

# *Из истории открытий и изобретений*

## **ОБ ОТКРЫТИИ ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА**

**Академик А. С. БОРОВИК-РОМАНОВ, В. К. ЗАВОЙСКИЙ, Б. Е. ЯВЕЛОВ**

В 1944 г. в Казани Е. К. Завойским (1907—1976 гг.), тогда доцентом, заведующим кафедрой физики Казанского государственного университета имени В. И. Ульянова-Ленина, было открыто замечательное физическое явление — электронный парамагнитный резонанс (ЭПР)<sup>1</sup>. Это фундаментальное открытие положило начало магнитно-резонансной спектроскопии, ставшей к настоящему времени одним из самых мощных методов физических исследований и широко применяющейся в химии, биологии, кристаллографии, медицине, технике. ЭПР расширяет возможности спектроскопии и используется в ряде физических и радиотехнических приборов. Открытие Е. К. Завойского сыграло весьма важную роль в исследованиях, завершившихся разработкой мазеров и лазеров. После открытия ЭПР были обнаружены многие другие резонансные поглощения веществом энергии радиоволн: ядерный парамагнитный резонанс, ферромагнитный и антиферромагнитный, циклотронный, квадрупольный ядерный резонанс, акустический парамагнитный и др. Сущность их очень близка к ЭПР, так же как и техника наблюдения.

В 1969 г. в Казани состоялась Международная конференция по парамагнитному резонансу, приуроченная к 25-летию юбилею этого открытия. Выступая на первом заседании, известный французский ученый А. Кастлер, лауреат Нобелевской премии 1966 г. за работы в направлении, основанном Е. К. Завойским, говорил: «Когда вчерашним вечером мы подлетали к казанскому аэропорту, чтобы присутствовать на этой конференции, наш самолет пролетел над Волгой. Увидеть эту реку было для нас волнующим событием. Волга начинается с небольшого источника, растёт все больше и больше и наконец превращается в громадный поток, многоводный, как море. Так и парамагнитный резонанс. Он начался с небольшого эксперимента, выполненного здесь, в Казанском университете, 25 лет назад. За прошедшие годы он превратился в огромную область исследований и привел к тысячам экспериментов и публикаций»<sup>2</sup>.

Кратко напомним, в чем состоит сущность явления ЭПР. Пусть во внешнем магнитном поле напряженностью  $H$  находится парамагнитное вещество, магнитный момент атомов которого обусловлен одним электроном, находящимся вне замкнутых электронных оболочек (магнитные моменты замкнутых оболочек, как известно, равны нулю). Согласно квантовой механике для спинового магнитного момента электрона, абсолютная величина которого равна магнетону Бора  $\mu_B$ , возможны только две ориентации: вдоль внешнего магнитного поля и навстречу ему. Этим двум ориентациям соответствуют два уровня энергии: нижний  $E_1 =$

<sup>1</sup> Завойский Е. К. Парамагнитная абсорбция в перпендикулярных и параллельных полях для солей, растворов и металлов. Докт. дис. Казань, КГУ, 1944.

<sup>2</sup> Парамагнитный резонанс, 1944—1969. М., «Наука», 1971, с. 14.



Е. К. Завойский в домашнем кабинете. Фото Д. С. Переверзева  
(1971 г.)

$= -\mu_B H$  и верхний  $E_2 = \mu_B H$ . В равновесном состоянии число атомов с более низкой энергией незначительно превышает число атомов, обладающих более высокой энергией, и поэтому суммарный магнитный момент атомов направлен вдоль внешнего магнитного поля. Это и объясняет парамагнетизм вещества. Если теперь перпендикулярно постоянному магнитному полю наложить переменное электромагнитное поле и плавно изменять частоту его, то при частоте  $\nu_0$ , определяемой равенством  $h\nu_0 = E_2 - E_1 = 2\mu_B H$ , будет наблюдаться поглощение атомами вещества энергии переменного поля. Кванты  $h\nu_0$  этого поля будут перебрасывать атомы с более низкого энергетического уровня  $E_1$  на более высокий  $E_2$ , или, другими словами, переворачивать спиновые магнитные моменты электронов из положения вдоль внешнего магнитного поля в положение против поля.

Таким образом, энергия переменного электромагнитного поля поглощается системой электронных спиновых магнитных моментов. Поскольку поглощение происходит в узкой области частот вблизи  $\nu_0$ , явление получило название электронное парамагнитное резонансное поглощение, или ЭПР.

В классическом представлении электрон уподобляют быстро вращающемуся волчку, ось которого под действием внешнего постоянного магнитного поля  $H$  описывает конус прецессии со скоростью  $\nu = 2\mu_B H/h$  об/с. Очевидно, если переменное электромагнитное поле, направленное перпендикулярно постоянному магнитному полю, будет изменяться в такт с прецессией волчка, волчок будет разгоняться, увеличивая угол отклонения своей оси от направления постоянного магнитного поля. При равенстве частот прецессии и переменного электромагнитного поля наступит резонанс и энергия последнего поглотится. Такое пред-

ставление позволяет легко понять второе необходимое условие наблюдения ЭПР — перпендикулярность переменного и постоянного полей.

В период открытия ЭПР Е. К. Завойским в Казанском университете не существовало сколько-нибудь крупной физической школы. Однако Казань славилась своими математиками и химиками. Кроме того, это были военные годы, тяжелые для проведения чисто физических исследований, для приобретения оборудования для таких исследований. Трудности эти усугублялись нарушением традиционных каналов обмена научной информацией. Выбор исследовательского направления, определение пути исследования, увенчавшегося открытием, и, наконец, само открытие целиком зависели только от Е. К. Завойского.

С другой стороны, важно отметить, что магнитные и магнитно-резонансные явления традиционно и с давних пор прочно входили в сферу интересов физиков нашей страны. Так, ценный вклад в изучение природы магнетизма содержался в докторской диссертации А. Г. Столетова «Исследование о функции намагничения мягкого железа», защищенной в 1872 г. В 1892 году Б. Л. Розинг пришел к представлению о молекулярном поле (эффективное внутреннее магнитное поле, ориентирующее элементарные магнитные моменты атомов ферромагнитного вещества), представлению, довольно близкому к концепции, впоследствии детально разработанной французским физиком П. Вейссом.

В 20—30-е годы советские ученые много и плодотворно занимались проблемами магнетизма. Поистине пионерские работы — и теоретические и экспериментальные — были выполнены в этот период В. К. Аркадьевым, Н. С. Акуловым, Я. Г. Дорфманом, П. Л. Капицей, Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшицем, О. Н. Трапезниковой, Я. И. Френкелем, Л. В. Шубниковым, С. С. Шалытом. Однако даже простое перечисление фундаментальных результатов, полученных этими учеными, заняло бы слишком много места и слишком увело бы нас от основной темы настоящей статьи. Магнитные исследования проводились тогда в нашей стране под руководством А. Ф. Иоффе в Ленинградском физико-техническом институте (с 1918 г.) и под руководством В. К. Аркадьева в магнитной лаборатории им. Максвелла при Московском государственном университете (с 1919 г.). Позднее ряд важных исследований по магнетизму был осуществлен в Украинском физико-техническом институте в Харькове (с 1928 г.), а в 1935 г. специальный центр по физике магнетизма был организован в Уральском физико-техническом институте (ныне Уральский институт физики металлов) в Свердловске. В 1934—1935 гг. магнитными явлениями начали заниматься под руководством П. Л. Капицы в Московском институте физических проблем.

Исторически первый магнитно-резонансный эффект — избирательное поглощение высокочастотных электромагнитных волн ферромагнетиками — обнаружил в 1913 г. ученик П. Н. Лебедева В. К. Аркадьев<sup>3</sup>. Это открытие было сделано в ходе проводившихся по предложению П. Н. Лебедева еще с 1907 г. исследований частотных зависимостей магнитных и диэлектрических свойств твердых тел и жидкостей. Подчеркивая важность и перспективность экспериментов такого рода, П. Н. Лебедев, с поразительной прозорливостью предвидя будущее рождение радиоспектроскопии, пророчески писал: «Исследования полного спектра вещества открывают перед нами возможность проникнуть в геометрическое распределение зарядов отдельных атомов и молекул, изучить строение их и подойти к решению самых разнообразных физико-химических вопросов. Эта огромная задача, которую электронная теория материи ставит спектральному анализу, открывает спектроскопии широкое поле интересной и плодотворной работы, но она требует для своего решения ряда систематически проведенных исследований в разных частях спектра.

<sup>3</sup> Аркадьев В. К. Теория электромагнитного поля в ферромагнитном металле. — ЖРФХО, 1913, ч. физ., т. 45, вып. 9, с. 312.

... ближайшей задачей является определение полос поглощения по всей доступной нам шкале электромагнитных волн...»<sup>4</sup>.

Как известно, всемирную славу П. Н. Лебедеву принесли его выдающиеся работы по прямому доказательству существования светового давления. Интересно, однако, что эти работы в определенном смысле можно считать побочным результатом проводившейся великим русским физиком на протяжении около двух десятилетий комплексной программы по изучению процессов взаимодействия электромагнитного излучения с веществом. Особое место в этой программе уделялось вопросам резонансного взаимодействия колебательных систем с переменным электромагнитным полем. В одной из первых работ по этой обширной программе П. Н. Лебедев предпринял попытку выявить общие черты взаимодействия излучения с веществом, смоделировав молекулы последнего макроскопическими колебательными системами (электромеханическими резонаторами).

Конечно, сущность обнаруженного В. К. Аркадьевым магнитно-резонансного явления — а природа его весьма сходна с поясненной нами выше сущностью ЭПР — не могла быть понята в рамках классической физики, до создания квантовой механики и квантовой теории ферромагнетизма. Кроме того, сама техника сантиметровых волн — а именно в этом диапазоне обычно наблюдается ферромагнитный резонанс — получила развитие только в 40-е годы. В силу этих причин ферромагнитный резонанс был заново переоткрыт в 1946 г. американским физиком Дж. Гриффитсом и независимо от него Е. К. Завойским.

Следует, однако, сказать, что еще в 1923 г. Я. Г. Дорфман, пытаясь дать адекватную электронно-квантовую трактовку обнаруженного В. К. Аркадьевым явления, фактически предсказал существование ЭПР, назвав его тогда «фотомагнитным» эффектом<sup>5</sup>. В этой своей работе Я. Г. Дорфман в основном базировался на соображениях, развитых в 1922 г. А. Эйнштейном и П. Эренфестом, которые, обсуждая знаменитые эксперименты О. Штерна и В. Герлаха по обнаружению пространственного квантования, впервые указали на возможность квантовых переходов между магнитными энергетическими подуровнями под действием внешнего электромагнитного излучения<sup>6</sup>.

В этой связи небезынтересно отметить, что как А. Эйнштейн, так и П. Эренфест хорошо знали о работах В. К. Аркадьева и вполне отдавали себе отчет в их важности. Об этом, в частности, свидетельствует следующая фраза из письма П. Эренфеста В. К. Аркадьеву от 20 июня 1913 г.: «Я вчера рассказывал о Ваших магнитных работах Вейссу и Эйнштейну. Оба проявили большой интерес к Вашим опытам и к Вашей идее»<sup>7</sup>.

Еще со студенческих времен Е. К. Завойский в стенах Казанского университета вынашивал мысль о радиочастотной спектроскопии как средстве изучения строения и свойств вещества. Уже в то время были широко известны достижения оптической спектроскопии, вклад которой в создание современной квантовой механики был фактически решающим. Но принципиальных различий между светом и высокочастотными радиоволнами не существует. Поэтому ему казалось возможным создание спектроскопии на радиочастотах. В оптической спектроскопии изучаются, как правило, узкие спектральные линии — световое электромагнитное излучение строго определенной длины волны, методы регистрации которых были хорошо известны. Для развития радиочастотной спектроскопии необходимо было найти методы измерения поглощения веществом

<sup>4</sup> Лебедев П. Н. Собр. соч. М., «Наука», 1963, с. 335.

<sup>5</sup> Dorfman Ja. G. Einige Bemerkungen zur Kenntnis des Mechanismus magnetischer Erscheinungen. — Zeitschrift für Physik. Berlin, 1923, B. 17, S. 98.

<sup>6</sup> Einstein A., Ehrenfest P. Quantentheoretische Bemerkungen zum Experiment von Stern und Gerlach. — Zeitschrift für Physik. Berlin, 1922, B. 11, S. 31.

<sup>7</sup> Поливанов К. М. Владимир Константинович Аркадьев. — Изв. АН СССР. Сер. физ., 1954, т. XVIII, № 3, с. 307.

электромагнитного излучения в узком диапазоне частот, т. е. поглощения резонансного типа.

Начав с попыток прямого обнаружения резонансного поглощения высокочастотного электрического поля по нагреванию диэлектрика в конденсаторе и быстро убедившись в недостаточной чувствительности такой методики, Е. К. Завойский стал изыскивать другие способы детектирования поглощения высокочастотной энергии веществом. В 1933 г. эта задача получила простое, но исключительно удачное решение — Е. К. Завойский разработал так называемый «метод сеточного тока»: исследуемое вещество помещалось в колебательный контур радиочастотного генератора с самовозбуждением, и генератор «чутко реагировал» на изменение поглощения энергии в колебательном контуре (или, говоря языком радиотехники, на изменение добротности колебательного контура) изменением сеточного или анодного тока генераторной лампы. Как известно, самовозбуждающийся генератор представляет собой усилитель с высоким коэффициентом усиления и положительной обратной связью, поэтому ничтожные вариации добротности его контура многократно усиливаются и приводят к вполне заметным изменениям режима генераторной лампы. Очень важно также и то, что при соблюдении некоторых условий «отклик» генератора линеен, т. е. изменения его анодного или сеточного тока прямо пропорциональны вариациям поглощения в колебательном контуре.

Вначале Евгений Константинович тщательно проверил различными путями возможности метода сеточного тока. Проведенные им опыты обнаружили рекордную для того времени чувствительность метода: прибор реагировал на изменение мощности порядка  $10^{-11}$  Вт. Именно разработка этого высокочувствительного метода детектирования поглощения электромагнитной энергии и обеспечила в дальнейшем Е. К. Завойскому его выдающийся успех. «Нас всегда поражала чувствительность его (Е. К. Завойского.— *Авт.*) экспериментальной установки и высокая точность его измерений»<sup>8</sup>, — отмечал крупный голландский физик К. Гортер, который вплотную подошел к открытию ЭПР, но не смог обнаружить это явление в первую очередь именно потому, что не располагал столь чувствительным методом.

В 1939 г. Евгений Константинович познакомился с работой Дж. Раби, который впервые наблюдал резонансное поглощение ядрами атомов энергии радиоволн. Эта работа была проведена с молекулярными пучками, где атомы, находясь на больших расстояниях, слабо взаимодействовали друг с другом. Е. К. Завойский задумал провести аналогичное исследование, но уже с конденсированной средой. Однако прогнозы о возможности резонансного поглощения радиоволн в жидких и твердых телах в то время были весьма пессимистическими. С середины 30-х годов К. Гортер и его сотрудники проводили систематические поиски резонансного поглощения парамагнетиками электромагнитных волн на частотах до 30 МГц в присутствии внешних статических магнитных полей, а также исследовали магнитные релаксационные явления, т. е. процессы возвращения системы спинов в исходное равновесное состояние после их преимущественного выстраивания в одном направлении<sup>9</sup>. Однако им не удалось наблюдать резонансного поглощения энергии. Больше того, американские физики В. Гайтлер и Е. Теллер, рассчитав время ядерной релаксации для твердых парамагнитных веществ, нашли, что оно должно быть порядка миллиона лет. Это означало как будто бы, что наблюдение ядерного резонанса в парамагнитных конденсированных средах вообще невозможно. К счастью, как потом выяснилось, этот расчет оказался неверным, а неудача К. Гортера объяснялась низкой чувствительностью применявшегося им колориметрического метода определения радиочас-

<sup>8</sup> Парамагнитный резонанс. 1944—1969. М., «Наука», 1971, с. 16.

<sup>9</sup> Гортер К. Парамагнитная релаксация. М., ИЛ, 1949.

тотного поглощения по скорости нагрева образцов в переменном электромагнитном поле, который совершенно не соответствовал задаче детектирования столь тонкого эффекта.

Но это стало известно позже, а тогда, в 1939 г., Евгений Константинович, следуя своей интуиции, все же решил начать исследования по обнаружению ядерного магнитного резонанса (ЯМР) с помощью своего метода сеточного тока. Вместе с С. А. Альтшулером и Б. М. Козыревым он поставил эксперименты на протонах. В мае 1941 г. они стали наблюдать сигналы ЯМР. Однако неоднородность постоянного магнитного поля, которое создавал имеющийся у них старый электромагнит, приводила к нерегулярности появления сигналов. Начавшаяся война прервала работы, и полученные результаты опубликованы не были. Только через два года после открытия Е. К. Завойским ЭПР американские физики Ф. Блох, Р.-В. Паунд и Е. Пэрселл обнаружили (в 1946 г.) ЯМР-явление, относящееся к той же категории эффектов, что и ЭПР, и были удостоены за это открытие Нобелевской премии.

Спустя год после начала войны Е. К. Завойский, уже один, смог возобновить эксперименты. Но теперь он решил исследовать резонансное поглощение энергии радиоволн электронами парамагнетиков. В первых экспериментах он работал с водными растворами солей марганца, используя частоты порядка 10 МГц, и прослеживал зависимость парамагнитного поглощения высокочастотного поля от статического магнитного поля. На некоторых из полученных им в то время кривых при статических магнитных полях около 10 Э уже обнаруживался максимум: поглощение сначала нарастало, а затем падало, как следовало бы ожидать в случае резонанса. Однако получаемые кривые все же не имели ярко выраженного резонансного характера — вместо резкого пика получалась довольно плавная кривая.

После этих первых обнадеживающих результатов Е. К. Завойский в конце 1943 г. перешел к области более высоких частот порядка 100 МГц (возможность работы на таких частотах также была важным достоинством разработанной им методики), и тут ему впервые удалось наблюдать пики резонансного поглощения в безводных хлориде хрома, карбонате марганца, в двухводном хлориде меди и в ряде других парамагнитных солей. Прямым доказательством резонансной природы наблюдавшихся пиков было смещение их положения в сторону более сильных магнитных полей при повышении частоты колебаний переменного электромагнитного поля. Находившийся в Казани во время войны Я. И. Френкель принял первую попытку теоретической интерпретации ЭПР.

Свои эксперименты Евгений Константинович описал в докторской диссертации, представленной Ученому совету Физического института Академии наук СССР в мае 1944 г. Защита диссертации состоялась в феврале 1945 г.

Перед защитой П. Л. Капица пригласил Е. К. Завойского в руководимый им Институт физических проблем Академии наук СССР продемонстрировать свое крупное научное открытие и исследовать парамагнитное резонансное поглощение при низких температурах и высоких частотах. Помогал ему сотрудник института А. И. Шальников.

Позже, в 1974 г., Евгений Константинович изготовил дома макет установки для наблюдения ЭПР и преподнес его ко дню рождения Петру Леонидовичу. В письме он написал:

«Глубокоуважаемый

Петр Леонидович!

Вы — первый физик, оценивший электронный парамагнитный резонанс. В день Вашего юбилея в память об этом прошу Вас принять то, что сохранилось...



Е. К. Завойским краткий отчет о работе, проведенной в ИФП АН СССР в период с 2 по 28 января 1945 г.

В первой части отчета описана высокочастотная установка для регистрации парамагнитного поглощения (рис. ). Установка представляет собой клистронный генератор, работающий на фиксированной частоте 133 МГц; исследуемый образец помещают в катушку колебательного контура генератора, находящуюся в регулируемом внешнем постоянном магнитном поле, перпендикулярном переменному высокочастотному полю катушки. Парамагнитное поглощение энергии высокочастотного электромагнитного поля регистрируется по изменению величины анодного тока клистрона, которое должно быть пропорционально парамагнитному поглощению в условиях, когда последнее мало по сравнению с общими потерями в колебательном контуре.

То, что это действительно так, показано во второй части отчета, в которой описаны соответствующие контрольные измерения. В этих измерениях парамагнитное поглощение высокочастотного поля имитировалось его поглощением вихревыми токами в электролите, который пропускался по трубке, введенной в катушку колебательного контура.

В условиях эксперимента электромагнитные потери в электролите (использовался водный раствор хлористого калия) должны были быть прямо пропорциональны его удельной проводимости, которую можно было варьировать, изменяя концентрацию электролита. Эти контрольные эксперименты убедительно продемонстрировали строгую пропорциональность между поглощением в колебательном контуре и изменениями анодного тока клистрона.

Сами эксперименты по регистрации электронного парамагнитного поглощения описаны в третьей части отчета. Представлены результаты исследования трех парамагнитных солей: пятиводного сульфата меди, треххлористого хрома и хлорной меди. Это последнее соединение изучено особенно подробно. Для него получен острый резонансный пик парамагнитного резонансного поглощения при магнитном поле  $H_0 = 47,6$  Э и полушириной  $\Delta H \sim 25$  Э (рис.). Было установлено, что интенсивность пика растет с понижением температуры вплоть до водородных температур ( $\sim 20$  К). При температурах жидкого гелия ( $\sim 4$  К) отмечалось исчезновение резонансного поглощения. Этот примечательный факт, хотя и был указан Е. К. Завойским, тогда не нашел объяснения и был, по-видимому, забыт. Между тем любопытное совпадение состоит в том, что хлорная медь — именно то вещество, на котором Гортер с сотрудниками впоследствии открыли антиферромагнитный резонанс<sup>10</sup>. Обнаруженное Е. К. Завойским исчезновение сигнала ЭПР в этом веществе связано с тем, что оно при температуре 4 К уже становится антиферромагнитным.

Термин «резонанс» в отчете не употребляется, но указано, что для магнитного поля, соответствующего максимуму поглощения, величина частоты, на которой велись измерения, точно совпадает с частотой прецессии в этом магнитном поле магнитного момента, соответствующего спину  $1/2$  (т. е. утверждается, что обнаруженный пик поглощения может объясняться резонансом между прецессией спинов электронов и колебаниями высокочастотного электромагнитного поля).

Прямое утверждение о резонансном происхождении обнаруженного максимума поглощения впервые высказано в статье<sup>11</sup>, опубликованной в 1945 г. Сохранился также русский вариант этой статьи. Понятие о резонансе введено следующей фразой: «Наличием максимума адсорбции (тогда этот термин был более употребителен, чем «поглощение». — Авт.) делает правдоподобным представление, что при таких условиях наблю-

<sup>10</sup> Poulis N. J. et al. On Antiferromagnetism in a single crystal. — Phys. Rev. N. Y. — Lancaster, 1951, v. 82, p. 552.

<sup>11</sup> Zavoisky E. C. Spin-magnetic resonance in paramagnetics. — J. Phys., 1945, v. 9, p. 245.

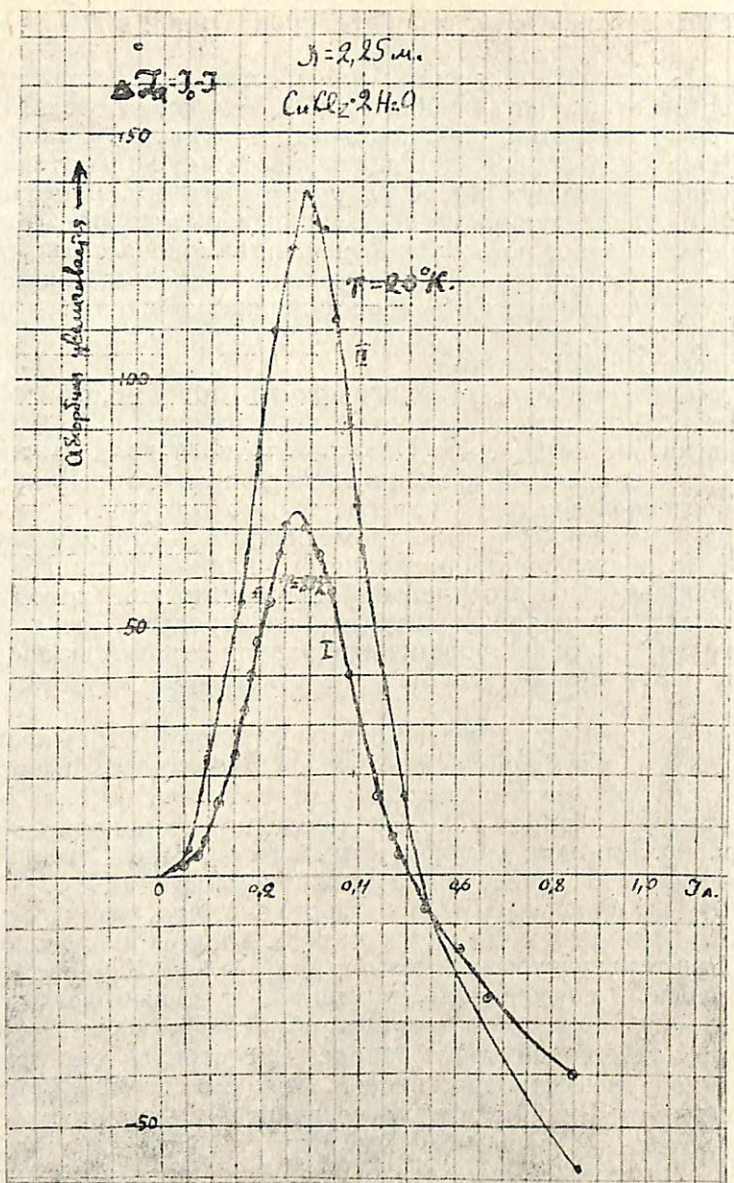


График из научного отчета Е. К. Завойского.

дается резонанс между частотой прецессии магнитного спина иона в поперечном магнитном поле и частотой осциллирующего поля». После слова «представление» следует ссылка: «Я. И. Френкель (в печати), 1944», речь идет о работе Я. И. Френкеля, опубликованной в 1945 г.<sup>12</sup> Это согласуется с утверждением продолжателей Е. К. Завойского С. А. Альтшулера и Б. М. Козырева: «Первая теоретическая интерпретация опытов Завойского была предложена Я. И. Френкелем»<sup>13</sup>.

За открытие и изучение парамагнитного резонанса Е. К. Завойский получил в 1957 г. Ленинскую премию, а в 1977 г. ему (посмертно) была присуждена премия Международного общества магнитного резонанса.

<sup>12</sup> Френкель Я. И. К теории релаксационных потерь, связанных с магнитным резонансом в твердых телах.— ЖЭТФ, 1945, т. 15, с. 409.

<sup>13</sup> Альтшулер С. А., Козырев Б. М. Электронный парамагнитный резонанс. М., «Наука», 1972, с. 29.

# Труд историка науки и техники

## АРХИВ НЕЗАБЫВАЕМОГО ВРЕМЕНИ

Д. С. ДАНИН

От редакции. Работая над биографией Нильса Бора, писатель Даниил Данин дважды побывал в Копенгагенском архиве истории квантовой физики. Настоящая статья — раздумья писателя, вызванные важной историко-научной проблемой, связанной с собиранием и хранением документов современной истории науки. В статье подчеркивается важность сбора и сохранения воспоминаний, размышлений крупных ученых о путях достижения выдающихся результатов в науке и технике. Материалы об ученых и инженерах, об их открытиях и изобретениях, собираемые уже сейчас в музеях, научных архивах, архивах фото- и кинодокументов, представляют непреходящую ценность для исследователей. Однако планомерная работа по собиранию документов истории науки и техники развернута еще слабо.

Обычные архивы — коллекции милость случая. Они разрастаются медленно — маленькими незапрограммированными скачками: от находки к находке. Торопиться, как правило, незачем. И как правило, некому. Архивы собираются десятилетиями и веками.

А этот возник внезапно: за какую-нибудь тысячу дней он вобрал в себя едва ли не все для него предназначенное, что по миру разбросала история, а заботливый случай сберег. Архив источников к истории квантовой физики возник по программе!

...В августе 1960 г. встретились в Университете Беркли, штат Калифорния, пятеро ученых. Вместе их свела тревога, как бы не исчезли с течением времени документальные следы эпохи квантовой революции и как бы не пропали для будущих поколений живые свидетельства ее непосредственных участников.

Кажется, впервые за всю историю естествознания совсем коротенький период его роста — три десятилетия! — удаивался такой тревоги. Или иначе — такого преданного внимания.

Но не стоит думать, будто в Беркли встретилась группа вышедших в отставку ветеранов славной поры, честолюбиво обеспокоенных собственным бессмертием. Да нет же! Собралась маленькая группа деятельных физиков — философов — историков — из разряда тех, что сегодня благодарно сознают себя духовными наследниками революции. Благодарно... — в этом все дело. Они были единодушны в оценке ее вклада в человеческое познание. «Тут не нашлось бы параллели за последние три столетия», — так позднее выразил общее мнение ини-