

УДК 53(091)

**РЕСТАВРАЦИЯ УСТАНОВКИ,
НА КОТОРОЙ БЫЛО ОТКРЫТО ЯВЛЕНИЕ ЭПР***И.И. Силкин, А.В. Дуглав***Аннотация**

Проведена реставрация одной из первых установок Е.К. Завойского по наблюдению ЭПР в январе 1944 г. При реставрации были использованы архивные данные и научные работы Е.К. Завойского.

Ключевые слова: история открытия ЭПР, электронный парамагнитный резонанс, метод сеточного тока.

В 2011 г. была осуществлена реставрация установки (доведение ее до действующего состояния) Е.К. Завойского, на которой впервые в мире наблюдались сигналы электронного парамагнитного резонанса (или, как писал Е.К. Завойский, электронного спинового резонанса). Первоначальный макет установки (недействующий) собирался несколько лет: производился поиск необходимых радиодеталей 40-х годов XX в., осуществлялась реставрация подлинных приборов Е.К. Завойского, производился поиск архивных материалов с описанием установок, на которых он проводил свои эксперименты. Использованы архивные материалы: диссертация Е.К. Завойского (1944) [1], его лабораторные записи и составленное примерно в начале 70-х годов по просьбе А.С. Альтшулера подробное описание одной из установок, использовавшихся Завойским в его экспериментах в 1946–1947 гг. (идея воссоздания оригинальных установок Завойского в Казанском университете обсуждалась еще при жизни Е.К. Завойского и С.А. Альтшулера, но не была претворена в жизнь). Хотя это описание касается экспериментов на более высоких частотах, чем те, на которых ЭПР был открыт (3 ГГц, а не 10 МГц), многие из описанных приборов использовались и в установках 1944 года.

Завойский пишет: «Катодный осциллограф был временно одолжен в КАИ у Б.М. Столбова. Этот осциллограф помещался в чемодане. При работе крышка чемодана вместе с катодной трубкой несколько приподымалась и оставалась наклоненной. Размеры чемодана (очень грубо, по памяти): высота 20–25 см, ширина 30–40 см, длина 45–50 см. Диаметр экрана трубки около 6–8 см»¹.

Нами было установлено, что под это описание подходит низковольтный электронный осциллограф типа 51 [2, с. 100–103]. Он дает возможность иссле-

¹ Письмо акад. Е.К. Завойского член-корр. С.А. Альтшулеру 1974–1975 гг. (архив Музея-лаборатории Е.К. Завойского КФУ).

довать электрические процессы в диапазоне звуковых частот, производить визуальное наблюдение за формой исследуемого напряжения. Питание электронно-лучевой трубки и тиратрона (ТГ-212) осуществлялось от высоковольтного однополупериодного выпрямителя на лампе УБ-110. Развертка осциллографа осуществлялась генератором развертки на тиратроне ТГ-212. Исследуемый сигнал подавался непосредственно на вертикальные пластины осциллографа. Найти такой осциллограф, действующий или недействующий, нам не удалось, поэтому в Московском политехническом музее, где он имеется, были сняты копии схем, конструкции и размеров, и его точная копия была изготовлена в кустарных условиях И.И. и О.И. Силкиными.

Далее Е.К. Завойский пишет: «В качестве предусилителя к осциллографу использовался американский прибор “Профилометр”... Этот прибор был взят на время на авиационном заводе (кажется, № 24) в Казани, где он использовался для определения шероховатости поверхности. Коэффициент усиления усилителя достигал $\sim 10^5$. Вход – трансформаторный, но часто он переделывался на реостатный. На “Профилометре” в последнем каскаде усиления стоял тепловой прибор, который мог выключаться и усилитель подключался к входу осциллографа. Тепловой прибор часто служил для грубой настройки установки»².

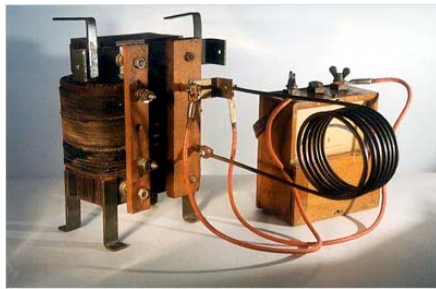
Усилитель низкой частоты из комплекта индукционного профилометра «Аббота», модель Р (США) [3, с. 219, 222], идентичный использовавшемуся Завойском, был нам подарен на КАПО им. С.П. Горбунова (бывший завод № 22) Казани. Усилитель построен на триодах 7С6, выходной каскад – лампа 6L5G. Выход усилителя – трансформаторный, к которому подключается термогальванометр или осциллограф. Усилитель низкой частоты использовался для усиления сигнала с выхода автодинного генератора.

Первая установка Е.К. Завойского, на которой было открыто явление ЭПР, была многоцелевой: она часто переделывалась под текущие экспериментальные задачи. Из многих вариантов, описанных в лабораторных записях Завойского, мы восстановили один из самых удачных (на наш современный взгляд).

Реставрированная установка состоит из автодинного генератора, усилителя низкой частоты от профилометра Аббота; осциллографа типа 51; соленоида, создающего переменное магнитное поле (постоянное магнитное поле в этом варианте не использовалось); сварочного трансформатора, питавшего соленоид; амперметра Гартмана – Брауна и автотрансформатора Вариак, включенного в первичную цепь сварочного трансформатора и служившего для регулировки тока соленоида (следует заметить, что в оригинальной установке Завойского вместо автотрансформатора использовался реостат; конечно, и в восстановленной установке автотрансформатор может быть заменен реостатом).

Автодинный генератор, как и у Завойского, собран по схеме Эзау [4, с. 20; 5, с. 7, 11–12] (схема генератора с емкостной обратной связью, в режиме слабых колебаний). В установке Завойского он применялся для генерирования высокочастотных колебаний и был построен на триодной радиолампе Р-5 либо УБ-132 или на пентоде СО-182. Поиск работоспособных ламп указанных типов

² Письмо акад. Е.К. Завойского член-корр. С.А. Альтшулеру 1974–1975 гг. (архив Музея-лаборатории Е.К. Завойского КФУ).



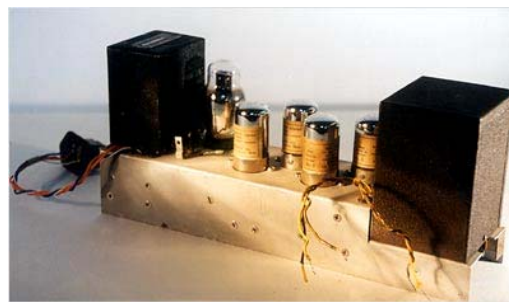
а)



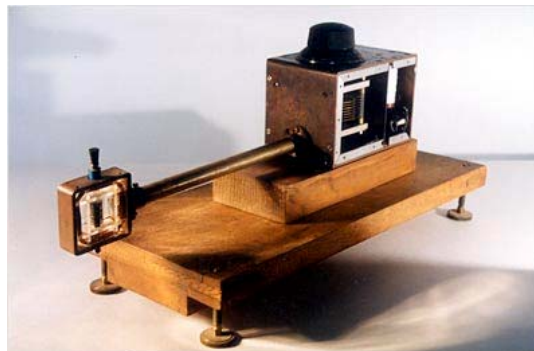
б)



в)



г)



д)

Фото 1. а) сварочный трансформатор с катушкой соленоида и амперметром Гартмана – Брауна; б) электронный осциллограф типа 51; в) профилометр Аббота; г) усилитель низкой частоты от профилометра Аббота; д) автодинный генератор

продолжается, а использующаяся в реставрированной установке в настоящее время лампа – 6LCG, аналог лампы УБ-132. В схеме используются сопротивления и конденсаторы выпуска 1930–1940 гг. (сопротивления Каминского и типа ТО, слюдяные и бумажные конденсаторы). Частота генератора составляет, как и у Завойского, 10 МГц (длина волны 30 м), катушка колебательного контура генератора состоит из 15 витков диаметром 1.2 см на каркасе из оргстекла, в которую помещается исследуемый парамагнетик. Генератор собран в медном корпусе.

В отреставрированной установке, так же как и у Завойского, использован кенотронный выпрямитель ЛВ-2 на кенотроне К-2-Т (двухполупериодная схема) [5]. Анодное напряжение регулируется от 10 до 140 В. Максимальный ток 20 мА. Кенотронный выпрямитель используется для питания автодинного генератора.

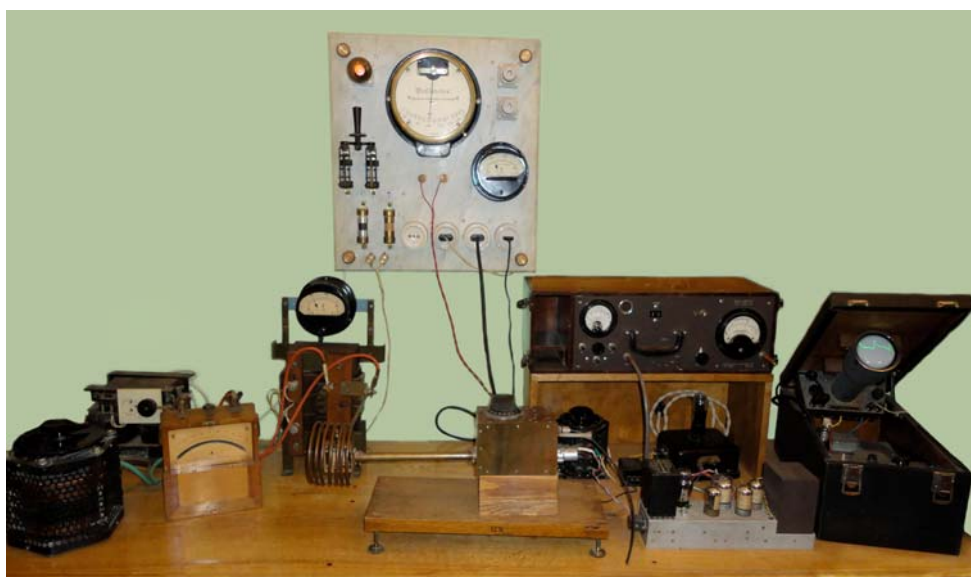


Фото 2. Первая установка по наблюдению ЭПР

В восстановленной установке, так же как у Завойского, использован соленоид диаметром 12 см, содержащий 6 витков медного провода диаметром 5 мм. Соленоид питается от сварочного трансформатора через амперметр Гартмана – Брауна на 200 А. Входное напряжение трансформатора регулировалось, как уже упоминалось, автотрансформатором Вариак. Максимальная амплитуда переменного магнитного поля соленоида составляет примерно 20 Э. В магнитное поле соленоида помещена радиочастотная катушка автодинного генератора (перпендикулярно магнитному полю соленоида).

В настоящее время на отреставрированной установке Завойского устойчиво, с очень хорошим отношением сигнал/шум, наблюдается сигнал ЭПР радикала α -дифенил- β -пикрил-гидразида (ДФПГ). Проводится поиск сигналов ЭПР в солях меди и марганца, исследовавшихся Е.К. Завойским.

Действующая реставрированная установка (фото 2) демонстрируется в Музее-лаборатории Е.К. Завойского (главное здание КФУ, западное крыло, комн. 246).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 11-06-00251-а).

Summary

I.I. Silkin, A.V. Dooglav. Restoration of the Apparatus on Which the ESR Phenomenon Was Discovered.

Restoration of one of the first E.K. Zavoisky's apparatuses on which he observed electron spin resonance in January 1944 has been carried out. During the restoration the historical data and E.K. Zavoisky's scientific works have been used.

Key words: history of ESR discovery, electron spin resonance, grid current method.

Литература

1. *Завойский Е.К.* Парамагнитная абсорбция в перпендикулярных и параллельных полях для солей, растворов и металлов: Дис.... д-ра физ.-мат. наук. – М.: ФИАН, 1944. – 88 с.
2. *Балихин А.К.* Радиоизмерения. – М.: Воен. изд-во М-ва вооруж. сил СССР, 1949. – 260 с.
3. *Дунин-Барковский И.В.* Пьезофилометры и измерения шероховатости поверхности. – М.: Машгиз, 1961. – 312 с.
4. *Жеребцов И.П.* Техника метровых волн. – М.: Изд-во ДОСААФ, 1955. – 182 с.
5. *Костанди Г.Г.* Передатчики и приемники метровых волн. – М.: Радиоиздат., 1937. – 110 с.

Поступила в редакцию
08.12.11

Силкин Игорь Иванович – директор Музея-лаборатории Е.К. Завойского Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: zavoisky-museum@mail.ru

Дуглав Александр Васильевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры квантовой электроники и радиоспектроскопии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: Alexander.Dooglav@ksu.ru