



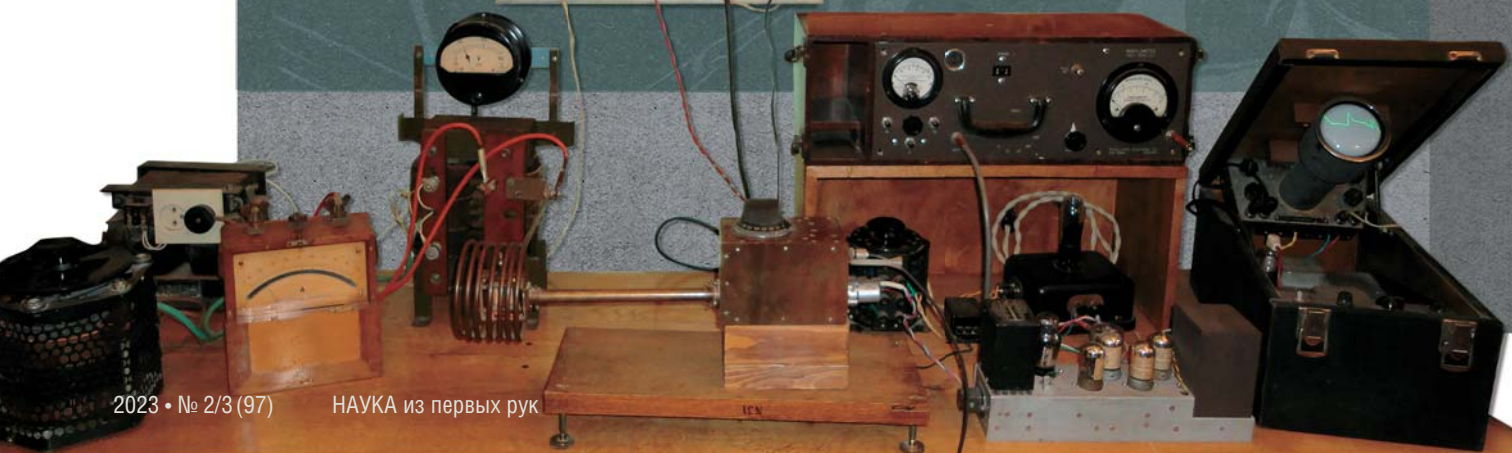
Заседание Ученого совета Института химической кинетики и горения СО АН СССР во главе с академиком В. В. Воеводским, заместителем директора по науке (третий справа). 1962 г. Архив ИХКГ СО РАН

МТЦ: цель счастливых научных контактов

Международный томографический центр Сибирского отделения РАН, равно как и все магнитно-резонансные исследования в новосибирском Академгородке, обязаны своим возникновением стечению счастливых обстоятельств. И связаны они в первую очередь с людьми. Распространение методов спектроскопии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) в научных исследованиях в первые полтора десятилетия с момента его открытия происходило в гораздо большей степени по цепочке личных связей ученых, нежели через «узаконенную» систему научных коммуникаций с помощью публикаций в научных журналах. Тем более велика была роль личности ученого и его непосредственного общения с коллегами в организации научных центров, специализирующихся в новой области. Наверняка существуют объективные причины превращения Академгородка в один из важнейших центров магнитно-резонансных исследований в нашей стране. никоим образом не умаляя роли государственной необходимости, административной составляющей и других объективных обстоятельств, прежде всего хотелось бы рассказать о цепочке тех личных отношений в мире науки, которые связали современный Международный томографический центр СО РАН с самым началом исследований в области магнитного резонанса. Этот рассказ, основанный на опубликованных ранее статьях автора и других исследователей, не претендует на полноту – автор заранее приносит свои извинения всем творцам этой научной истории, о которых он не имел возможности упомянуть



Отреставрированная установка для наблюдения ЭПР, на которой Е. К. Завойский сделал свое открытие в 1944 г. Фото 1997 г. Из музейного фонда Казанского (Приволжского) федерального университета



Ключевые слова: химическая радиоспектроскопия, электронный парамагнитный резонанс, ядерный магнитный резонанс, спектрометры, научное приборостроение, Е. К. Завойский, Я. К. Сыркин, Л. А. Блюменфельд, В. В. Воеводский, Ю. Н. Молин, Ю. Д. Цветков, А. Г. Семенов, Р. З. Сагдеев, Э. И. Федин.
Keywords: chemical radio spectroscopy, electron paramagnetic resonance, nuclear magnetic resonance, spectrometers, scientific instrumentation, E. K. Zavoysky, Ya. K. Syrkin, L. A. Blumenfeld, V. V. Voevodsky, Yu. N. Molin, Yu. D. Tsvetkov, A. G. Semenov, R. Z. Sagdeev, E. I. Fedin

ПТУШЕНКО Василий Витальевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории электрогенных фотопроцессов НИИ физико-химической биологии имени А. Н. Белозерского Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, научный сотрудник Института биохимической физики имени Н. М. Эмануэля РАН (Москва). Автор и соавтор более 50 научных работ и 70 научно-популярных работ, в том числе по истории науки, включая монографию по истории магнитного резонанса

© В. В. Птушенко, 2023

Когда говорят о *магнитно-резонансной томографии* (МРТ), то имеют в виду *томографию* (получение послойного изображения внутренней структуры объекта), основанную на явлении *ядерного магнитного резонанса* (ЯМР). Значительно менее известным методом является *ЭПР-томография*, базирующаяся на явлении *электронного парамагнитного резонанса*, хотя два этих метода появились почти одновременно, с разницей всего лишь в несколько лет.

ЭПР и ЯМР имеют близкую физическую природу, поэтому и их открытие, и дальнейшие исследования тесно переплетены друг с другом. Оба явления связаны с тем, что микроскопическая частица, обладающая *магнитным моментом*, во внешнем магнитном поле может находиться в нескольких состояниях, и переход между этими состояниями сопровождается резонансным поглощением или излучением энергии электромагнитного поля. Различие же заключается в том, что в одном случае (ЯМР) этой микроскопической частицей является атомное ядро, а в другом (ЭПР) – электрон, точнее атом или молекула, с которыми этот электрон связан.

Начало

Исторически первыми были исследования, точнее поиск, ЯМР. Пионером стал голландский физик К.Я. Гортгер, который с середины 1930-х гг. проводил систематические исследования вещества в переменных электромагнитных полях, пытаясь обнаружить резонансное поглощение энергии. Поиски самого Гортгера оказались безуспешными, однако его исследования помогли американскому физiku И.А. Раби



Первооткрыватель электронного парамагнитного резонанса, профессор Казанского университета Е. К. Завойский. Из музейного фонда Казанского (Приволжского) федерального университета



Е. К. Завойский выступает со вступительным словом на Всесоюзном совещании по парамагнитному резонансу. 1 июня 1959 г. Из архива Ю.Н. Молина

«ЗДЕСЬ ВСЕ САМОДЕЛЬНОЕ И НЕ ИМЕЕТ НИКАКОЙ НАУЧНОЙ ЦЕННОСТИ...»

В Казанском университете была создана академическая комиссия, призванная определить, какие исследования, ведущиеся в университете, заслуживают продолжения. Вот воспоминания самого Е.К. Завойского о ее работе: «Комиссия вошла в лабораторию № 5 без стука в момент, когда я наблюдал ядерный магнитный резонанс, сидел за установкой и с помощью реостата изменял силу тока в электромагните Дюбуа. Эта установка ничем не отличалась от используемых теперь, но в них применяются электромагниты с существенно более однородным магнитным полем. Комиссия пересекла луч света от гальванометра до шкалы и остановилась, не обращая внимания на мои

жесты; она стояла полминуты, и затем прозвучала фраза: “Здесь все самодельное и не имеет никакой научной ценности” (я, очевидно, подпадал тоже под это определение, и в этом была значительная доля истины). Я хотел было заговорить, но комиссия уже шла к двери. Все... Мне было сказано: “Если вы завтра не вытряхнете все из этой комнаты, то будут поставлены к двери часовые с приказом не пускать вас в комнату”. Разрушить установку я не мог, так как мы потратили на ее сооружение более полутора лет, а подготовка нашей картины ЯМР продолжалась более двух лет, и с ней была спаяна целая жизнь троих (С.А. Альтшулера, Б.М. Козырева и моя). Но угроза была приведена в исполнение, комната разгромлена, оборудование как мусор выброшено за дверь, а в комнате № 5 (площадь ~ 80 м²) более полутора лет взвешивался и раздавался хлеб для сотрудников ФТИ. Комната так и осталась пуста. Впоследствии в ней произошел пожар, и она долго стояла как мрачный памятник былого... Проходя мимо этого места, я и теперь чувствую себя как на кладбище, где лежат близкие» (Цит. по: Новиков, 1993)

«Домашний» ЭПР-спектрометр Е.К. Завойского, собранный им из подручных материалов в 1950-е гг. в Москве (слева). Из музейного фонда Казанского (Приволжского) федерального университета



зарегистрировать резонансное поглощение в атомных пучках, за что тот получил Нобелевскую премию по физике в 1944 г.

Исследования Гортера вдохновили и советского ученого Е.К. Завойского, который к тому времени уже занимался в Казанском университете поисками резонансного поглощения электрических составляющих радиочастотных полей различными жидкостями и газами. Именно с попыток зарегистрировать ЯМР начались работы Завойского в области магнитного резонанса. Можно было бы даже сказать, что они увенчались успехом: первые результаты получили уже к июню «военного» 1941 г. Однако опубликованы они не были, работа не была завершена, а экспериментальную установку буквально выбросили на помойку по решению университетского начальства и с «благословения» физиков Академии наук, размещившейся в стенах Казанского университета после эвакуации из Москвы и Ленинграда.

В августе 1946 г. был отстранен от должности академик П.Л. Капица, директор московского ИФП АН СССР, где Е.К. Завойский мог проводить свои исследования по ЭПР. Ректор же Казанского университета, сотрудником которого был Завойский, не был склонен разрешать тому совершать длительные академические поездки, необходимые для работы. Все это в совокупности с плохими условиями проживания его семьи вынудило ученого в 1947 г. принять приглашение руководителя советского Атомного проекта И.В. Курчатова присоединиться к его команде. Завойский покинул Казань, но его друзья и соратники Семен Альтшуллер и Борис Козырев остались и позже основали признанную во всем мире школу магнитной спектроскопии. В течение десятилетия, последовавшего за уходом Завойского, эта исследовательская группа опубликовала более 70 статей по многим аспектам магнитного резонанса, что в то время составило значительную долю от всех публикаций на эту тему в СССР.

Конечно, в течение первого десятилетия после открытия Завойского в этой области работали и другие советские исследовательские группы из различных научно-исследовательских учреждений: московского Физического института им. П.Н. Лебедева, МГУ, Уральского государственного университета, тбилисского Института физики. Но, вспоминая образное выражение французского физика А. Кастлера (1971), сравнившего ЭПР с Волгой, которая начинается с небольшого истока, а затем превращается в огромный поток, нужно признать, что в СССР в те годы ЭПР и магнитный резонанс в целом все еще оставались слабым ручейком



Академик П.Л. Капица – основатель и директор Института физических проблем АН СССР (Москва), лауреат Нобелевской премии по физике (1978 г.) за открытие явления сверхтекучести жидкого гелия. Известен также своими работами в области физики низких температур и сверхсильных магнитных полей. 1930-е гг. *Public Domain Dedication*

Сам Завойский начал заниматься военной тематикой и смог вернуться к исследованиям лишь в конце 1943 г. Логика научного исследования привела его к мысли попытаться обнаружить резонансное поглощение электронной, а не ядерной подсистемы, т.е. ЭПР. Эта работа завершилась полным успехом уже в начале следующего года.

Спустя еще два года, в 1946 г. американские физики Э. Парселл и Ф. Блох независимо друг от друга зарегистрировали сигналы ЯМР. В Европе и США это открытие вызвало огромный интерес и буквально взрывное развитие исследований в новой области. После первых статей Парселла и Блоха в течение нескольких лет были опубликованы сотни статей по магнитному резонансу,

новые явления и методы в этой области стали предметом обсуждения на многих конференциях.

Первыми публикациями, где появились ссылки на работу Завойского, стали статьи и книги зарубежных ученых – в СССР научное и техническое значение открытия отечественного ученого осознали значительно позже. «Взрыв» исследований в области ЭПР, да и в целом магнитного резонанса, начался здесь лишь в 1959–1960 гг. В течение первых полутора десятилетий после открытия Завойского спектроскопия ЭПР оставалась областью интересов практически исключительно казанской школы физиков – непосредственных коллег Завойского, а также некоторых других связанных с ней научных групп в других городах. Соотечественники ученого вспомнили о его работе как о достойной Нобелевской премии и незаслуженно ею обойденной, когда поезд давно ушел. Можно только добавить, что Блоху и Парселлу Нобелевская премия по физике была присуждена уже в 1952 г.

Тем, что открытие Завойского все же дождалось признания на родине, а его автор смог, по крайней мере, защитить докторскую диссертацию и продолжить эту работу в течение хотя бы еще трех лет, мы обязаны двум людям: тогдашнему главе Института физических проблем АН СССР и будущему нобелевскому лауреату академику П.Л. Капице и его сотруднику, будущему академику А.И. Шальникову, специализировавшемуся на физике низких температур. В 1944 г. они стали, по-видимому, единственными физиками в СССР, оценившими значение и перспективность открытия ЭПР. Три десятилетия спустя Завойский напишет Капице: «Вы и Александр Иосифович Шальников во многом определили счастливую судьбу ЭПР!»

Шальников, который, как и Завойский, «был мастер создавать приборы и установки своими руками», помог тому получить необходимые детали для его второй, улучшенной версии ЭПР-спектрометра, созданной в 1945 г. (Завойский, 1945). Он же привлек к Завойскому и его открытию ЭПР внимание Капицы, который предоставил ученому возможность проводить исследования в своем институте, что помогло преодолеть недоверие московских физиков. А в 1946 г. академик поспособствовал выдвижению Завойского на соискание Сталинской премии – высшей награды СССР того времени, которую тот так и не получил.

На пути в химию и биологию

Были еще три человека, про которых мы можем с уверенностью сказать, что их научная проницательность позволила «прорвать плотину» глухоты научного сообщества к открытию Завойского, – Я.К. Сыркин, Л.А. Блюменфельд и В.В. Воеводский.

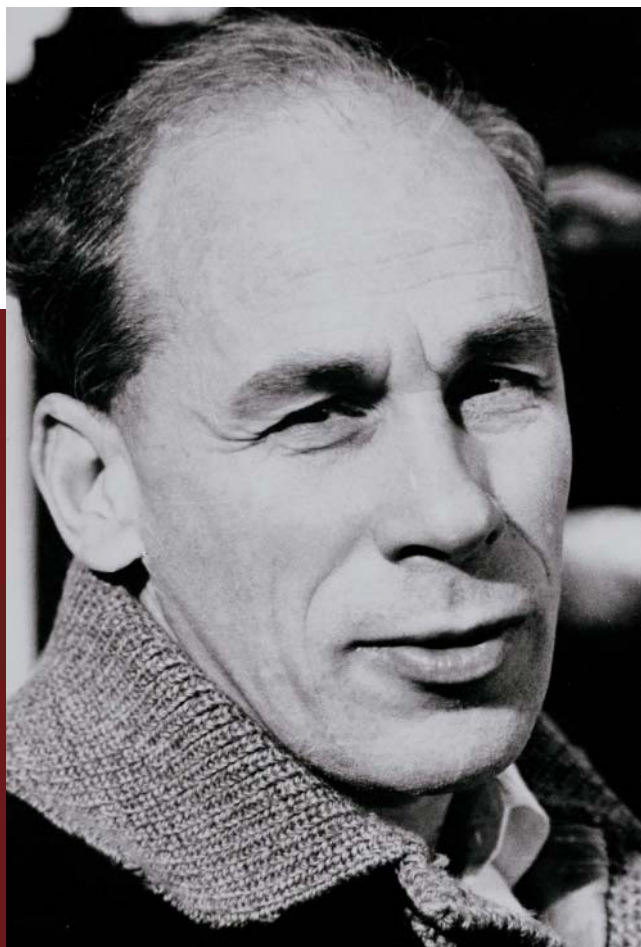


А.Э. Калмансон и Л.А. Блюменфельд – создатели первого ЭПР-спектрометра для биологических исследований. 1955–1956 гг. Фото из архива С.Э. Шнолля

Академик Я.К. Сыркин – один из основателей теоретической химии в нашей стране. Будучи химиком, он, однако, очень остро чувствовал все новые движения в физике, которые могли что-то дать для химии, постоянно выступал и писал о новых физических методах исследований. Его проницательность в понимании путей развития химии поражает: по-видимому, он был одним из первых в СССР, кто заметил и оценил значение явления *комбинационного рассеяния света*, открытого в 1928 г. московскими физиками Л.И. Мандельштамом и Г.С. Ландсбергом и независимо индийскими учеными Ч.В. Раманом и К.С. Кришнаном.

Спустя двадцать лет ситуация повторилась. В 1948 г., уже будучи член-корреспондентом АН СССР, Сыркин решил организовать на основе ЭПР исследования в Научно-исследовательском физико-химическом институте имени Л.Я. Карпова, где он заведовал лабораторией строения молекул. Он поручил своему докторанту Л.А. Блюменфельду «познакомиться с новой в то время областью микроволновой спектроскопии и магнитного резонанса и сделать на эту тему доклад на институтском семинаре по строению вещества» (Блюменфельд, 1992).

Но момент оказался неподходящим: в конце 1940-х гг. в советской науке и обществе были развернуты идеологические кампании, одна за другой многие области науки были буквально разрушены, и в первую очередь генетика как «деятельность, чуждая и вредная советскому народу». Аналогичные кампании, хотя и не всегда столь известные, проводились и во многих других областях науки. В химии была объявлена идеалистической *резонансная теория* американца Л. Полинга, и Блюменфельд, который пытался ее отстаивать, был



Академик В. В. Воеводский – один из крупнейших ученых в области химической физики, основоположник химической магнитной радиоспектроскопии в нашей стране. Один из организаторов Института химической кинетики и горения СО АН СССР (Новосибирск). Фото из архива ИХКГ СО РАН

уволен из института. Вскоре и сам Сыркин стал жертвой этой кампании и смог приступить к исследованиям ЭПР в органической химии лишь в 1959 г.

К счастью, руководство Центрального института усовершенствования врачей предложило Блюменфельду работу. Он начал исследования по окислению гемоглобина, а поскольку эта реакция изменяет магнитные свойства белка, Блюменфельд решил прибегнуть к ЭПР после длительного использования других методов. В марте 1952 г. он поделился этой идеей со своим младшим коллегой А.Э. Калмансоном, после чего они с энтузиазмом приступили к созданию ЭПР-спектрометра.

Однако уже полгода спустя Блюменфельд снова был уволен «в рамках борьбы с безродными

космополитами». Лишь в 1953 г. началось медленное возвращение к нормальной жизни: Блюменфельд восстановился в институте, где они с Калмансоном продолжили разработку первого ЭПР-спектрометра для биологии.

Ученый обратился к одному из наиболее важных вопросов, стоявших на повестке дня у физики биологических систем: проблеме переноса электронов в белках. В начале 1941 г. венгерский биохимик А. Сент-Дьердьи выдвинул гипотезу, согласно которой белок можно рассматривать как своего рода полупроводник, и допустил, в качестве одной из возможностей, необходимость переноса электронов через белки при фотосинтезе. Блюменфельд предположил, что небелковые компоненты или субстраты белковых ферментов могут вводить электроны в полосу проводимости белка и что ЭПР может служить надежным методом для экспериментального доказательства предложенной гипотезы.

Ключевую роль в истории трансляции и развития идей ЭПР-спектроскопии сыграло знакомство Блюменфельда с академиком Н.Н. Семеновым, директором Института химической физики (ИХФ) АН СССР, и его учеником В.В. Воеводским, которое состоялось еще в 1946–1947 гг. Официальным сотрудником этого института Блюменфельд стал лишь в 1959 г., однако личное общение этих ученых, начавшееся в те годы, предопределило мощное развитие ЭПР- и ЯМР-спектроскопии в ИХФ. Как позже вспоминал Блюменфельд, «все эти годы я продолжал довольно регулярно встречаться с Николаем Николаевичем, у которого в это время возник интерес к биологическим проблемам... Примерно в это же время [в 1949 г. – В.П.] мы начали обсуждать возможности метода ЭПР с моим другом В.В. Воеводским» (Блюменфельд, 1992).

Сам Воеводский в своем исследовании окисления водорода в 1947 г. безуспешно попытался применять классические методы измерения магнитной проницаемости для обнаружения промежуточных радикалов, что, возможно, и побудило его использовать ЭПР. С помощью этого метода он изучал реакции радиолитической рекомбинации радикалов в твердых органических материалах, газофазные радиационные реакции, а также химические связи и электронную структуру металлоорганических соединений.

В середине 1950-х гг. в группу Воеводского пришли выпускники химического факультета МГУ Виктор Чибрикин и Николай Бубнов, которые занялись конструированием самых первых в институте, пусть и не совершенных, ЯМР-, а затем и ЭПР-спектрометров. Чтобы найти необходимые детали для последнего, они ездили по подмосковным «кладбищам» списанных самолетов в поисках радаров. Фактически это был один из самых простых вариантов ЭПР-спектрометра, без какой-либо высокочастотной модуляции, а его чувствительности

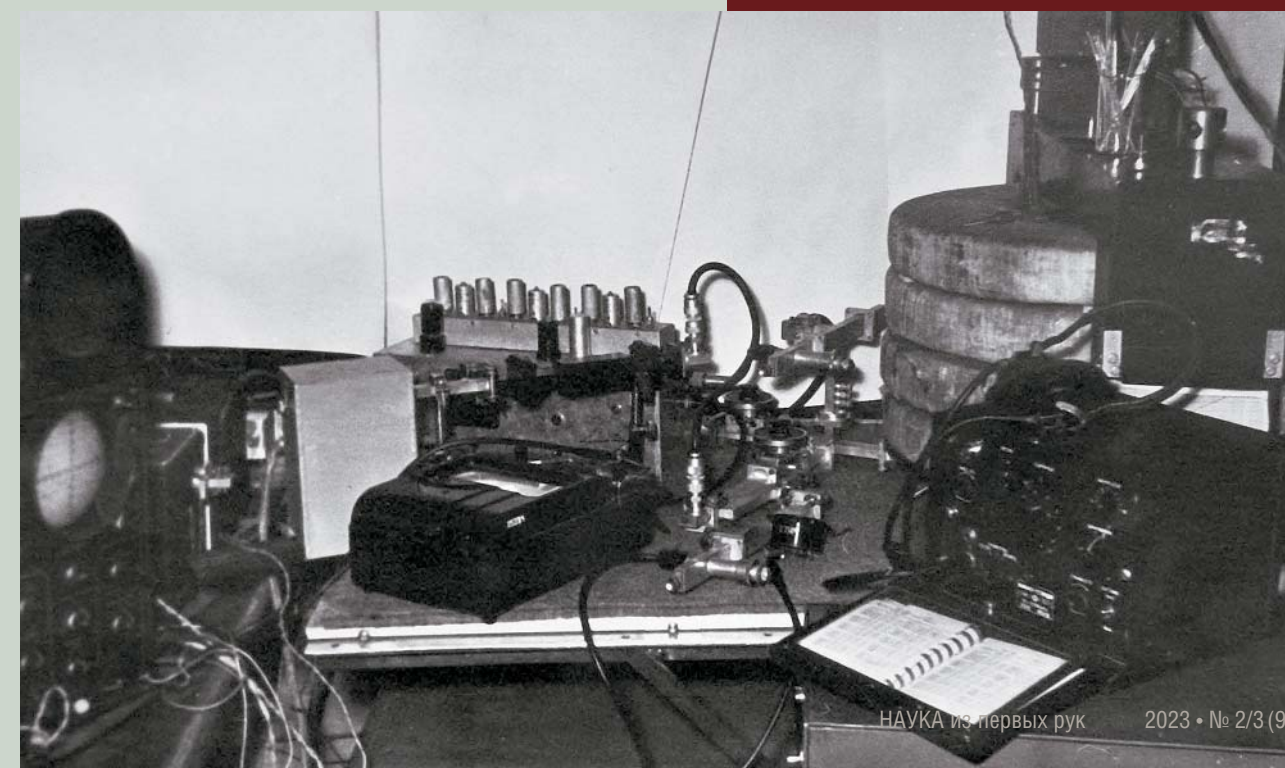
В ШАГЕ ОТ ЭПР-ТОМОГРАФИИ

Свой первый ЭПР-спектрометр будущие академики Ю. Цветков и Ю. Молин собрали еще на 3-м курсе Московского физтеха в качестве лабораторной практики. В лабораториях и подсобных помещениях института тогда хранилось немало неиспользуемых физических приборов и деталей от них, таких как «трофейный» двухтонный магнит с прямоугольными полюсными наконечниками и советский прибор для измерения диэлектрических потерь. Все пошло в ход: и резонатор с волноводами, и клистрон, и детектор СВЧ. Получившийся ЭПР-спектрометр привлек внимание В.В. Воеводского, который читал на их курсе лекции по химической кинетике, и он начал водить на экскурсии к самодельному прибору гостей Физтеха. С одной группой – генералами в сопровождении ректора – случился конфуз. Полагая, что таким визитерам нужно показать «большой» сигнал, студенты заполнили углем, который использовался в качестве источника сигнала ЭПР, всю ампулу. И вместо обычного узкого одиночного пика присутствовавшие увидели два! Создатели спектрометра стояли в растерянности, а Воеводский быстро сформулировал некую теорию, объяснявшую столь необычный спектр, и изложил ее генералам. Позже выяснилось, что коварную шутку сыграло обилие материала, помещенного в резонатор. Длинный цилиндрический многомодовый резонатор оказался заполнен парамагнитным образцом вдоль всей оси и в не слишком однородном магнитном поле создал разные резонансные условия для разных крупинок угля. Этот анекдотический случай мог стать началом ЭПР-томографии, но в то время до нее было еще очень далеко



Ученики академика В. В. Воеводского Ю. Н. Молин и Ю. Д. Цветков, 1962 г. Фото из Открытого архива СО РАН

Установка для ЭПР-спектроскопических исследований химических реакций, собранная Ю. Н. Молиным и Ю. Д. Цветковым в Институте химической кинетики и горения АН СССР. Фото из архива Ю. Д. Цветкова





Инженер А. Г. Семенов в 1958 г. создал первый в СССР спектрометр электронного парамагнитного резонанса ЭПР-2 (внизу). Среди его разработок – один из лучших для своего времени ЭПР-спектрометр (ЭПР-3, или «Сибирь»), первая в мире установка для бесскважинной разведки подземной воды на основе ЯМР в магнитном поле Земли («Гидроскоп») и др. 1960-е гг. Фото из архива ИХКГ СО РАН



«ЕСЛИ КАЖДУЮ НАХОДКУ БУДУ ПАТЕНТОВАТЬ, У МЕНЯ ВРЕМЕНИ РАБОТАТЬ НЕ ОСТАНЕТСЯ»

А. Г. Семенов, создатель одних из первых отечественных ЭПР-спектрометров, к 1956 г. был специалистом с большим опытом в радиотехнике, хотя и без ученой степени. Выбрав схему с высокочастотной модуляцией магнитного поля, он примерно за год сконструировал работоспособный, с достаточной стабильностью и чувствительностью ЭПР-спектрометр.

Новый прибор было решено отправить на Всемирную выставку в Брюсселе «Экспо-1958», где выставлялись также несколько зарубежных спектрометров ЭПР, в том числе из Великобритании и США. Это было одно из значимых событий той эпохи, и АН СССР получила приглашение в ней участвовать, что свидетельствовало об ослаблении железного занавеса. Ответственными за показ ЭПР-спектрофотометра были В. В. Воеводский и В. М. Чибрикин, который представил сценарий мультфильма для сопровождения демонстрации реальной работы прибора.

В СССР, и в первую очередь в ИХФ, прибор Семенова пользовался все большим спросом. Экспериментальные мастерские института изготавливали его и для других лабораторий и институтов, однако не могли удовлетворять возрастающий спрос. Семенов продолжал вносить в конструкцию все новые и новые усовершенствования, совершенно оригинальные, и позже разработал еще целый ряд моделей ЭПР-спектрометров. Много лет спустя, когда один из коллег предложил инженеру запатентовать удачную техническую находку, тот ответил: «У меня такие находки – каждый день. Если каждую буду патентовать, то у меня времени работать не останется»

было недостаточно для регистрации радикальных промежуточных продуктов, образующихся в ходе химических реакций.

Чуть позже из Московского физтеха, где Воеводский читал лекции, пришли Юрий Цветков и Юрий Молин, работа которых также началась с конструирования ЭПР-спектрометра. Но когда эта разработка не увенчалась успехом, Воеводский пришел к выводу, что пора ставить работу на более профессиональную основу. Осенью 1956 г. в группе Воеводского появился талантливый инженер А. Г. Семенов, позже разработавший ряд превосходных ЭПР- и ЯМР-спектрометров.

Эра магнитного резонанса в СССР

Уже в конце 1950-х гг. были опубликованы самые первые статьи Блюменфельда и Калмансона, а также исследовательской группы Воеводского по биологическому и химическому ЭПР. К этому времени Молину

удалось получить спектры ЭПР ряда органических соединений непосредственно во время их облучения пучком электронов ускорителя, который до этого использовался в институте в работах по атомной программе. Молин предложил смелое решение: просверлить в полюсном наконечнике магнита спектрофотометра канал вдоль оси (т.е. вдоль линий магнитного поля), по которому пучок шел к образцу. Тогда же Бубнов, уже в качестве аспиранта Воеводского, начал ЭПР-исследования фотосинтеза.

С современной точки зрения все эти работы вряд ли в полной мере можно отнести к биологической или химической радиоспектроскопии – объектами исследований служили замороженные или лиофилизированные ткани, сухие образцы белка, подвергнутого воздействию гамма-излучения, или органические кристаллы. Тем не менее это первые исследования в СССР, где были сделаны попытки применить методы магнитной радиоспектроскопии к решению химических или биологических задач. Чуть позже эти попытки развились в настоящий революционный метод исследования строения вещества и протекающих в нем процессов. Так, ученик Блюменфельда А. Ф. Ванин обнаружил в клетках дрожжей и тканях животных сигналы ЭПР нового типа и стал одним из первооткрывателей и исследователей метаболизма оксида азота.

В конце 1950-х гг. многие другие сотрудники института начали проводить исследования магнитного резонанса, которые открыли путь к новым областям науки, таким как *спиновая химия*. Вообще, можно сказать, что работы, начатые Блюменфельдом и Воеводским, нашли благодатную почву в ИХФ и уже в середине 1950-х захватили многие научные группы.

Начиная с 1954 г. применению ЭПР в химии и прогрессу этих исследований был посвящен ряд



Ученик академика В. В. Воеводского Н. Н. Бубнов с разработчиком приборов магнитного резонанса А. Г. Семеновым (вверху), со своим коллегой Ю. Д. Цветковым (внизу). 1960-е гг. Фото из архива ИХКГ СО РАН



заседаний ученого совета института, где прочитали свои доклады хорошо известные ученые, такие как Н. Д. Соколов, позднее основавший лабораторию ЯМР в МГУ, или известный эксперт в области радиофизики Б. К. Шембель, представивший подробный анализ оборудования, необходимого для ЭПР- и ЯМР-исследований. Первое из этих заседаний состоялось 11 июня 1954 г., и эту дату можно рассматривать как официальное начало крупномасштабных исследований в области биологической и химической ЭПР-спектроскопии в России.

Для расширения работ по магнитному резонансу в 1955 г. в ИХФ был создана комиссия «для проработки практических мероприятий по развитию



Основная группа сотрудников лаборатории механизмов цепных и радикальных реакций Института химической кинетики и горения СО АН СССР во главе с В. В. Воеводским переехала в Новосибирск в январе 1961 г. На фото – Ю. Н. Молин, Ю. Д. Цветков и В. В. Воеводский около нового здания института. Фото из архива Ю. Н. Молина

парамагнитного резонанса» во главе с Воеводским; среди ее членов был Д. Г. Кнорре, будущий организатор и первый директор Новосибирского института биоорганической химии (ныне – Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН).

В ИХФ работы по ЯМР-спектроскопии подхватила в первую очередь лаборатория Л. Л. Декабруна, крупного специалиста в области приборостроения и электроники. Его сотрудники, перешедшие позже в филиал ИХФ в новом научном центре в подмосковной Черноголовке, к началу 1970-х гг. разработали и запустили в работу единственные тогда в СССР спектрометры ЯМР в сильном магнитном поле на сверхпроводящих магнитах. Из лаборатории Декабруна вышел и известный советский биофизик В. Ф. Быстров, создавший впоследствии центр ЯМР-спектроскопии в Институте биоорганической химии им. М. М. Шемякина АН СССР.

А в лаборатории Г. Б. Манелиса в той же Черноголовке Л. Н. Ерофеев разработал спектрометры двойного ЯМР и спектрометры ЯМР для исследования твердого тела.

Так Институт химической физики АН СССР оказался центром распространения ЭПР-спектроскопии – разумеется, прежде всего химической – в научном сообществе нашей страны.

Освоение Сибири

Когда в 1957 г. было создано Сибирское отделение АН СССР, в его составе был организован Институт химической кинетики и горения, куда официально через два года перевелся на работу Воеводский в качестве заведующего лабораторией механизмов цепных и радикальных реакций, а также часть его сотрудников. До начала 1961 г. эта лаборатория ИХКиГ работала в стенах московского института, а в январе этого года основная группа переехала в строящийся новосибирский Академгородок.

На новом месте начался и настоящий расцвет исследований в новой области – *химической магнитной спектроскопии*. За шесть неполных лет жизни и работы в Новосибирске Воеводскому удалось создать там не только поистине интеллектуальный центр,

но и «очаг» разработки и производства необходимых приборов.

Основой научной тематики послужили как работы, начатые им и его учениками еще в Москве, так и ряд новых направлений: рекомбинация образующихся радикалов, внутримолекулярный перенос энергии и др., радикалы в реакциях горения, фотохимия и химия полимеров. Начались и совместные работы с Институтом цитологии и генетики СО АН СССР.

Одновременно велись экспериментальные и теоретические работы по развитию самого метода – релаксационных методик, метода *спинового эха*. Параллельно шла и разработка новых приборов. Так, уже в течение первых лет работы в Сибири А. Г. Семенов сконструировал новый спектрометр ЭПР, известный как «ЭПР-3», или «Сибирь».

Более того, Воеводскому удалось создать еще один пролет в мостике, соединяющем «сознание и бытие» научных исследований, – собственно конструкторско-производственный блок. Почти сразу по приезду, в 1962 г. он инициировал в ИХКиГ открытие Специального конструкторского бюро научного приборостроения (СКБ НП). После смерти Воеводского оно было переведено в Институт автоматики и электрометрии СО АН СССР, а еще через четыре года приобрело статус самостоятельного учреждения (ныне –

Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН).

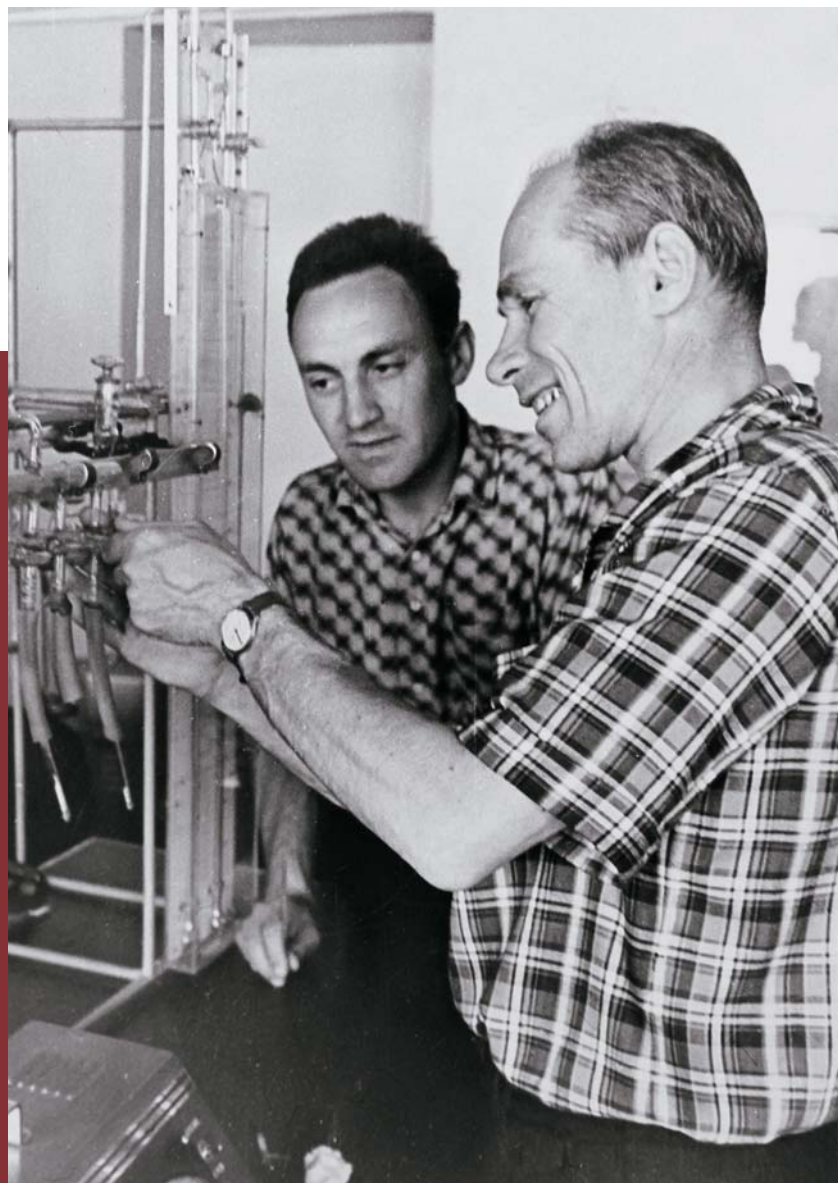
Специально созданный в Академгородке Опытный завод СО АН СССР обеспечивал производство научного оборудования малыми сериями – именно так спектрометр ЭПР «Сибирь» оказался доступен другим научным институтам.

Академик Воеводский скоропостижно скончался в 1967 г. – к тому времени ему не исполнилось и 50 лет. Но его дело – развитие магнитной радиоспектроскопии во всех проявлениях, теоретическом, экспериментальном, конструкторском, – было подхвачено его учениками.

Ю. Н. Молин, наряду с исследованиями в области ЭПР, начал работы по химическому ЯМР. Изучением явления спинового эха занялся Ю. Д. Цветков: одним из результатов этого направления стала разработка импульсного ЭПР-спектрометра, серийное производство которого, к сожалению, так и не удалось организовать. Будущие академики К. М. Салихов и К. И. Замараев разработали основы теории спинового обмена в растворах. Благодаря работам Молина и Салихова, а также

Академик В. В. Воеводский на Международном симпозиуме по свободным радикалам в Падуе (Италия). 1965 г. Фото из архива Ю. Д. Цветкова





В. В. Воеводский с Ю. Н. Молиным обсуждают результаты изучения реакций свободных радикалов в органических веществах методом парамагнитного резонанса. ИХКиГ, начало 1960-х гг. Фото из архива Ю. Н. Молина

Р.З. Сагдеева, будущего организатора Международного томографического центра, и московского физхимика А.Л. Бучаченко широкое развитие получила уже упомянутая спиновая химия.

Не прекращали работу и ученики Воеводского, оставшиеся в Москве: Я.С. Лебедев начал специальную исследовательскую программу по ЭПР высокого поля / высокой частоты в физической химии, а В.Б. Казанский разработал радиоспектроскопические методы изучения механизма гетерогенного катализа.

Зигзаги истории

Выше мы неоднократно и неслучайно упоминали о проблеме, находящейся, казалось бы, в стороне от «чистой» науки, – развитии научного приборостроения. В действительности эта проблема была теснейшим образом связана с собственно научной работой.

Развитие науки неразрывно сопряжено с приборной базой: отсутствие качественной, соответствующей сегодняшним требованиям аппаратуры делает невозможными исследования на мировом уровне. Воеводский, занявшийся проблематикой химической радиоспектроскопии еще в «доприборную эпоху» и лично преодолевший весь путь от создания первых примитивных лабораторных установок до серийных приборов топ-уровня, это прекрасно понимал. Именно этим можно объяснить его большую административную деятельность по организации производства научных приборов.

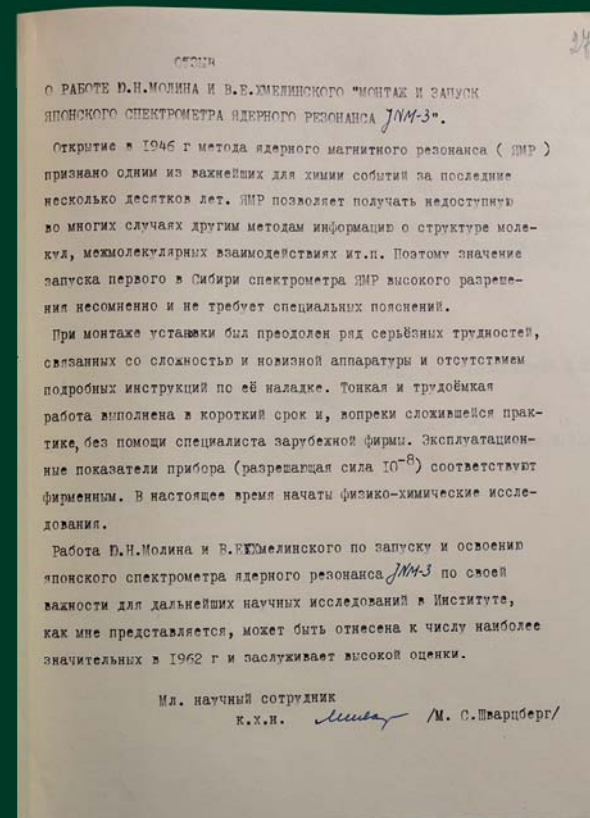
Воеводский не только руководил Научным советом по приборостроению при Президиуме СО АН СССР, созданным для координации работ по разработке и производству научных приборов, но и занимался аналогичной деятельностью на уровне всей Академии. Так, он стал руководителем специально созданной в 1959 г. Комиссии по радиоспектроскопии АН СССР. После смерти Воеводского ее четыре года возглавлял Л. А. Блюменфельд, а после него – физик Э.И. Федин.

Комиссия была призвана быть представителем «низового» научного мира, аккумулирующим запросы исследователей, их требования к оборудованию и транслирующим их руководству Академии и далее потенциальным производителям.

Федин, чья собственная научная деятельность была связана с ЯМР (еще в 1961 г. он создал группу ЯМР-спектроскопии в Институте элементоорганических соединений

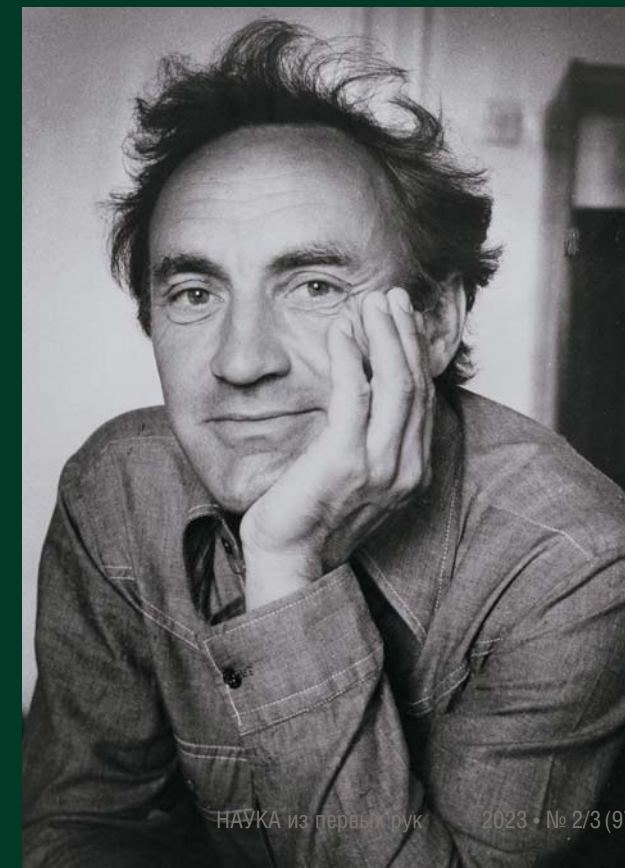
Академик Ю. Д. Цветков стал одним из инициаторов развития и широкого применения радиоспектроскопических методов для исследований строения и свойств свободных радикалов, атомов, ионов, а также изучения механизмов реакций, протекающих в веществе под действием ионизирующего излучения и света. Он разработал и впервые использовал в исследованиях метод электронного спинового эха (ЭСЭ), открывший новые возможности в химии и физике свободных радикалов

Академик Ю. Д. Цветков – выдающийся радиоспектроскопист, крупный специалист в области химической физики. Фото из архива Ю. Д. Цветкова



Характеристика на работу Ю. Д. Молина и В. Е. Хмелинского «Монтаж и запуск японского спектрометра ядерного резонанса», 1964 г. Материалы Научного архива СО РАН

Академик Ю. Н. Молин – выдающийся ученый-физхимик, один из создателей спиновой химии, директор новосибирского Института химической кинетики и горения в 1971–1993 гг. 1982 г. Фото из архива Ю. Н. Молина



**«ВСЕ ВРЕМЯ КАЗАЛОСЬ: НУ ВОТ ЕЩЕ НЕМНОГО,
ЕЩЕ ЧУТЬ-ЧУТЬ ПОДНАЖЕМ, И БУДУТ У НАС ПРИБОРЫ»**

Имя Э.И. Фебина почти неизвестно научному сообществу, как и его усилия по развитию советского научного оборудования, ради чего он пожертвовал даже собственной научной работой. Работая в Институте элементоорганических соединений, Федин занялся использованием методов магнитного резонанса для уточнения данных рентгеноструктурного анализа и быстро осознал, что хорошие результаты недостижимы без хороших приборов. Участвуя в заседаниях Комиссии по радиоспектроскопии АН СССР, он неоднократно убеждался в провале попыток разработать ЯМР-спектрометр в СКБ академического приборостроения АН СССР.

Удачей стало знакомство Фебина с инженером А.Н. Любимовым, в результате чего «был создан прибор ... превосходящий по своим данным любой заграничный спектрометр с равной рабочей частотой». Оставалось только передать эти проекты и прототипы в СКБ АП и привлечь его к разработке производственной документации, однако быстро стало ясно, что энтузиазм Фебина никто не разделял.

В 1963 г. Федин вместе с академиком А.Н. Несмеяновым, надеясь переломить ситуацию, опубликовали в «Литературной газете» статью, в которой говорили о большом спросе на ЯМР-спектрометры со стороны исследовательских и промышленных химических лабораторий и о непригодности приборов, разработанных СКБ. В публикации прозвучало и обвинение Государственному комитету по координации научно-исследовательских работ в СССР в игнорировании тревожной ситуации с развитием отечественных исследований. В ответ редакция газеты была засыпана негодующими письмами и телефонными звонками из партийных и властных структур, а Федину, как «клеветнику», пришлось давать объяснения перед специальной комиссией. Но в результате дело сдвинулось, подготовленное Фединым техническое задание было передано в СКБ, а сам он в течение следующей четверти века был вовлечен в работы по организации производства магнитно-резонансного оборудования.

Однако создать приборы для магнитного резонанса, помимо бюрократического бремени и отсутствия экономической мотивации у основного разработчика, не позволяли сильнейшие технические трудности вследствие отсутствия в СССР развитой электронной промышленности. Особую озабоченность вызывал запуск производства прототипов приборов на заводах. Несмотря на строгие правила и требования к качеству, устройства, сошедшие с конвейера, часто не соответствовали стандарту. Во время одной из своих инспекций Федин увидел, как решается задача, требующая почти ювелирной точности, — приготовление сплава для наконечников магнитов: вместо работы в халате, перчатках и со специальным инструментом рабочий соскребал что-то лопатой с земли и закидывал это в печь. В таких условиях контроль за технологическими процессами был попросту невозможен.

Все это усугублялось проблемами идеологического характера. «Делу серьезно мешала официальная установка на то, что Совет и Управление [Совет по научному приборостроению и Управление научного приборостроения. — В.П.] обязаны обеспечить соответствие разрабатываемых у нас приборов уровню лучших зарубежных аналогов. Рекомендовалось даже этот уровень превзойти. Всем было ясно <...>, что эта установка — чистая утопия, но надо было делать вид, что мы способны этого добиться» (Цит. по: Кессених, Птушенко, 2019). Преодолеть эти трудности можно было в сотрудничестве с зарубежными компаниями, но этому мешало в первую очередь нежелание советских руководителей. В результате Федин провел множество переговоров с разработчиками



Советский физик, д-р физ.-мат. наук Э.И. Федин с 1964 г. занимался организацией создания серийных советских ЯМР-спектрометров. Председатель Комиссии по радиоспектроскопии АН СССР в 1971–1991 гг.

и производителями ЭПР- и ЯМР-спектрометров из Восточной Европы. Эти поставки, в несколько раз превышавшие отечественное производство, частично компенсировали острый дефицит МР-оборудования в СССР. Однако Фебина не устраивала такая зависимость — он мечтал сдвинуть с мертвой точки советскую индустрию магнитно-резонансного оборудования. К сожалению, несмотря на все его усилия, последнее звено цепочки (исследования и разработки — проектирование и технологическая разработка — массовое производство) оставалось неуправляемым. Результаты своей почти 30-летней деятельности по созданию советских магнитно-резонансных приборов сам Федин оценивал как полный провал: советская система на всех уровнях оказалась неспособной к такому высокотехнологичному производству



В 1971 г. по инициативе и под руководством будущего председателя СО АН СССР В.А. Коптюга (первый справа) в Новосибирском институте органической химии СО РАН (НИОХ) были организованы отдел физической органической химии и Научно-информационный центр по молекулярной спектроскопии. На фото слева направо: академик Л.В. Овсянников (Ин-т гидродинамики), академик С.С. Кутателадзе (Ин-т теплофизики), канд. экон. наук В.В. Кулешов (Ин-т экономики и организации промышленного производства), д-р хим. наук Ю.Н. Молин (Ин-т химической кинетики и горения), академик Д.К. Беляев (Ин-т цитологии и генетики), чл.-корр. Д.Г. Кнорре, заведующий лабораторией химии нуклеиновых кислот НИОХ. Из архива Ю.Н. Молина

АН СССР), где требования к качеству оборудования были еще выше, чем в случае ЭПР-спектроскопии, взялся за эту работу со всей ответственностью. Однако его поистине героические попытки наладить производство приборов для магнитно-резонансной спектроскопии в СССР потерпели неудачу.

В конце 1990-х гг., уже завершив свою приборостроительную деятельность в СССР, который также перестал существовать, Федин резюмирует: «Мудрый Л.А. Блюменфельд еще в 1970 г. предупреждал меня: “Эрлен, только не пытайтесь добиться перелома в деятельности советского научного приборостроения”. Я не внял этому предупреждению, ибо верил в людей типа Любимова [выдающийся разработчик ЯМР-спектрометров. — В.П.]. Все время казалось: ну вот еще немного, еще чуть-чуть поднажмем, и будут у нас приборы. Ведь есть же в СССР космические корабли и отличные самолеты!» (Федин, 1999).

Причин, по которым заглохло советское приборостроение в области магнитного резонанса, было много. Это и изменение общего климата в стране в 1970-х гг. по сравнению с «хрущевской оттепелью» 1960-х, и отставание от стран Запада в научно-техническом развитии, в первую очередь в области компьютерной индустрии, и даже сознательное ограничение потребностей советской науки.

Примером может служить эпизод, описанный Фединым, который при всей своей трагичности мог бы показаться анекдотичным: «Было совершенно ясно, что советские приборы без современной вычислительной техники, малогабаритной, быстродействующей и надежной, никогда не окажутся на уровне требований химиков и биологов. Тальрозе [В.Л. Тальрозе, бессменный глава Совета по научному приборостроению при Президиуме АН. — В.П.] провел в ГКНТ совещание по проблеме микропроцессоров. <...> Но на трибуну



поднялся один из столпов нашей электронной промышленности и, размахивая полукилограммовой платой «Электроники-60», заявил, что мы живем при развитом социализме, для которого уровень изделия, зажатого в его руке, более чем достаточен» (Федин, 2007).

Осознав безнадежность попыток наладить производство качественных ЭПР- и особенно ЯМР-спектрометров в СССР, Федин при поддержке директора ИНЭОС А.Н. Несмеянова попытался наладить взаимодействие Академии наук с западными производителями. Он надеялся создать при институте научно-методический центр «ИНЭОС – Брукер» совместно с тогдашним лидером производства в этой области, западногерманской фирмой *Bruker*.

Позже Федин признавался, что «центр в таком виде, какой нам с Уве [Айхоффом, специалистом в области ЯМР, представителем фирмы. – В.П.] померещился в 1975 г., так и не получился» (Федин, 2007). Центр был открыт при ИХФ, при этом самого Федина не допустили к работе в нем по «анкетным данным». Однако центр все же начал работу, и в том, что представители фирмы *Bruker* в течение нескольких десятилетий помогали обеспечивать отечественную науку столь необходимой для нее научной техникой, была заслуга именно Федина.

Научно-методический центр в ИХФ посещал и сам основатель фирмы *Bruker*, немецкий физик

Организатор и будущий директор Международного томографического центра Р.З. Сагдеев (второй слева) с К.М. Салиховым, директором Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского, и Ю.Н. Молиным, директором Института химической кинетики и горения. 1989 г. Фото из архива Ю.Н. Молина

и предприниматель Гюнтер Лаукин, избранный в 1988 г. в иностранные члены Академии наук СССР. Во время одного такого визита в конце 1980-х с ним познакомился ученик Воеводского и Молина, Р.З. Сагдеев, который в 1987 г. стал член-корреспондентом АН СССР.

К тому времени у Сагдеева возникла идея о создании нового, негосударственного научного и медицинского центра, специализирующегося в области МРТ, и Лаукин согласился финансово ее поддержать, причем предполагалось, что все доходы нового учреждения будут идти на его же развитие. Благодаря поддержке Лаукина, а также некоторой финансовой помощи со стороны Академии наук Сагдееву удалось построить здание нового института и наполнить его оборудованием.

Мы проследили лишь основные звенья цепи событий, сделавшей возможным то счастливое взаимодействие новосибирской научной школы магнитной радиоспектроскопии с фирмой *Bruker*, которое положило начало созданию нынешнего Международного томографического центра СО РАН.

Ведь речь шла о явлении, совершенно необычном для науки предшествующих семидесяти лет, – создании негосударственного научного учреждения по инициативе и усилиями частного лица. В то экономическое тяжелое время, когда люди часто вынуждены были бросать науку ради необходимости выжить, МТЦ удалось поддержать высококлассных специалистов новосибирской научной школы химической магнитной радиоспектроскопии.

Однако административная и финансовая жизнь негосударственного научного учреждения оказалась чрезвычайно трудной, и в конце концов оно стало частью Российской академии наук. И за десятилетия своего существования новому академическому институту удалось внести весомый вклад в российскую и мировую науку.

Современное здание Международного томографического центра – академического института, который начал свою историю в 1989 г. в составе Института химической кинетики и горения АН СССР. Фото из архива МТЦ СО РАН



Литература

Блюменфельд Л. Личные воспоминания // Дубовицкий Ф.И. Институт химической физики (Очерк истории). Черноголовка, 1992. С. 452–457.

Завойская Н.Е. История одного открытия. М.: ООО «Группа ИТД», 2007. 208 с.

Кессених А.В., Птушенко В.В. Магнитный резонанс в интерьере века: биографии и публикации. М.: Физматлит, 2019.

Птушенко В.В. Зарождение цепи // Вестн. РАН. 2019. № 89. С. 179–186.

Федин Э. Золотое клеймо неудачи (воспоминания о советском приборостроении ЯМР) // Научное сообщество физиков СССР 1950–1960-е и другие гг. Вып. 2. СПб.: РХГА, 2007. С. 366.

Ptushenko V. V., Zavoiskaya N. E. EPR in the USSR: the thorny path from birth to biological and chemical applications // Photosynth. Res. 2017. N. 134. P. 133–147.

Ptushenko V. V., Amiton I. P. To turn the tide in the Soviet scientific instrumentation: in memoriam Erlen I. Fedin (1926–2009) // Struct. Chem. 2018. N. 29. P. 1225–1234.

Ptushenko V. V. The unfinished Nobel race of Eugene Zavoisky: to the 75th anniversary of EPR discovery // Sci. Bull. 2019. N. 64. P. 146–148.

Ptushenko V. V., Linev V. N. A Review of the Dawn of Benchtop EPR Spectrometers-Innovation That Shaped the Future of This Technology // Molecules. 2022. N. 27. P. 5996.