was first elected director (rector) of the University, had been head of the department of physics for more than 25 years.*

*He is well known in scientific community for his works in electricity, magnetic fields, non-linear acoustics, hydrodynamics equations, physical kinetics of gas. The article is devoted to his 150<sup>th</sup> anniversary.*

**Key words:** science, education, history, electric engineering, physics, Maxwell equation, Eichenvald test.

## REFERENCES

1. Eichenvald A. A. Selected works [*Izbrannye raboty*]. Ed. and commented by prof. A. B. Mlodzeevsky. Moscow, Gostehizdat, 1956, 267 p.
2. MIIT rectors. *Zheleznodorozhnyj transport*, 1996, № 8, pp. 24–31.
3. Lievin B. A. Eichenvald Aleksandr Aleksandrovich (1864–1944). IMIU director (1905–1908). Historical and cultural review of MIIT. 110 years at the service of Motherland. Moscow, MIIT, 2006, pp. 214–216.
4. Second director of MIU Aleksandr Aleksandrovich Eichenvald. *Inzhener transporta*, 1996, № 4 (2044), March, 22.

Координаты автора (contact information): Григорьев Н. Д. (Grigoriev N. D.) – +7 (495) 684–21–19.

Статья поступила в редакцию / article received 30.03.2012  
Принята к публикации / article accepted 25.04.2012

