

УДК 621.37-621.39(091)

Продажа Ли де Форестом прав на аудион АТ&Т и ее значение для развития радиотехники

Пестриков В. М.

*Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения
ул. Правды, 13, Санкт-Петербург, 191119, Российская Федерация
pvm205@yandex.ru*

Получено: 11 марта 2023 г.

Отрецензировано: 30 марта 2023 г.

Принято к публикации: 20 мая 2023 г.

Аннотация: *Рассмотрена подготовка и проведение презентации аудиона Ли де Фореста, которая способствовала продаже его патентных прав компании АТ&Т. Отмечена роль в проведении презентации Дж. Карти и Джона С. Стоуна. Благодаря экспериментам с аудионом Гарольда Д. Арнольда и теории аудиона, разработанной Хендриком ван дер Бейлом, были созданы предпосылки к организации промышленного производства вакуумных триодов для телефонных ретрансляторов. Показано, что промышленное производство термоэмиссионной трехэлектродной вакуумной лампы позволило разработать инновационные коммерческие телефонные ретрансляторы и достигнуть прогресса в дальней телефонии.*

Ключевые слова: *Ли де Форест, трехэлектродный аудион, Дж. Карти, Джон С. Стоун, АТ&Т, WEC, Гарольд Д. Арнольд, Хендрик ван дер Бейл, теория аудиона.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Пестриков В. М. Продажа Ли де Форестом прав на аудион АТ&Т и ее значение для развития радиотехники // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2023. Т. 6, № 2. С. 211—249.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.100—2018): Пестриков, В. М. Продажа Ли де Форестом прав на аудион АТ&Т и ее значение для развития радиотехники / В. М. Пестриков // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2023. — Т. 6, № 2. — С. 211—249.

1. Введение

В статье [1] описана организация в *Western Electric Company* исследовательской группы по разработке устройства телефонной трансляции на новых физических принципах. Прделанные исследования руководителем

этой группы Г. Арнольдом, показали, что разработанные для этих целей ртутные газоразрядные лампы вызывают затруднения в работе и являются неперспективными. Компанию *WEC* в данной ситуации выручил Ли де Форест, искавший возможность продать авторские права на усилитель, собранный на усовершенствованных аудионах. В данной статье пойдет речь о продвижении де Форестом своего аудионного усилителя в условиях конкуренции на коммерческом рынке проводной телефонии.

В 1911 году на Ли де Фореста обрушились новые удары судьбы. Обстоятельства заставили де Фореста покинуть Нью-Йорк и поехать за тысячами километров на восток в Калифорнию. Ему предстояло прийти в себя и оценить свою жизнь после двух неудачных браков и банкротства собственной компании. Он с нетерпением ожидал еще одного шанса от жизни, а еще больше денег, которых у него не было. А еще больше, ему нужны были жизненные силы, чтобы не сломаться не только на выражах судьбы, но и в патентной борьбе. И, такой источник вскоре нашелся, который дал ему эти силы. В середине 1911 года Ли де Форест познакомился с оперной певицей Мэри Мэйо (*Miss Mary Mayo*, 14.08.1893—30.12.1957) и стал за ней ухаживать.

В третьем браке де Форест сделал значительно больше изобретений и открытий в области радиотехники, чем в двух предыдущих. Самым важным результатом его деятельности стал успех демонстрации аудиона перед сотрудниками *AT&T* и *Western Electric Company*, который позволил де Форесту выгодно продать патентные права на это изобретение. Благодаря этому *AT&T* усовершенствовала аудион и наладила промышленное производство вакуумных триодов.

Полученный *AT&T* результат связан в первую очередь с помощью, которую оказал Роберт Милликен в привлечении в исследовательскую лабораторию компании талантливых и хорошо образованных молодых ученых, среди которых наиболее заметный след в разработках инновационных радиоламповых технологий оставили Гарольд Д. Арнольд и Хендрик ван дер Бейл.

2. Джон Стоун протезирует Ли де Фореста

В конце лета 1912 года Ли де Форест улучшил характеристики схем усилителей звуковой частоты на аудионах [2, 3]. Конструкции оказались надежными, что позволило провести некоторые исследования и снять их характеристики. Желание заинтересовать телефонные компании усилительными устройствами подтолкнуло Ван Этгена 2 августа 1912 года написать письмо Дж. Карти, главному инженеру *AT&T*, в котором он рас-

сказал о возможностях аудиона как телефонного ретранслятора и его способности усиливать звук тикающих часов в пять раз. Письмо¹ не было отправлено, так как де Форест избрал другой путь, более тонкий — выход на руководство *AT&T*.

Де Форест написал письмо своему хорошему другу в Нью-Йорке Джону С. Стоуну (рис. 1), в котором привел длинное подробное описание экспериментов с аудионом в качестве телефонного усилителя. Дело в том, что Стоун имел контакты с *AT&T* в том или ином качестве в течение многих лет, пользовался большим уважением и был вхож в верхние эшелоны руководства компании, в то время как де Форест не имел таких возможностей [4, р. 149—153]. Ко всему прочему *Radio Telephone Company* буквально недавно приобрела патенты Джона С. Стоуна по беспроводной телеграфии.

В ответном письме Стоун проявил большой интерес к информации, которую предоставил де Форест. Последовала дальнейшая переписка. Друзья обсудили, как лучше всего обратиться в *AT&T*. Стоун взял на себя ответственность за организацию контактов с компанией *AT&T* и пообещал связаться со своими знакомыми в ее руководстве, а также выразил свою готовность изложить вопрос об этом телефонном репитере или усилителе своему другу Дж. Карти.

Вскоре Стоун сообщил де Форесту, что он организовал для него демонстрацию усилителя *Audion* перед инженерами компании *Western Electric* в телефонной лаборатории *Bell* в Нью-Йорке.

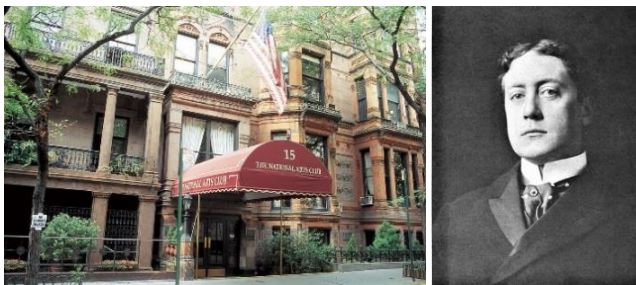


Рис. 1. Национальный художественный клуб (*National Arts Club*) на 15 *Gramercy Park South* (2021 г.). Джон С. Стоун (*John Stone*), 1912 г.

Fig. 1. *National Arts Club* at 15 *Gramercy Park South* (2021). *John S. Stone* (1912)

Во второй половине сентября 1912 года президент Федеральной телеграфной компании (*Federal Telegraph Company*) Бич Томпсон (*Beach Thompson*) решил предпринять деловую поездку в Нью-Йорк и очень любезно предложил де Форесту составить ему компанию, поскольку тот

¹ Espenschied Papers, Box LE-7, folder 1, H. van Etten to Espenschied, 7 August 1956.

откровенно объяснил ему всю ситуацию с договоренностью Джона С. Стоуна и *AT&T* о проведении демонстрации аудионных усилителей в Нью-Йорке [5, р. 295—296]. Форест показал Томпсону свои ранние патенты, выданные *Radio Telephone Company*, включающие аудион с сеткой и усилитель звуковых сигналов на аудионе. После этого де Форест сразу устроил свои дела в Федеральной телеграфной компании; с ее руководством было решено, что его зарплата должна находиться в разумных пределах, пока он будет проводить демонстрацию, и что он немедленно отправится в Нью-Йорк для представления аудионных усилителей. В случае успеха Ли де Форест надеялся продать компании права на свои патенты с аудионом, а полученные деньги потратить на восстановление своей собственной компании.

Бич Томпсон ясно осознал, что Федеральная телеграфная компания не может претендовать на право собственности изобретений Фореста. Тем не менее, он с пониманием воспринял ситуацию и пообещал по возможности помочь с тем, чтобы заинтересовать *AT&T* устройством, которое также может быть интересным и полезным для Федеральной телеграфной компании для усиления сигналов.

Ли де Форест приехал в Нью-Йорк и сразу же направился в Национальный художественный клуб (*National Arts Club*²) на площади Грамерси (*Gramercy Park Square*), где проживал Джон Стоун. Он встретился с мистером Стоуном, и в одной из комнат клуба показал и подробно рассказал о разработанных звуковых аудионных усилителях, а также проведенных с ними экспериментах, во время которых была зафиксирована генерация звука (эффект обратной связи). Аудионный усилитель де Фореста произвел сильное впечатление на Джона Стоуна. Он увидел в устройстве большой потенциал для телефонной связи, и подтвердил проведение демонстрации усилителя для инженеров и менеджеров *AT&T*. После этого Форест пошел на чердак клуба, где в двух больших коробках хранились два комплекта однокаскадных усилителей, и начал подготовку к предстоящей демонстрации, рис. 2.

21 октября 1912 г., Стоун выступил с докладом³ в Институте Франклина, в котором упомянул новый телефонный ретранслятор на аудионе де Фореста. Доклад Стоуна был опубликован в виде статьи «Практические

² Национальный клуб искусств (*National Arts Club*) является частным клубом в парке *Gramercy*, Манхэттен, Нью-Йорк. Он был основан в 1898 году Чарльзом Декаем (*Charles Augustus DeKay*, 25.07.1848—23.05.1935), искусствоведом и литературным критиком *New York Times*, чтобы «стимулировать, воспитывать и поощрять общественный интерес к искусству и просвещение американского народа в изобразительном искусстве».

³ *Espenschied Papers*, Box LE-8, folder 1, copy of J. J. Carty to C. E. Scribner, 30 October 1912.

аспекты распространения высокочастотных электрических волн по проводам» (англ. *The Practical Aspects of the Propagation of High-Frequency Electric Waves along Wires*) в *Journal of the Franklin Institute* за октябрь 1912 г. [6]. В статье автор дважды упоминает звуковой усилитель на аудионе, и на странице 355 делает ссылку на патент US879532 Фореста на аудион с сеткой, а также на свой патент US884110 с Кэботом на схему аудиона с батареей смещения: «В новой телеграфии и телефонии телеграфные сигналы и голос передаются по линейному проводу с помощью определенных изменений амплитуды или силы однородного высокочастотного тока. Сигналы и голос принимаются в магнитном телефонном приемнике, подключенном к локальной сети, которая включает устройство, способное выпрямлять используемые высокочастотные токи. В качестве выпрямителя предпочтительно использовать Audion, электрод Волластона, а также возможно применение других радиотелеграфных детекторов, в частности, могут оказаться пригодными так называемые кристаллические выпрямители».

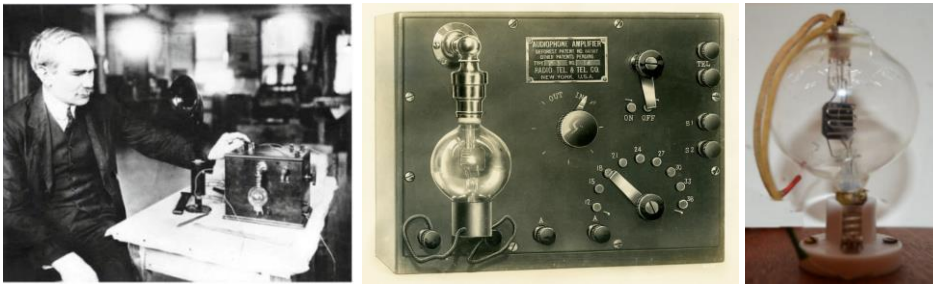


Рис. 2. Ли де Форест проверяет работу однокаскадного усилителя на аудионе (слева) в своей лаборатории перед демонстрацией его в *Western Electric Co.* 30 и 31 октября 1912 г. Общий вид однокаскадного усилителя на аудионе, который был представлен во время демонстрации.

Fig. 2. Lee de Forest testing a single-stage audion amplifier (left) in his lab before demonstrating it at *Western Electric Co.* October 30 and 31, 1912. General view of a single-stage audion amplifier, which was presented during the demonstration

В сноске на стр. 375 этой статьи Стоун отметил разработку де Фореста следующим образом [6, р. 375]: «Недавно был разработан новый телефонный релейный усилитель, который полностью электрический по своему действию и не имеет никаких движущихся частей. Он обеспечивает большое усиление и, по-видимому, делает это без заметного искажения телефонного тока».

Стоун послал копию своей статьи знакомому сотруднику *American Marconi Co.* Э. Фиске (*Fisk, Sir Ernest Thomas, 1886—1965*) в Бостон, а по-

сле этого связался со своими друзьями в руководстве *AT&T* и отослал еще одну копию⁴ Дж. Карти в Нью-Йорк. Эта статья была передана на отзыв молодому выпускнику Массачусетского технологического института, нанятому *AT&T*, Гарольду Осборну⁵. Отзыв Гарольда Осборна был безапелляционно отрицательным. Это было связано с тем, что инженеры компании не знали, как установить это высокочастотное устройство на телефонной линии с нагрузочными катушками. В компании был выбран тренд на использование нагрузочных катушек, и это продолжалось уже несколько лет. Индуктивная нагрузка была элементом дальней телефонной связи. Как сказал руководитель развития высокочастотной передачи *Bell Telephone Laboratories* Ллойд Эспеншид⁶: «Потребовалось несколько лет, чтобы выбросить это из головы».

Для Джона Карти мнение Стоуна было важнее, нежели отзыв Осборна, поэтому он немедленно отреагировал на статью Стоуна и назначил демонстрацию усилителя на аудионе на вторую половину октября. Джон Стоун оказался ключевым человеком в любой сделке⁷, которую де Форест мог заключить с *AT&T*.

3. Демонстрации аудионного усилителя

Дата демонстрации аудионного усилителя де Фореста постоянно откладывалась из-за того, что Дж. Карти был все время чем-то занят. Демонстрация состоялась только 30 октября 1912 года в инженерном отделе компании *Western Electric*, на 8 этаже в небольшой комнате Лабораторного корпуса компании на 463 *West St.* в Нью-Йорке перед представителями технического персонала *AT&T* и *Western Electric Company*. Среди пришедших на это мероприятие были директор исследовательской лаборатории доктор Колпиттс (*Edwin H. Colpitts*) и сотрудник этой лаборатории В. Ричардс (*Wilton L. Richards*). Колпиттс возглавлял лабораторию с 1911 года. Дж. Карти и Ф. Джемметт на презентации аудиона отсутствовали.

⁴ Oral-History : Lloyd Espenschied : An Interview Conducted by Julian Tebo and Frank Polkinghorn, IEEE History Center, June 2, 1973. URL: [https://ethw.org/Oral-History:Lloyd_Espenschied.\(01.01.2023\)](https://ethw.org/Oral-History:Lloyd_Espenschied.(01.01.2023)).

⁵ В тот период времени, в 1912 г., Гарольд Осборн (*Harold Smith Osborne*, 01.08.1887—29.12.1985) был помощником по передаче и инженером-проектировщиком в *AT&T*. В дальнейшем он оказал большое влияние на развитие новых форм телефонной связи. Вершиной его карьеры стала должность главного инженера *AT&T* в 1943 году. Был президентом *AIEE* 1942—1943гг.

⁶ Ллойд Эспеншид (*Lloyd Espenschied*, 27.04.1889—21.06.1986) изобрел с Германом Эндрю Аффелем (*Herman Andrew Affel*, 04.08.1893—13.10.1972) в 1916 году современный коаксиальный кабель. Оба работали в *Bell Telephone Laboratories*.

⁷ Есть свидетельства того (письмо Дж.Карти), что Дж. Стоун, либо в это время, либо ранее, приобрел опцион на патент US841387 фундаментального усилителя де Фореста; некоторые указывают шестидесятидневный вариант опциона.

Впервые инженерной аудитории был представлен ламповый усилитель слабых электрических токов. Была продемонстрирована работа однокаскадного усилителя и показана возможность его использования в телефонных линиях. В этой демонстрации, а также 31 октября, Форест показал два типа усилителей. В одном был установлен аудион с одним анодом (рис. 3), в другом — аудион с сдвоенным анодом или (другое название) двойной аудион (рис. 3).



Рис. 3. Здание *Bell Laboratories* на Манхэттене, Нью-Йорк, 1936 год. Образцы аудионов, которые использовались в однокаскадном усилителе при демонстрации 30 и 31 октября 1912 года в Лабораторном корпусе *Western Electric Co.* Ли де Форест. Фото 1955 г.

Fig. 3. Bell Laboratories building in Manhattan, New York, 1936 Audion samples used in a single-stage amplifier during a demonstration on October 30 and 31, 1912 at the Western Electric Co. Laboratory Building. Lee de Forest. Photo 1955

Аудитория проявила небольшой интерес к демонстрации, было задано всего несколько вопросов. Присутствовавшие на демонстрации аудиторы были казались лишь слегка впечатлены. Колпиттс предложил Форесту оставить у них аппарат на ночь, чтобы инженеры могли ознакомиться с его устройством и возможно завтра задать возникшие вопросы.

Демонстрация аудионного усилителя была повторена еще раз 31 октября. К аудитории присоединился Ф. Джеветт, помощник главного инженера *Western Electric Company*. На этот раз отношение раннее безразличных и довольно отстраненных телефонных инженеров к усилителю де Фореста претерпело очень заметные и обнадеживающие изменения. В аудиторию проникла атмосфера большого интереса к устройству. Увиденное привело специалистов в восторг. По их мнению, предложенная схема усиления показала большие перспективы в революционизировании существующей практики в области междугородной телефонной связи. Эти замечания, конечно, исходили от рядовых инженеров, которые отвечают за дела и очень внимательно относятся к себе. Однако их действия зависят от свыше отданных приказов, прежде чем они смогут предпринять какие-либо окончательные действия при покупке патентов.

Характеристики аудиона оказались гораздо ниже тех, которые требовались для практической работы телефонных ретрансляторов. Любая попытка отрегулировать работу усилителя приводила к снижению усиления, голубому свечению в лампе и неразборчивости передачи. Голубая дымка в стеклянной колбе электронной лампы появлялась тогда, когда для усиления телефонного сигнала необходимо было повысить анодное напряжение.

Невзирая на это, специалисты компании были под сильным впечатлением от увиденного, особенно когда мощность усилителя была низкая, а громкость звука небольшая. Демонстрация показала, что в режимах детектирования сигнала, который выбрал Ли де Форест, аудион будет функционировать в качестве усилителя низкой частоты только при небольшой мощности и без увеличения запирающего напряжения на сетке. Как писал в своих воспоминаниях де Форест [5, р. 297]: «Там, где раньше царили безразличие и скука, теперь в комнате царила атмосфера живейшего интереса». Форест провел обычные демонстрации, ронял носовой платок и тихо заговорил в телефонную трубку. Его снова спросили, не оставит ли он усилитель у них на некоторое время, чтобы инженеры *Western Electric Co.* смогли провести дальнейшие испытания или эксперименты, которые они посчитали бы необходимыми. Форест со Стоуном согласился с этим, так как изобретение было должным образом защищено полученными патентами.

Ли де Форест находился в самом высоком расположении духа, когда покидал Лабораторный корпус компании. Он думал, что через восемь недель получит от телефонной компании предложение на 500 000 долларов за использование своего нового усилителя.

По настоянию своего знакомого О'Рейли (*O'Reilly*) из Сан-Франциско Форест отправился с демонстрацией второго экземпляра аудионного усилителя применительно к телеграфии в Спрингфилд, штат Массачусетс (*Springfield, Massachusetts*), в штаб-квартиру *Telegraphone Company*. Директор *Telegraphone Co.* и представитель в Нью-Йорке, а также адвокат «Честный Джон» (*Honest John*) Линдли (*Lindley*) проявили большой интерес к возможностям использования этого усилителя для работы с телеграфом (*telegraphone*) конструкции Паульсена.

Ли де Форест в эти утомительные недели в Нью-Йорке, ожидая ответа от *AT&T*, отправился в Ориндж, Нью-Джерси (*Orange, New Jersey*), в лабораторию Эдисона. Эту встречу ему организовал личный представитель Эдисона Миллер Риз Хатчисон (*Miller Reese Hutchison*), который был знаком с Форестом еще со времени первых радиопередач в Нью-Йорке. Эдисон, увидев Фореста, сказал: «О, де Форест? Да, да. Ну, что нового в беспроводной телеграфии?». Беседа с великим изобретателем длилась 10 минут и выявила его большой интерес к разработкам Фореста.

После всех встреч и демонстраций, Форест решил заняться решением проблем Федеральной компании до того момента, пока не появится информация от AT&T. Прошло восемь недель, но ничего не произошло, он продолжал ждать. Когда прошло три месяца, и опять ничего не было сделано, он написал письмо Карти. В нем он просил какого-либо объяснения ситуации, заявив при этом, что любая необходимая информация будет с радостью передана, если инженеры не разберутся в возможностях нового устройства. Ответ состоял в том, что инженеры все еще продолжают исследовать устройство и пока не пришли к определенным выводам. Было добавлено, что де Форест получит ответ, как только будут приняты определенные решения по этому вопросу.

4. Не так все плохо! Третья любовь Ли де Фореста

Ли де Форест, как известно, был большим театралом. Он, невзирая, на большую занятость вопросами продвижения своего аудиона, нашел время в октябре 1912 года вместе со своим бывшим сотрудником Эмилом Симоном (*Emil Jacob Simon*, 25.10.1888—1963) посетить *Grand Opera House* в Нью-Йорке. На его сцене в это время шла Эдуардская⁸ музыкальная комедия «*The Quaker⁹ Girl*» по произведению Джеймса Т. Таннера¹⁰, рис. 4.



Рис. 4. Главный вход в *Grand Opera House* в Нью-Йорке (2008 г.)
и сцена из мюзикла «*The Quaker Girl*» (1911 г.)

Fig. 4. The main entrance to the Grand Opera House in New York (2008)
and a scene from the musical “*The Quaker Girl*” (1911)

Де Форест был очарован хором и особенно одной из его участниц. После спектакля друзья из его компании познакомили Фореста с очарова-

⁸ Эдуардская музыкальная комедия была формой британского музыкального театра во времена царствования короля Эдуарда VII (*Albert Edward*, 09.11.1841—06.05.1910).

⁹ Квакеры (или друзья) — члены христианской группы религиозного движения, официально известного как Религиозное общество друзей Церкви (*Religious Society of Friends or Friends Church*).

¹⁰ Джеймс Толман Таннер (*James Tolman Tanner*, 17.10.1858—18.06.1915) — английский режиссер и драматург. Написал много успешных мюзиклов, выпущенных Джорджем Эдвардом.

тельной хористкой мисс Мэри Мэйо (*Miss Mary Mayo*, 14.08.1893—30.12.1957), рис. 5. Мэри Мэйо была обладательницей яркого голоса сопрано очень необычного тембра, абсолютно верной высоты и естественно-го, подобного птичьему пению. Это случайное знакомство быстро переросло в искренний взаимный интерес, и к концу знаменательного 1912 года созрела глубокая любовь между красавицей Мэри Мэйо и Форестом.



Рис. 5. Вид части главной улицы Нью-Йорка Бродвей на Манхэттене. Фото Мэри Мэйо (*White*) де Форест, третьей жены Ли де Форест и матери Элеоноры и Мэрилин де Форест. Афиша мюзикла «Человек, которому принадлежит Бродвей», в котором блистала Мэри Мэйо (1909 г.).

Fig. 5. View of part of the main street of New York Broadway in Manhattan. Photo of Mary Mayo (*White*) de Forest, third wife of Lee de Forest and mother of Eleanor and Marilyn de Forest. Poster for the musical “The Man Who Owns Broadway”, starring Miss Marie Mayo (1909)

В этот период времени Форест получил письмо из офиса Федеральной телеграфной компании о том, что, если он хочет продолжить совместную работу, то должен срочно вернуться в Пало-Альто. Дальнейшее сотрудничество с Федеральной телеграфной компанией было для Фореста единственной альтернативой. Это подтверждалось тем, что к этому моменту Джон С. Стоун не получил никакой информации от телефонной компании относительно того, что они делали с аудионным усилителем, и к тому же результаты переговоров с «Честным Джоном» Линдли и директором компании «Телеграфон» были в равной степени неопределенными или склонными к неопределенной отсрочке.

В этой ситуации Форест быстро договорился с Мэри Мэйо о заключении брака и проведении медового месяца на западном побережье. Их свадьба состоялась 23 декабря 1912 года. В этот брак де Форест вступил в возрасте 39 лет, а его невеста — в 20 лет. С каждой новой женитьбой, разница в возрасте жениха (Ли де Фореста) и невесты возрастала. В третий раз она составила 19 лет.

Третий брак Ли де Фореста был далек от совершенства. Как потом оказалось, Мэри была законченной алкоголичкой. Насколько брак был

счастливым, трудно сказать. По сохранившимся письмам Ли де Фореста к Мэри видно, что он любил супругу, заботился о ней и даже посвящал ей свои стихи. Вероятно, та модель семьи, в которой Ли пребывал, устраивала его. Подтверждением является факт, что он прожил в этом браке 18 лет. От него родилось ¹¹ две дочери Элеонора (*Eleanor*) и Мерлин (*Marilyn*), а также сын (умерший в младенчестве). В 1930 году де Форест развелся с Мэри из-за ее пристрастия к алкоголю. Дальнейшая судьба Мэри Мэйо сложилась трагично. Будучи пьяной, она погибла в горящем доме в 1957 году.

5. Возвращение в Пало-Альто

Неопределенность в делах де Фореста продолжалась несколько месяцев, если более точно, то до конца января 1913 года. В один из дней Федеральная компания сообщила де Форесту, что ему прекращается выплата зарплаты. Де Форест, огорчившись, купил билет и уехал утренним поездом в Калифорнию, в его старую лабораторию.

30 января 1913 года, после четырех месяцев пребывания в Нью-Йорке, Форест снова вернулся в Пало-Альто (рис. 6). Де Форест, томимый ожиданием результатов исследований от *AT&T*, отмечает в своих воспоминаниях этот период жизни следующим образом [5, р. 301]: «Но я, хотя и был счастлив и полностью занят своими лабораторными задачами, жил в надежде, что семя аудиона, которое я посеял прошлой осенью в Нью-Йорке, скоро поднимется на новый урожай, призывая к моему возвращению, последняя награда, за которую я сражался с момента моего первого представления трехэлектродной лампы».



Рис. 6. «Тунервилльский троллейбус» на Университи-авеню и углу Хай-стрит, Пало-Альто, Калифорния, около 1913—1914 гг.

Fig. 6. “Toonerville Trolley” on University Avenue and the corner of High Street, Palo Alto, California, around 1913–1914

Ли де Форест снова погрузился в работу Федеральной компании на своем высокоскоростном передатчике и приемнике. Одним из первых шагов в этом направлении была адаптация нового усилителя к приему неза-

¹¹ Mary Mayo (White) de Forest (1891—1957). URL: <https://www.wikitree.com/wiki/White-52407>. (01.01.2023).

тухающих радиосигналов от дуговых радиостанций в Сан-Франциско и на Гавайях. Его второй эксперимент был связан с перфорированной лентой и автоматической системой манипуляции, которая снимала сигналы с ленты и передавала их в цепь антенны. Кстати, эта система долгое время работала и использовалась многими радиостанциями, в которых генерация длинных волн осуществлялась дуговыми или машинными генераторами.

В марте 1913 г. Джон С. Стоун приехал в Сан-Франциско чтобы встретиться де Форестом. У него была некоторая информация от его старого друга Дж. Карти о том, что телефонная компания определенно будет заинтересована в приобретении прав на патенты аудиона, если тесты, которые все еще проводятся в Нью-Йорке, дадут желаемый результат по коммерческой применимости к их линиям. В этом случае компания хотела бы иметь дело со Стоуном, который бы представлял интересы де Фореста. Де Форест согласился с предложением и подписал со Стоуном джентльменское соглашение, дающее последнему право вести переговоры с телефонной компанией о продаже соответствующих прав на аудион и получать комиссионные, если такая продажа будет произведена. Цена продажи прав на патенты не была тогда зафиксирована, но сумма в 500 000 долларов была названа справедливой.

6. Тестирование и направления совершенствования аудиона Г. Арнольдом

1 ноября 1912 года Эдвин Колпиттс вызвал в свой кабинет Гарольда Арнольда и показал ему аудионы, которые де Форест оставил у *Western Electric Company*. Колпиттс предложил ему более детально ознакомиться с усилителем на аудионе. Г. Арнольд впервые увидел конструкцию аудиона де Фореста. Он оказался еще под большим впечатлением от увиденного, чем его коллеги. Арнольд позже откровенно высказал свое мнение¹² от увиденного: «Когда я вошел в комнату, то увидел усилитель и его работу. Я был очень удивлен и несколько огорчен тому, что упустил замечательные возможности работы третьего электрода — работу сетки в аудионе. Я знал о публикациях де Фореста, но я ошибся в своем понимании того, что аудион де Фореста может все же работать. Все это было связано с тем, что я не понял роль сетки в этом устройстве». После небольшого обмена мнениями по аудиону Колпиттс позвонил мистеру Джеветту и пригласил того присоединиться к ним, чтобы обсудить вопросы тестирования электронного устройства.

¹² Records & Briefs. 15. Transcript of Record. Supreme Court of the United States. October Term, 1930. Vol. I. No. 630. De Forest Radio Company, Petitioner, General Electric Company. On Writ of Certiorari to the United States circuit court of appeals for the third circuit. P. 556.

Арнольд во время экспериментов с аудионом (рис. 8) заметил в его стеклянной колбе голубую дымку, которая появлялась, когда для усиления телефонного сигнала повышали анодное напряжение. Благодаря прекрасному образованию Г. Арнольд сразу разобрался в причинах, вызывающих нестабильную работу при испытании аудионного усилителя на больших уровнях усиления. Причину этого явления он связал с ионизацией газа, который имеется в колбе при низком вакууме. Он сделал вывод, что лампа будет работать стабильнее, если удалить молекулы оставшегося газа. Наличие молекул мешает движению электронов, которые летят от катода к аноду. Происходит рассеивание электронов, и как следствие уменьшение их энергии. Это ограничивало максимальное анодное напряжение и, следовательно, выходную мощность усилителя. Вывод Г. Арнольда противоречил взглядам Ли де Фореста, который считал, что наличие газа в стеклянном баллоне аудиона необходимо для его функционирования [7]. Дальнейшие исследования Г. Арнольда подтвердили его догадки о том, что в баллоне лампы должен быть высокий вакуум¹³, а газа не должно быть вообще. В этом случае работа лампы будет происходить с чисто электронными процессами.

Помимо этого Г. Арнольд не только увидел научно-технический потенциал продемонстрированного аудионного усилителя, но и понял то, что необходима большая и длительная по времени программа научных исследований, чтобы довести это устройство до практического использования в телефонии.



Рис. 7. Электронная лаборатория *Western Electric*, Нью-Йорк, 1915. Обратите внимание на тележки с 90-вольтовой батареей сухих элементов и механическим осциллографом. Фотография из Ваал Текнорама [8].

Fig. 7. Electronic laboratory at *Western Electric*, New York, 1915. Note trolleys containing a 90-V battery of dry cells and a mechanical oscillograph. Photograph from Vaal Teknorama [8]

Продемонстрированный де Форестом аудион представлял собой очень чувствительный, но слабый и ненадежный усилитель. Он давал усиление только при низких уровнях речи, около 30 дБ. Усилитель на аудионе содержал конденсатор в цепи сетки, оставшийся от режима детектирования, который при нормальных уровнях речи создавал шум и блокировал лампу. Арнольд на время оставил эксперименты с ртутными лампами и занялся изучением (рис. 7) и улучшением самого аудиона.

¹³ Под высоким вакуумом обычно понимают давление $p < 10^{-3}$ мм рт. ст.

Для исследований были взяты аудионы привезенные Форестом из Калифорнии и полученные от производителя McCandless. Арнольд с помощниками измерили электрические характеристики у всех образцов и к концу 1912 года уже имелось полное представление о работе аудиона.

Арнольда сделал несколько принципиальных важных усовершенствований аудиона, в частности:

1. С помощью молекулярного насоса Gaede¹⁴ (рис. 8), который в апреле 1913 года был закуплен в Германии и привезен в США, он обнаружил, что при удалении воздуха из трубки значительно возрастает поток электронов, идущих через сетку к аноду. Исходя из этого вакуум в стеклянной колбе лампы был повышен до максимально возможного уровня, обеспечиваемого техническими возможностями того периода времени.

2. Было установлено, что ограниченный срок службы аудиона до 35—100 часов связан с перекаливанием его нити накала. Для понижения температурного режима аудиона было предложено использовать нить накала из платины, покрытой оксидным веществом (нитратом бария), по методике, предложенной Венельтом (*Wehnelt*). В этом случае нить может производить адекватную эмиссию при гораздо более низких температурах с меньшей мощностью, что значительно увеличивает срок службы лампы.

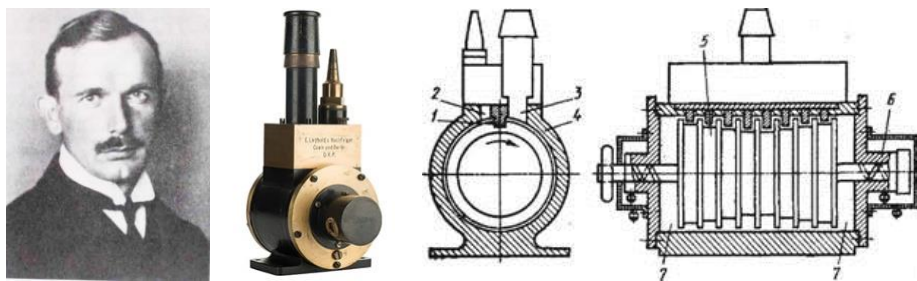


Рис. 8. Геде Вольфганг. Общий вид молекулярного насоса и его устройство. 1912 г.

Fig. 8. Gaede Wolfgang. General view of the molecular pump and its device. 1912

3. Для увеличения коэффициента усиления аудиона его дополнили еще одним анодом и одной сеткой. В результате с обеих сторон нити

¹⁴ В 1913 г. немецкий физик Геде Вольфганг (*Wolfgang Max Paul Gaede*, 25.05.1878—24.06.1945), будучи профессором Фрайбургского университета, изобрел молекулярный насос, который работал на принципиально ином способе перемещения газа, сформулированном на основе законов молекулярно-кинетической теории газов. Этот способ позволяет получать предельное разрежение до 10^{-7} Па (10^{-9} мм рт. ст.) при практически безмасляной остаточной атмосфере. Скорость откачки при этом составляет 1 л/с. Геде был владельцем почти 40 патентов в Германии, в дополнение к многочисленным патентам за границей.

накала были размещены большие по площади аноды и сетки, нежели в аудионе Фореста.

4. В стеклянном баллоне аудиона для надежной фиксации электродов были установлены стеклянные стойки.

Из проведенных исследований аудиона следовал главный вывод, который заключался в реальной возможности разработать на трехэлектродной вакуумной лампе коммерчески успешный телефонный ретранслятор.

Благодаря приобретенным знаниям об аудионе инженеры *Western Electric Company* в январе 1913 года открыли «черный ящик» Левештейна. Они ожидали найти в нем что-то новое, но были разочарованы — в ящике оказался обычный аудион без конденсатора блокировки сетки, но с гальванической батареей для создания отрицательного смещения на ней. Колпиттс в своем отчете отметил, что вопрос об отрицательном потенциале сетки аудиона должен быть изучен, и компания должна иметь возможность применять любую поляризацию.

7. AT&T приобретает права на патенты Ли де Фореста и Ф. Левенштейна

AT&T не спешила заключить сделку с де Форестом, и почти год он оставался в неопределенности относительно того, желает ли компания приобретать права на его патенты или нет. Отсрочка была отчасти понятна, так как требовалось провести большое количество испытаний. Но еще более важнее были патентные права на аудион и аудионный усилитель де Фореста, так как в начале они принадлежали *Radio Telephone Company*, а затем были переданы в *North American Wireless Corporation*, а де Форест оставался при этом всего лишь одним из нескольких претендентов на активности этих организаций. Права собственности на патенты должно были быть прояснены до момента их покупки *AT&T*, а на это требовалось время. *AT&T* передала эту работу стороннему адвокату, который не был идентифицирован как представитель телефонной компании, и он к 26 июля 1913 года сумел убедить все стороны подписать с ним исключительные права на использование аудиона во всех областях, за исключением беспроводной телеграфии и телефонии. Цена вопроса составила незначительные \$50000. Есть доказательства того, что Стоун и де Форест могли при желании попросить и \$100000, и *AT&T* при необходимости заплатила бы эту сумму [9]. Однако больше никто не торговался за патентные права отчасти из-за того, что компания де Фореста была в отчаянном финансовом состоянии, особенно, в ситуации с судебным процессом за мошенничество, нависшим над ним. Де Форесту нужны были деньги.

Благодаря этой покупке *AT&T* приобрела права, которые ей были нужны в краткосрочной перспективе, то есть права, которые необходимы для того, чтобы выполнить обязательства по представлению трансконтинентального телефонного обслуживания к концу 1914 года. Но как только Арнольд и его сотрудники получили возможность исследовать аудион, то универсальность триода де Фореста быстро стала очевидной, как и желательность получения более широких прав на него. 7 августа 1914 года компания приобрела за \$90000 неисключительную лицензию в области беспроводной телефонии [9, p. 246]. В марте 1917 года компания *AT&T* заплатила \$250000 за эксклюзивную лицензию на все остальные права, в частности, на продажу ламп. В итоге, *AT&T* купила права на патенты де Фореста на общую сумму \$390000; заметим, что это было сделано в виде трех отдельных платежей.

Компания *AT&T*, помимо прав на патенты Ли де Фореста, приобрела еще права на патент Фрица Левенштейна (*Fritz Lowenstein*). И это невзирая на то, что в свое время патентный поверенный компании Локвуд (*Lockwood*) сказал [10]: «Я не вижу, что у людей Левенштейна действительно есть что продать». С этим не согласился патентный поверенный Левенштейна М. Масси (*M. C. Massie*), который в делах был настойчивым и изобретательным. Спустя несколько лет ему удалось получить авторские права на отрицательное смещение на сетке триода. Представьте себе удивление специалистов патентного телефонного права, когда патент был выдан в 1917 году с текстом, в котором инженеры нашли необходимым написать о поляризации сетки!

Таким образом, патент Левенштейна был куплен тихо за очень значительную сумму в \$150000. Позже Масси рассказывал, что компания изначально могла купить патент за \$20000, но он повысил цену до \$200000, чтобы свести торг к согласованной сумме!

8. Первые конструкции триодов *Western Electric Co.*

Работа над вакуумным ламповым ретранслятором в течение 1912 и 1913 годов была кратко изложена в отчете *WEC* за 1913 год по рабочему заказу 7655 следующим образом [11]: «... Результатом стала возможность сконструировать усилитель *Audion*, обеспечивающий усиление без искажений в требуемых пределах входного тока и выдавать на выходе энергию, намного превышающую любое значение, которое обычно используется в телефонии; действовать как потенциальный трансформатор или трансформатор тока, способный при последовательном соединении двух или более давать усиление тока в 50 и более раз; предоставлять цепям,

между которыми он работает, практически постоянный импеданс. Существующая форма *Audion* обеспечивает практически идеальное повторение и усиление подаваемых на него токов.»

18 февраля 1913 года для президента Вейла и других руководителей была проведена лабораторная демонстрация многообещающих возможностей аудионного ретранслятора на 900-мильной ненагруженной искусственной линии с воздушным проводом длиной 104 мили. Это был односторонний тест с несколькими ламповыми ретрансляторами типа 21 (двухсторонняя схема с одним повторителем) в тандеме. В лампах не было высокого вакуума из-за ограничений имевшегося в то время в лаборатории оборудования (еще не был куплен насос *Gaede*).

К началу 1913 года, когда в Лабораторном корпусе компании *WEC* был установлен специальный немецкий насос, группа¹⁵ Арнольда начала изготавливать вручную первые лампы высокого вакуума (тип *A*) со значительно улучшенной конструкцией, чем аудион. К октябрю того же года современный триод производился в небольших количествах на Западном заводе (*Western plant*).

Через 10 месяцев после демонстрации аудиона Ли де Форестом, 18 октября 1913 года, *Western Electric Co.* изготовила с учетом усовершенствований Арнольда первый ретранслятор типа 22 (двухполосная схема с двумя повторителями) на лампах с высоким вакуумом (или жестких электронных лампах типа *A*) со сроком службы 4000 часов, рис. 9. Это позволило *Western Electric Company* в том же месяце установить этот ретранслятор в Филадельфии и ввести его в эксплуатацию с нагрузкой на коммерческой кабельной телефонной линии Нью-Йорк-Балтимор. Это был, вероятно, первый усилитель на лампе с высоким вакуумом, который был принят в эксплуатацию на линиях электросвязи. Лампа не имела цоколя и подключалась с помощью подводящих проводов.

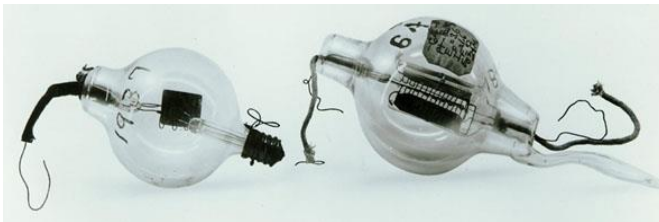


Рис. 9. Аудион Ли де Фореста представленный Джеветтом в 1912 г. (слева) и электронная радиолампа Арнольда с высоким вакуумом типа *A* (1913 г.).

Fig. 9. Lee de Forest audion presented by Jewett in 1912 (left) and Arnold's high vacuum type *A* electronic radio tube (1913)

¹⁵ Арнольд после успешных испытаний телефонного транслятора на газоразрядной лампе в конце 1912 г. получил свою собственную исследовательскую группу (отдел *A*).

После короткого периода времени лампы тип «А» заменили на лампы типа «В». Эта лампа явилась улучшенным вариантом по сравнению с типом «А» в нескольких направлениях (например, нить накала была несколько больше, и сделана из витой платиновой ленты). Но наиболее заметное различие было в структуре сетки. Каждая сетка была составлена из восьми горизонтальных проводов, равномерно расположенных в вертикальном направлении и приваренными к двум вертикальным опорам. Эта конструкция сетки получила название как «лестничный тип», которые широко использовался несколько лет в конструкциях ламп *Western Electric Company*. Нужно заметить, что «лестничный тип» более сложен при изготовлении в сравнении с зигзагообразной сеткой аудиона. В лампе типа «В» срок службы нити накала составлял 4500 часов.

К ноябрю 1913 года сотрудникам лаборатории Г. Арнольда удалось значительно улучшить вакуум аудиона и поднять анодное напряжение до 80 В, в то время как лампа Фореста была ограничена примерно 20 В. В дальнейшем улучшения вакуума позволили безопасно увеличить анодное напряжение до 200 В.

9. Измерение экстремального вакуума

Весной 1914 г. Ф. Джеветт посетил Корнельский университет в Итаке (штат Нью-Йорк), где познакомился с молодым преподавателем физики Оливером Бакли (*Oliver Ellsworth Buckley*, 08.08.1887—14.12.1959) и пригласил его стать членом исследовательской группы под руководством Джеветта в лаборатории *Western Electric Company* в Нью-Йорке. Бакли принял приглашение после защиты докторской диссертации и получения докторской степени (*PhD* по физике) в июне 1914 года.

14 июля 1914 года Бакли начал свою карьеру в инженерном отделе *WEC*, работая непосредственно с доктором Гарольдом Арнольдом. Поскольку Арнольд координировал проект и посвящал большую часть своих замыслов проектированию конструкции и геометрии электродов ламп, то он поручил Бакли разработку новых высоковакуумных термоэмиссионных устройств, пригодных для проводных и радиотелефонных систем. Бакли в начале исследований обнаружил, что универсально используемый роторный молекулярный насос *Gaede* не подходит по скорости, мощности и степени вакуума для сложной задачи «накачки» изготовленных новых термоэмиссионных ламп. Он изобрел и усовершенствовал диффузионный насос на парах ртути, отвечающий требованиям скорости, производительности и степени вакуума. Позже стало известно, что доктор Ирвинг Ленгмюр из исследовательской лаборатории

General Electric Company независимо сделал почти идентичное изобретение. Диффузионный насос Бакли и Ленгмюра был предшественником большого семейства ртутных, а затем и масляных диффузионных насосов, которые сегодня широко используются в лабораториях и на производственных предприятиях.

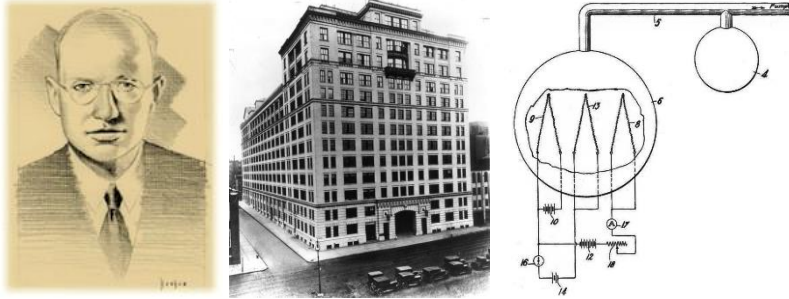


Рис. 10. Оливер Бакли. Здание штаб-квартиры *Bell Labs* на 463 West Street, Нью-Йорк, в котором располагалась *Bell Labs*, когда в ней работал Бакли. Аппаратура для измерения давления газа по Бакли: рисунок из его патента US1372798 с приоритетом от 27 ноября 1916 г.

Fig. 10. Oliver Buckley. The *Bell Labs* headquarters building at 463 West Street, New York, which housed *Bell Labs* when Buckley worked there. Equipment for measuring gas pressure according to Buckley: drawing from his patent US1372798 with priority dated November 27, 1916

Для будущей трансконтинентальной телефонной линии требовалось большое количество электронных ламп для установки в трансляторах, которые должны были быть одинакового качества и мощности, имели достаточно долгий срок службы и низкие эксплуатационные расходы, чтобы быть экономически целесообразными. Перечисленные требования к лампам в первую очередь зависели от уровня вакуума. До 1914 года единственными доступными манометрами для измерения экстремального вакуума были манометр Кнудсена (*Knudsen*) и молекулярный датчик Ленгмюра (*Langmuir*). Оба они имеют серьезные недостатки из-за их тонкой конструкции и невысокого быстродействия.

Необходимость непрерывного измерения степени вакуума в баллоне электронной лампы побудила Бакли в 1915—1916 гг. разработать метод и аппаратуру для измерения давления газа: заявка на получение патента US1372798 была подана 27 ноября 1916 г. [12]. В манометре Бакли использовалась ионизация газа электронным разрядом. Это устройство оказалось свободным от ограничений предыдущих манометров и функционировало в большом диапазоне давлений.

Манометр Бакли был по существу одним из триодов Арнольда, расположенных внутри изучаемого вакуумированного пространства, рис. 10.

Манометр состоит из трех электродов, запаянных в стеклянную колбу, которые служат катодом, анодом и коллектором положительных ионов. Катод может быть любым источником чисто электронного разряда, таким как катод Венельта или нагретая вольфрамовая или другая металлическая нить. Точные формы электродов не имеют большого значения. Коллектор расположен между двумя другими электродами и имеет такую форму, чтобы не блокировать полностью поток электронов к аноду.

Миллиамперметр используется для измерения тока на аноде, а чувствительный гальванометр — для измерения тока от коллектора, который поддерживается отрицательным по отношению к катоду, чтобы улавливать только положительные ионы. Сетка, будучи смещена отрицательно, действует как коллектор положительных ионов. В другом варианте роли сетки и анода поменялись местами. В любой форме отношение положительного «коллекторного» тока к анодному току, как показал Бакли, пропорционально давлению. Манометр можно использовать в диапазоне давлений от 10^{-3} до $4 \cdot 10^{-6}$ мм ртутного столба. Простой по конструкции и легко воспроизводимый манометр Бакли обладал также преимуществом быстроты и простоты измерения переменного давления, поскольку нужно было следить только за показаниями чувствительного гальванометра (в коллекторной цепи). Эти атрибуты, очевидно, имели большое значение в исследовательской программе, которая по необходимости включала измерения на тысячах нитей накала, чтобы найти лучшие материалы и процессы, и в то же время для раскрытия секретов оксидных катодов Венельта, чтобы отказаться от некоторого их эмпиризма при их анализе, от которого зависело его дальнейшее улучшение.

10. Разработка теории усиления аудиона

В сентябре 1913 г. к группе Арнольда присоединился Хендрик ван дер Бейл, рис. 11. Ему показали аудион и сказали, что он способен обнаруживать радиоволны и усиливать слабые телефонные токи, но что неизвестно, как и почему это происходит, и что его задачей будет разобраться в этом вопросе. Всю свою жизнь Хендрик подтверждал свою веру в то, что достижения можно добиться только упорным трудом и усилиями, и он был готов работать и упорно трудиться, чтобы выполнить поставленные задачи. И все же во всех его начинаниях всегда присутствовал элемент удачи, как будто благосклонное провидение наблюдало за ним, готовое время от времени подарить ему удачу.

Бейл понял, что для дальнейшего прогресса в развитии триода необходимо разработать научные подходы для определения его основных па-

раметров, не только электрических, но конструкционных, в частности, размеров электродов и расстояния между ними. Он определил, что термоэлектронный триод очень похож на фотоэлектрическую лампу, с которой проводил экспериментальные исследования в Дрездене. Хотя Ли де Форест и ван дер Бейл экспериментировали с почти идентичными устройствами, но цели они преследовали совершенно разные. Целью же американца де Фореста, с одной стороны, было сконструировать свое устройство для обнаружения электромагнитных волн. Основным же исследовательским интересом южноафриканца Бейла в то время было определение максимальных скоростей, с которыми электроны испускаются из металлов под воздействием ультрафиолетового света.



Рис. 11. Ван дер Бейл (стоит слева) сфотографирован предположительно с тремя своими коллегами из *Western Electric* в Нью-Йорке в декабре 1914 г. Мы полагаем, что Арнольд (сняв очки) может сидеть справа. Фотография Ваал Текнорама [13].

Fig. 11. Van der Bijl (standing on the left) photographed with, presumably, three of his colleagues from Western Electric in New York in December 1914. We think that Arnold (having removed his glasses) may be seated on the right. Photograph from Vaal Teknorama [13]

Для экспериментальных исследований Бейл использовал обычную трехэлектродную фотоэлектрическую лампу, представленную на рис. 12. Это исследование показало, что поле между электродами *A* и *N* не только проходило через сетку *N*, но и то, что при широком разнообразии условий поле рассеяния между электродами *P* и *N* можно было описать простой линейной функцией поля, приложенного между *A* и *N*.

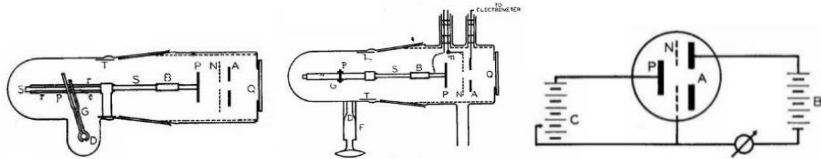


Рис. 12. Трехэлектродная фотоэлектрическая лампа и схема ее включения, которую использовал ван дер Бейл в экспериментах для определения максимальной скорости электронов, испускаемых цинком, облученным ультрафиолетовым светом [14], [15].

Fig. 12. Three-electrode photovoltaic tube and its switching circuit, which was used by van der Bijl in experiments to determine the maximum speed of electrons emitted by zinc irradiated with ultraviolet light [14], [15]

Бейл начал исследование аудиона, имея определенный объем знаний. Он обнаружил, что уравнения, которые вывел в Дрездене для описа-

ния действия электрических полей сетки и анода (пластины) на фотоэлектроны, можно адаптировать для описания поведения аудиона с помощью хорошо известного сейчас им полученного до этого фундаментального уравнения. Исходя из сделанных ранее расчетов, было сравнительно несложно вывести в рекордно короткие сроки основное уравнение, управляющее работой трехэлектродной лампы типа аудиона в режиме усиления.

Бейл предположил, что для нити накала аудиона, испускающей электроны в вакуумированном пространстве, результирующее поле E_s в этом пространстве состоит из приложенных разности потенциалов нить накала — сетка E_g , и разности потенциалов анод — нить накала E_p , что приводит к протеканию тока I к аноду и может быть записано в виде уравнения [16]:

$$E_s = \gamma E_p + E_g + \varepsilon, \quad (1)$$

где ε — небольшая величина, зависящая от ряда факторов, таких как разность потенциалов между нитью накала и сеткой, и мощности нити накала (обычно это порядка вольта и ею можно пренебречь, когда она мала по сравнению с γE_p), γ — коэффициент поля рассеяния, который зависит от конструкции сетки и ее положения. Если сетка очень мелкая, то $\gamma \approx 0$, а если убрать сетку, то есть, случай простой лампы (вакуумный диод), то $\gamma = 1$. В современном понимании γ — это проницаемость сетки лампы.

Чтобы получить представление о влиянии вспомогательного электрода, Бейл рассмотрел схему, показанную на рис. 13. Из уравнения поля рассеивания (1) следует:

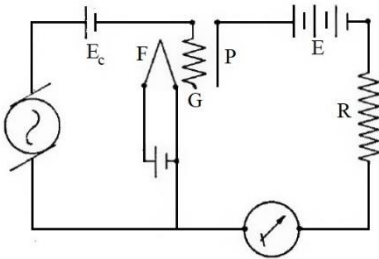


Рис. 13. Схема включения аудиона в эксперименте ван дер Бейла 1913 г.

На схеме обозначено: F — нить накала, P — анод, G — вспомогательный электрод в виде сетки между F и P . [16, p. 178].

Fig. 13. Scheme of turning on the audion in van der Bijl's experiment. 1913. The diagram shows: F is the filament, P is the anode, and G is the auxiliary electrode in the form of a grid between F and P [16, p. 178]

ной независимо от того, какое из наложенных электростатических полей

1. Путем добавления третьего электрода или сетки возможно наложение в пространстве между катодом и сеткой двух электростатических полей, каждое из которых способно независимо управлять протеканием тока через лампу, и соотношение между которыми может быть выражено простым числовым коэффициентом μ .

2. Какой бы ни была форма вольт-амперной характеристики трехэлектродной лампы, эта форма остается неизмен-

используется в качестве переменной при определении характеристики, при условии, что вспомогательный электрод или сетка поддерживаются достаточно отрицательными, чтобы отклонять от них электроны.

Добавление третьего электрода к лампе и установление его связи с полем рассеивания заложили основу радиотелефонии и сделали ее возможной.

В то время, в 1913 году, было известно, что аудион способен эффективно обнаруживать радиоволны и усиливать телефонные токи. Две другие важные функции аудиона, которые были необходимы для завершения этого великого достижения радиотелефонии, а именно: создание незатухающих непрерывных колебаний и модуляция их в соответствии с речевыми волнами, появились вскоре после этого.

Введение сетки между нитью накала и анодом настолько усложняет распределение электрического поля, что теоретический вывод связи между током на аноде и приложенными напряжениями между нитью накала и сеткой, и нитью накала и анодом затруднителен, и приводит к выражениям, которые слишком сложны для практического использования. Поэтому Бейл счел более практичным определять характеристику тока I лампы эмпирически. В результате большого количества проведенных экспериментов, он обнаружил, что характеристика тока I аудиона может быть представлена с достаточной точностью следующей квадратичной зависимостью [16, p. 180]:

$$I = \alpha(\gamma E_p + E_g + \varepsilon)^2, \quad (2)$$

где α — константа, зависящая от конструкции устройства.

Выражение (2) определяет ток анода в зависимости от потенциалов анода и сетки, при этом потенциал нити накала равен нулю. Если к сетке и аноду приложить несколько напряжений, то тогда (2) примет вид

$$I = \alpha(\gamma \sum E_p + \sum E_g + \varepsilon)^2. \quad (3)$$

Если, например, переменная ЭДС $E_{\text{эдс}} = e \sin pt$ накладывается на напряжение сетки E_g , то функциональная зависимость (2) запишется следующим образом

$$I = \alpha(\gamma E_p + E_g + e \sin pt + \varepsilon)^2. \quad (4)$$

Необходимо понимать, что функциональная зависимость (2) определяет прямую характеристику тока I самого устройства, то есть E_p в выражении (2) представляет собой напряжение непосредственно между нитью

накала и анодом P (рис. 13). Если сопротивление R равно нулю, то разность потенциалов равна E , то есть напряжение батареи в цепи $EPRE$, является постоянным. Если R не равно нулю, то тогда под действием протекающего тока через R между его концами устанавливается разность потенциалов и разность потенциалов E_p становится функционально зависимой от тока. Эту характеристику всегда можно получить экспериментально, сделав R равным нулю и включив в цепь $FPER$ (рис. 13) амперметр, сопротивление которого мало по сравнению с внутренним выходным сопротивлением самого усилителя.

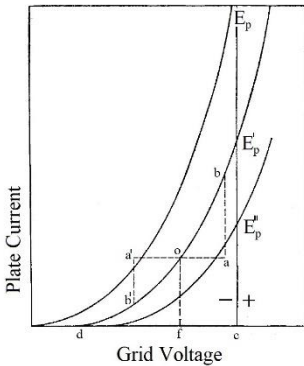


Рис. 14. Анодно-сеточные характеристики аудиона, полученные из уравнения (6). [16, p. 178].

Fig. 14. Anode-grid characteristics of an audion obtained from equation (6). [16, p. 178]

Обозначим правую часть производной (6) через Q , а правую часть производной (7) через S :

$$Q = 2\alpha\gamma(\gamma E_p + E_g + \varepsilon), \tag{8}$$

где Q — электрическая проводимость аудиона,

$$S = 2\alpha(\gamma E_p + E_g + \varepsilon), \tag{9}$$

где S — крутизна аудиона. Если разделить уравнение (8) на уравнение (9), то получим

$$\frac{Q}{S} = \gamma = const. \tag{10}$$

Графическое представление функции (2) дано на рис. 14. Кривые показывают ток анода как функцию напряжения сетки E_g для различных значений параметра E_p . Исходя из уравнения (2) и рис. 14 видно, что ток конечен для отрицательных значений напряжения сетки E_g и уменьшается до нуля только при

$$E_g = -(\gamma E_p + \varepsilon). \tag{5}$$

Взяв частные производные для I (2), сначала по E_p , сохраняя E_g постоянным, а затем по E_g , сохраняя постоянным E_p , получим

$$\frac{\partial I}{\partial E_p} = 2\alpha\gamma(\gamma E_p + E_g + \varepsilon). \tag{6}$$

$$\frac{\partial I}{\partial E_g} = 2\alpha(\gamma E_p + E_g + \varepsilon). \tag{7}$$

Уравнение (10) называют именем ван дер Бейла (*equation van der Bijl*). Это уравнение описывает усиление аудиона через его конструктивные параметры и константы цепи. Основываясь на уравнении (10), можно сказать, при каких условиях аудион будет работать в качестве усилителя. Это будет в том случае, если изменения выходного тока I удовлетворительно отражают изменения входного напряжения E_g при определенных условиях и для определенных диапазонов значений E_g и E_p . Другими словами, небольшие изменения напряжения сетки на входе аудиона приводят к большим изменениям анодного тока на выходе. На этом основан усиливающий эффект аудиона, который дает основание для использования его в качестве усилителя. Уравнение (10) можно записать иначе, если коэффициент проницаемости сетки выразить через коэффициент усиления $-\gamma = \frac{1}{\mu}$, а проводимость лампы через ее внутреннее сопротивление $-Q = \frac{1}{R_i}$. Тогда получим

$$S = \frac{\mu}{R_i}. \quad (11)$$

Открытие в 1914 г. взаимосвязии внутренних трех «констант» вакуумной лампы: крутизны S , коэффициента усиления μ и внутреннего сопротивления R_i и запись их в виде формулы (11) принадлежит Хендрику ван дер Бейлу, сотруднику *Western Electric*. Полученный результат был опубликован в ряде статей 1918—1919 гг. [16,17]. Невзирая на это, формулу (11) ошибочно в технической литературе приписывают немецкому ученому радиотехнику Георгу Баркгаузену (*Georg Heinrich Barkhausen*, 02.12.1881—20.02.1956). Баркгаузен сделал эту формулу доступной для более широкой аудитории в рамках своих обширных исследований процессов в электронных лампах, начиная с 1918 года. В технической литературе формула Баркгаузена записывается, обычно, в виде:

$$S \cdot \gamma \cdot R_i = 1. \quad (12)$$

С помощью уравнения (10) были получены выражения для различных параметров, влияющих на работу аудиона, таких как импеданс, усиление напряжения, усиление тока и мощности, и т. д., а поскольку α и μ являются константами, зависящими от конструктивных размеров лампы, то это позволило конструировать лампы практически для любой желаемой цели. Выяснилось, что для одних целей желательно иметь высокое значение μ , а для других — низкое. Поскольку параметр μ зависел от конструктивных размеров лампы, таких как размер ячейки сетки и ее расстояние от нити накала и анода, было несложно спроектировать лампы с «высоким μ »

и «малым μ ». Бейлом были разработаны методы экспериментального определения двух наиболее важных констант лампы: усиления μ и внутреннего выходного сопротивления. В 1920 году Бейл написал и опубликовал свою единственную книгу по радиотехнике. В ней он собрал свои научные исследования по электронным лампам в виде монографии «Термионная вакуумная лампа» (англ. *The thermionic vacuum tube and its applications*), которая более двадцати лет была стандартным учебником по ламповым технологиям [18], рис. 15.

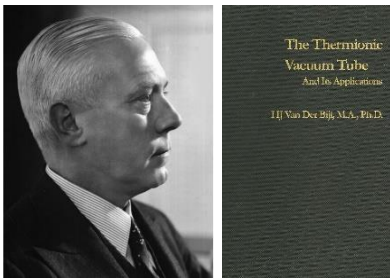


Рис. 15. Хендрик ван дер Бейл в последние годы жизни. Фотография Ваал Текнорама. Его монография «Термионная вакуумная лампа и ее применение» (1920 г.)

Fig. 15. Hendrik van der Bijl in later life. Photograph from Vaal Teknorama. His monograph “The thermionic vacuum tube and its applications” (1920)

На самом деле, что касается работы двух ламп Фореста и Бейла, то их работа идентична. Таким образом, зависимость поля рассеяния от параметров лампы, которую обнаружил Бейл с помощью фотоэлектрической лампы, была непосредственно применена к аудиону. Это позволило сделать возможным объяснение явлений, наблюдаемых в аудионе. Именно здесь сошлись две упомянутые выше отдельные линии развития трехэлектродных ламп.

Как только теория аудиона была разработана и стало понятно, что происходит в лампе, развитие ламповых технологий пошло быстрыми темпами. Первую лампу типа *M* Бейл сконструировал для определенной цели, а именно для телефонного ретранслятора (усилителя мощности). Над практической разработкой и количественным расчетом первых коммерческих триодов Бейл работал с Гарольдом Арнольдом.

11. Производство триодов *Western Electric Co.* для телефонных ретрансляторов

Ретрансляционная лампа типа *M* появилась как раз вовремя. Ее необходимость диктовалась приказом компании *Bell* о том, что к февралю 1915 года должна быть построена и успешно функционировать телефонная линия между Нью-Йорком и побережьем Тихого океана, открытие которой приурочивалось к открытию Панамо-тихоокеанской выставки. Разработка подходящей лампы-ретранслятора была лишь относительно небольшой частью работы, но от нее зависела конструкция цепей. При этом

необходимо было иметь уверенность в том, что можно произвести достаточное количество таких ламп с неизменными характеристиками, чтобы обеспечить необходимое усиление и мощность, сделать возможным полное согласование импедансов по всей длине телефонной линии, превышающей 3400 миль. Телефонная сеть была открыта для коммерческой связи почти за два месяца до открытия Панамо-Тихоокеанской международной выставки в Сан-Франциско, что стало свидетельством эффективности и усердия организации *Bell Telephone*.

В начале 1914 года стало очевидным, что использование ламп без цоколя приносит много неудобств при эксплуатации. В связи с этим были предприняты шаги по разработке подходящего цоколя и монтажных панелек для ламп, что должно было облегчить их замену. Первые лампы¹⁶ с цоколем были известны как лампы типа «М» (*M* — mounted, установка), или 101A и предназначались для использования в телефонных усилителях, рис. 16. Ламповые панельки для ламп были очень массивными. Они изготавливались методом литья из латуни, аналогично ранее использовавшимся для механических ретрансляторов.

Ретрансляторы на лампах тип «М» впервые были использованы для очень больших расстояний на трансконтинентальной телефонной линии Нью-Йорк — Сан-Франциско, которая была открыта 15 января 1915 года. Лампы тип «М» работали при токе накаливания 1,35—1,55 А и напряжении около 4 В. Нормальное напряжение анода составляло 100 В, анодный ток — 10—15 мА. Лампа имела коэффициент усиления 5, а ее внутреннее сопротивление было около 5000 Ом. Срок службы составлял около 400 часов, что значительно больше, чем у аудиона Фореста.



Рис. 16. Общий вид ламп типа: М — 101А (а), L — 101В (б) и их устройство (в). 1915 г.

Fig. 16. General view of type tubes: M — 101A (a), L — 101B (б) and their arrangement (в). 1915

¹⁶ Лампы производились по патенту US1130042А ван дер Бейла и А. Николсона с приоритетом от 6 июня. 1914 г.

Теоретические исследования работы первых ламп с высоким вакуумом показали, что их срок службы может быть значительно удлинен за счет увеличения термоэлектронной эмиссии нити накала. Это позволяло при работе лампы получить требуемую термоэлектронную эмиссию при более низкой температуре нити. В результате была разработана и впервые выпущена в промышленных масштабах в 1915 году лампа типа «L», рис. 16. Лампы типа «M» еще некоторое выпускались с целью их замены в устройствах, для которых они были разработаны. В лампе типа «L» нить накала имела длину в 2 раза больше, чем в типе «M», что привело к увеличению площади излучения тоже в 2 раза. Другие изменения касались конструкции лампы. Количество горизонтальных проводов в сетке было увеличено с 8 до 9, а также сделано другое крепление анода. Срок службы лампы оказался около 4500 часов, что примерно в 11 раз больше, чем у его предшественника типа «M», и в 50—100 раз больше аудиона, который первоначально был представлен де Форестом телефонной компании.

Первые образцы ламп типа «L» не содержали на цоколе маркировки с патентными правами компании. С конца 1915 года стальным штампом на цоколе начала ставиться маркировка патентных прав. На каждой лампе имелся серийный номер, отображенный «алмазными чернилами» (*diamond ink*) и проставленный резиновой печатью. Примерно с середины 1916 года WEC перестала ставить буквенные обозначения на лампах, а взамен появились кодовые номера, например, тип «M» стал «101A», а тип «L» — «101B».

Лампы типов «101A» и «101B», впервые стали известны как *Telephone Repeater Elements*, позже, в 1917 году, название было изменено на *Repeater Bulb* (ламповый ретранслятор или повторитель). Эти названия, а не вакуумная лампа (*Vacuum Tube*), в дальнейшем стали применяться, чтобы дифференцировать лампы, изготовленные для использования в телефонных ретрансляторах. До 1922 года использовалось словосочетание *Vacuum Tube* ко всем устройствам, в которых они использовались, независимо от их предназначения.

После того, как были сделаны улучшения первых ламп серии 101, им на смену пришли новые модели типа 101D, а позже — типа 101F, рис. 17. Лампа 101D предназначалась для использования в усилителях звуковой частоты. *Western Electric Co.* обладала эксклюзивными правами на эту лампу и не продавала ее другим компаниям. Продолжительность жизни лампы 101D составляла 40000 часов, что в 50 раз больше, чем у типа 101A. Эта лампа очень хорошо подходила для работы в непрерывном режиме, в котором требовалось длительное время бесперебойной работы устройства.

У лампы 101F нить накала работала при постоянном напряжении 4,1 В и токе 0,5 А. Лампа 101D имела большее напряжение для питания

нити накала — 4,5 В и ток накала 1 А. Лампы 101D и 101F отличались между собой величинами отрицательного смещения на сетке и емкостью между электродами: 101D имела коэффициент усиления $\mu = 6,5$, лампа 101F — $\mu = 7,5$.



Рис. 17. Радиолампы WEC под названием «теннисный мяч» типа: 101D (а) с ламповой панелькой 100-L, 101F (б) и цоколевка ламп 101D и 101F (в).

Fig. 17. WEC tubes called “tennis ball” types: 101D (а) and tube base 101D and 101F (в)

У лампы 101D анод состоял из двух пластин, а у 101F анод был сделан в виде тонкого параллелепипеда. Лампы 101D и 101F получили известность под названием «теннисный мяч» (*Tennis Ball Tube*). «Теннисный мяч» имел диаметр стеклянного баллона 60 мм ($2\frac{3}{8}$ дюйма). Высота лампы составляла 114 мм ($4\frac{1}{2}$ дюйма). Форма баллона ламп была изменена в конце 1930-х годов, а их производство продолжалось до 1984 года. В конце 1920-х годов в *Bell System* использовалось более 50000 ламп.

12. Производство триодов *Western Electric Co.* для военных целей

Радиолампы, которые производила *Western Electric Co.* использовались только для производственных и правительственных целей, и для продажи не предназначались. На случай возможного вступления США в Первую мировую войну, *Western Electric Co.* начала разработку конструкций ламп для использования в военных целях. Военным требовались стабильные, надежные и с разумным сроком службы электронные лампы.

Вскоре компания наладила массовое производство первого коммерческого триода тип VT1 (*VT — Vacuum Tube*, вакуумная лампа), который предназначался для общего использования, в частности, в радиоприемниках в качестве детектора, усилителях и маломощных генераторах, рис. 18. Для лампы VT1 впервые была выбрана «цилиндрическая форма», вместо ранее использовавшейся сферической конструкции. Сетки и нити накала вместе с двумя анодами крепились к керамической стойке. Анодные листы имели волнистый профиль, что обеспечивало им достаточную жесткость. В лампе электроды устанавливались вертикально, в то время как в Европе

все еще их располагали горизонтально. VT1 было обозначением Корпуса связи США для лампы, которая была известна как *Type-J*. Эта же лампа использовалась ВМС США под обозначением *CW-933*. Кодовые номера *Western Electric*, присвоенные этому типу, относятся к серии 203, первым из которых был «203A». С 1919 года вместо этой старой конструкции можно было использовать *VT-Class-I* или *B-Moorhead*.

В апреле 1917 года США вступила в Первую мировую войну, через 22 месяца после британцев и за 19 месяцев до перемирия, которое привело войну к внезапному завершению. В этот момент времени Корпус связи США (*United States Army Signal Corps*¹⁷) нуждался в небольших 5-ваттных ламповых передатчиках.

Лампа VT1 была признана слишком хрупкой для использования в экстремальных условиях, в частности, на поле боя. По прошествии нескольких месяцев в конструкцию лампы VT1 были внесены значительные изменения. Из-за большей мощности и, следовательно, большого нагрева лампы, восковая начинка была заменена термостабильной вставкой из фенольной смолы.

Последняя партия ламп VT1 была выпущена в 1916 году, так как в следующем 1917 году было освоено производство ламп типа VT-2 мощностью 5 Вт, рис. 18. Сферический стеклянный баллон лампы VT-2 содержал плоские электроды. Нить накала была сделана из платины с покрытием, которая при номинальном токе нагрева светилась ярко-красным цветом, а анод при этом имел едва заметный красный цвет. Интересно, отметить, что лампа содержала плавкий предохранитель в виде полоски из золота шириной 1/16 дюйма для защиты анода от выгорания при большом токе, который не должен был превышать 40 мА. Цоколь лампы — 4-контактный байонетный¹⁸. Это было первое семейство радиоламп, в котором использовался байонетный цоколь с боковым штифтом. Этот тип цоколя используется до настоящего времени.

Впоследствии лампа VT-2 продавалась под маркировкой 205-B. Лампы, подобные VT1 и VT2, были также изготовлены для военно-морского флота США, но под другими обозначениями: *CW-933* (VT1) и *CW-931* (VT2). В годы Первой мировой войны (1914—1918 гг.) *Western Electric* произвела около полумиллиона ламп типа VT-1 и VT-2.

¹⁷ Корпус связи армии США (USASC) разрабатывал, тестировал, обеспечивал и управлял поддержкой коммуникационных и информационных систем для командования и управления объединенными вооруженными силами. Он был основан в 1860 году.

¹⁸ Байонетное соединение (байонет, штыковое соединение) — быстро выполняемое соединение деталей посредством осевого перемещения и поворота (иногда бокового смещения) одной из них относительно другой.

Ближе к концу Первой мировой войны ван дер Бейлу было предложено разработать ламповый триод с минимально возможной мощностью нити накала для использования в траншейных установках с батарейным питанием. Нить накала получившейся лампы VT-3 (рис. 19) потребляла 0,2 А от элемента 2 В (0,4 Вт), что составляло примерно десятую часть мощности, необходимой для предыдущих ламп.

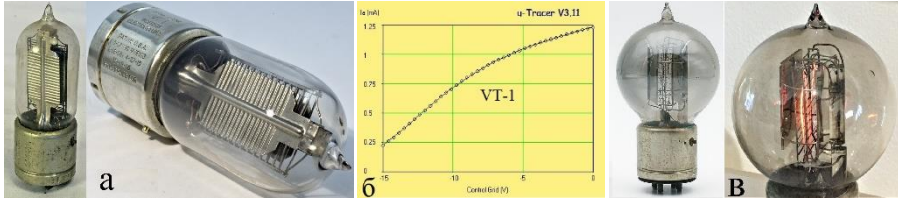


Рис. 18. Общий вид лампы: VT1 (а), анодно-сеточная характеристика¹⁹ VT1 (б), VT2 (в). 1918 г.
Fig. 18. General view of the tube: VT1 (a), anode-grid characteristic VT1 (б), VT2 (в) 1918

Война закончилась до того, как лампу VT-3 можно было использовать в военных целях, но ван дер Бейл продолжил разработку и изготовил лампу небольших размеров, диаметром 17 мм, а высотой всего 68 мм. Из-за своего размера она стала известна как «арахисовая лампа» (*peanut tube*). На эту лампу несложной конструкции Бейл получил патент US1566293 (рис. 19). В Корпусе связи «арахисовая лампа» получила обозначение WE VT-5 (тип 215) NE (*Northern Electric*), а в ВМФ (*Navy*) — CW-1344 (позже CW-38015). В компании WEC «арахисовая лампа» называлась тип «N». *Western Electric* произвела очень мало таких ламп, но лицензия на конструкцию была предоставлена нескольким другим производителям, включая *Westinghouse* (WD-11²⁰) и трем производителям в Соединенном Королевстве, где она была известна как *Wecovalve*.

Нить триода VT-5 (тип 215) была намотана одножильным проводом «Конель» (*Conel*), покрытого барием и стронцием, установлена вертикально. Сетка представляла собой спиральную никелевую проволоку, а анод — никелевый цилиндр. Эта конструкция была чувствительна к механическому удару и была улучшена за счет добавления армирующего стекла в верхней части трубчатой конструкции, сделанного из тростникового стекла²¹ толщиной 1/16 дюйма, и никелевой проволоки диаметром 0,010 дюйма, встроенной в стержневой зажим параллельно трубчатому аноду. В лампе был установлен геттер (газопоглотитель) магния.

¹⁹ VT-1 Sensibly equivalent to: WE-203A. The Valve Museum. URL: <http://www.r-type.org/exhib/acf0028.htm>. (09.02.2023).

²⁰ Westinghouse Tube Development Leading to the WD-11. URL: <http://www.bill01a.com/articles/west%20wd-11.htm>. (09.02.2023).

²¹ Тростниковое стекло — вид рельефного стекла.

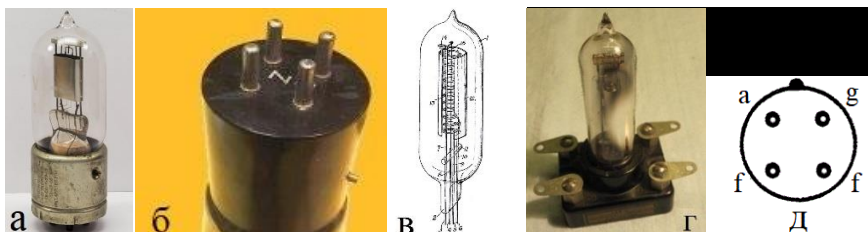


Рис. 19. Общий вид лампы VT-3 (а), расположение выводов VT-3 на цоколе (б). Устройство «арахисовой лампы» (в). Рисунок из патента US1566293 ван дер Бейла с приоритетом от 4 сентября 1919 г. «Арахисовая лампа» WEC VT-5 (тип 215) NE (Northern Electric) с ламповой панелькой (г). Цоколевка VT-5 (д).

Fig. 19. General view of the VT-3 tube (a), the location of the VT-3 terminals on the base (б). “Peanut tube” device. Drawing from van der Bijl’s patent US1566293 with priority September 4, 1919. “Peanut tube” WEC VT-5 (type 215) NE (Northern Electric) with a tube socket (г). Pinout VT-5 (д)

Хотя лампа VT-5 (тип 215) была разработана для портативных военных средств связи, но могла функционировать как усилитель звука и промежуточной частоты, детектор или генератор. Этот триод использовался в приемнике *Wireless Specialty Apparatus BC-144* (1928 г.) и усилителе *WE 23A*. Лампа 215A также использовалась в гражданских целях, например, устанавливалась в мониторах *WE 500* кГц для радиовещательных станций (модель *3A TRF* и в супергетеродинные приемники типа 4 и аудиометрах. Помимо этого лампа использовалась в вещательных приемниках *TRF*, специально созданных *WEC* для полиции Нью-Йорка (1925 г.). На каждом участке было радио, настроенное на городскую станцию *WNYC*. Используя поворотные селекторы рельсового типа, управляемые тоном 3000 Гц, диспетчер мог выборочно оповещать каждый объект отдельно. *Western Electric* окончательно отказалась от поставок ламп ВМФ США в 1983 году, после 64 лет производства.

13. Истоки французского триода ТМ

В сентябре 1914 года, сразу после начала Первой мировой войны, ван дер Бейл разработал лампу с горизонтально расположенными коаксиальными цилиндрическими электродами [18, pp. 243—244], рис. 20.

Лампа ван дер Бейла предназначалась для военных целей, в частности, радиосвязи. Предположительно *Western Electric* проигнорировала эту конструкцию, потому что она не соответствовала потребностям телефонной индустрии и не увидела потенциал зарождающегося военного рынка [13, p. 2450]. Это вероятно и явилось причиной того, что ван дер Бейл оформил заявку на получение патента «Электронно-разрядное устройство

и способ его изготовления» (англ. *Electron-discharge device and method the making the same*) только через 4 года после разработки лампового триода, 4 декабря 1918 г. В то время как французские инженеры подали заявку на изобретение под названием «Приспособление для крепления элементов электроламп типа «Аудион» (фр. *Dispositif de montage des éléments des tubes à vide «genre Audion»*) 25 октября 1915 г.

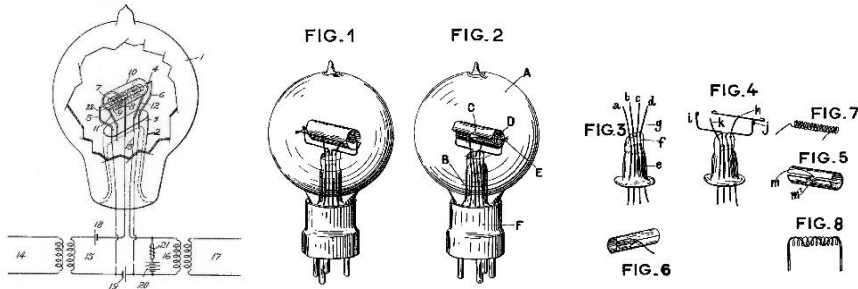


Рис. 20. Лампа ван дер Бейла (слева) по патенту US1738269 с приоритетом от 4 декабря 1918 г. [19]. Справа французская лампа М. Пери и Ж. Биге по патенту FR492657 с приоритетом от 25 октября 1915 г. [20].

Fig. 20. Van der Bijl tube (left) according to patent US1738269 with priority dated December 4, 1918 [19]. On the right French tube by M. Peri and J. Biguet to patent FR492657 with priority dated October 25, 1915. [20]

На протяжении 30 лет, в трех отдельных заявлениях, ван дер Бейл утверждал, что его конструкция трехэлектродной лампы по патенту US1738269 легла в основу известной французской лампы типа *TM*, рис. 20. Несколько миллионов ламп типа *TM* было произведено во Франции и Великобритании.

14. Дальнейшая деятельность Хендрика ван дер Бейла

В 1915 году *Western Electric*, успешно связав США от побережья к побережью по телефону, обратила свое внимание на трансокеанскую связь, экспериментируя с радиотелефонией. Речь уже передавалась по радиоволнам, но до того времени не появилось никакого метода, пригодного для передач коммерческого использования. В *Western Electric* была собрана группа инженеров, чтобы изучить возможность использования вакуумной лампы для этой цели.

Дальнейшее исследование беспроводных свойств вакуумного триода открыло возможность его использования в качестве модулятора беспроводных волн и его применения в беспроводной телефонии. В мае 1914 года Бейл, работая над своей теорией усиления аудиона, обнаружил, что не-

линейная вольт-амперная характеристика аудиона может быть применена в новой области радиосвязи. Она может быть использована для модуляции речью высокочастотных непрерывных электромагнитных волн. В своих исследовательских заметках того периода времени Бейл привел несколько схем, с помощью которых это можно осуществить.

После подготовки к экспериментам по беспроводной телефонии необходимое оборудование было установлено на станции связи ВМС в Арлингтоне, штат Вирджиния. Выбор этой станции был связан с тем, что имелась возможность воспользоваться имеющимися там большими и эффективными длинноволновыми антеннами. Всего через год после успешного применения термоэмиссионного триода в проводных телефонных цепях на большие расстояния стало возможным разговаривать по беспроводной связи из Нью-Йорка в Гонолулу — на расстояние 5000 миль (7800 км). Вскоре после этого человеческий разговор был передан из Нью-Йорка в Париж (6000 км).

Первая передача речи без помощи проводов произошла при драматических обстоятельствах. Это было 21 октября 1915 года, Первая мировая война все еще бушевала, поэтому эксперименты проводились тайно. Американские ученые в Париже со своей приемной аппаратурой на Эйфелевой башне впервые в мировой истории услышали голоса своих коллег-ученых в Америке, говорящие с ними через эфир.

В телефонной компании Белла Хендрик ван дер Бейл проработал 7 лет, с 1913 по 1920 год, и за это время сделал много интересных открытий и изобретений, которые оказали большое влияние на развитие беспроводной передачи и телевидения.

Хендрик ван дер Бейл утверждал, что одним из секретов почти невероятного успеха его предприятий является его способность выбирать нужных людей и его готовность позволить им испытать свои крылья, наделяя их властью, всегда соизмеримой с их ответственностью. Если совершаются ошибки, что естественно, то они тоже имеют свою причину и являются ценным опытом, но их нельзя повторять. По его собственному любимому выражению [10, р. 55]: «Только осел дважды ударяется головой об одну и ту же стену» (англ. *Only a donkey bumps its head against the same wall twice*). В 1920 году ван дер Бейл вернулся на родину в Южно-Африканский Союз²² и был назначен техническим и научным советником в министерстве шахт и промышленности. Его промышленная карьера включает в себя длинный список успешного руководства на постах пред-

²² В 1961 году Южно-Африканский Союз стал независимой Южно-Африканской Республикой, которая вышла из Содружества наций, возглавляемого Великобританией. Выход был обусловлен неприятием политики апартеида в ЮАР другими членами Содружества (членство ЮАР в Содружестве было восстановлено в июне 1994 года).

седателя и директора. Следует отметить, что британское правительство консультировалось с ним по предложенному законопроекту о национализации сталелитейной промышленности в Великобритании.



Рис. 21. Три ректора (слева направо): г-н Хофмейр (Университет Витватерсранда), генерал Смэтс (Кейптаунский университет), д-р ван дер Бийл (Университет Претории) [10, p. 117].

Fig. 21. Three chancellors (from left to right): Mr. Hofmeyr (Witwatersrand University), General Smuts (Cape Town University), Dr. van der Bijl (Pretoria University) [10, p. 117]

В 1927 году ван дер Бейл был назначен президентом Южноафриканского института инженеров-электриков (*SAIEE*), а с 1934 по 1948 год он был ректором Преторийского университета (англ. *University of Pretoria*), рис. 21. Нужно подчеркнуть, что ван дер Бейл очень много сделал для промышленности, науки и образования в Южно-Африканском Союзе. Он является знаковой личностью этой страны и почитается до сего дня.

15. Заключение

Улучшенный механический ретранслятор имел более низкие характеристики относительно ретранслятора вакуумной лампы, что ограничивало его практическое использование. Проблемы механического ретранслятора на линиях большой протяженности лежали в его диафрагме. Они становились все более серьезными с увеличением длины цепей, включая увеличение количества повторителей в тандеме. Более того, даже при самых благоприятных условиях эксплуатации максимальное усиление механического ретранслятора было значительно ниже, чем при использовании устройства на вакуумных лампах. Инерция движущихся частей механического ретранслятора ограничивала применение его частотного диапазона для голосовой телефонии.

Научно-исследовательская работа, проделанная инженерами *AT&T* и *WEC*, позволила в течение короткого периода времени превратить примитивный аудион де Фореста в надежный компонент телефонного релейного усилителя, предназначенного для телефонных линий большой дальности. Важнейшими требованиями к лампам ретранслятора были длительный срок службы и постоянство их характеристик. Затраты на производство

были второстепенными. Лампы использовались в мягкой среде телефонных аппаратов и не подвергались сильным ударам, вибрации или экстремальным температурам.

Гарольд Арнольд сделал несколько значительных усовершенствований аудиона, таких как повышение уровня вакуума в стеклянной колбе и разработка более эффективной нити накала. Все это позволило изготовить надежный ламповый ретранслятор для телефонных линий большой дальности. Он разработал конструкцию радиоламп и технологию их изготовления, а также организовал производство радиоламп, которые отвечали требованиям ретрансляторов телефонных линий: надежности, простоте их обслуживания и быстрой замене вышедших из строя ламп.

Через несколько лет после открытия трансконтинентальной линии механические ретрансляторы были вытеснены и заменены устройствами на вакуумных лампах. Это привело к тому, что скоростной ретранслятор на вакуумной лампе стал стандартом.

Благодаря Дж. Карти, который организовал презентацию аудиона, подсказке ученого с академическим образованием, Джона Стоуна, а также экспериментам Гарольда Д. Арнольда, удалось адаптировать изобретение Ли де Фореста и внедрить электронный усилитель в телефонию.

История термоэмиссионной вакуумной лампы, безусловно, является историей удачи, а также удивительным совпадением, поскольку случайная встреча Хендрика ван дер Бейла с профессором Милликеном в Дрездене привела к решению неисследованной научной проблемы и созданию теории электронной лампы.

Значение изобретения трехэлектродной электронной лампы Ли де Форестом, хотя и трудно переоценить, но факт остается фактом, что прогресс в системах беспроводной передачи информации наметился только тогда, когда его устройство попало к сотруднику WEC Гарольду Арнольду, который хорошо был знаком с физическими принципами работы подобного типа устройств. Благодаря этому, Гарольд Арнольд вместе с ван дер Бейлом, Оливером Бакли, Александром Николсоном (*Alexander McLean Nicolson*), Уильямом Уилсоном (*William Wilson*) и другими сотрудниками лаборатории WEC, сумели превратить аудион в коммерческий практический продукт, который стал основным компонентом при разработке безынерционных телефонных ретрансляторов для линий дальней связи.

Список литературы

1. Пестриков В. М. Ртутные газоразрядные лампы Гарольда Арнольда и их применение // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2023. Т. 6, № 1. С. 81—107.
2. Пестриков В. М. Изобретение электронного лампового усилителя звуковой частоты // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2020. Т. 3, № 4. С. 433—455.

3. Pestrikov Victor M. The invention of a tube audio amplifier // ITM Web of Conferences. Vol 30. 16002 (2019). URL: https://www.itm-conferences.org/articles/itmconf/pdf/2019/07/itmconf_crimico2019_16001.pdf (01.01.2023).
4. Clark G. H. The Life of John Stone Stone. Lithographed by Frye & Smith, Limited, 1946. 169 p.
5. Forest de Lee. Father of Radio. The Autobiography. 1st edition. Chicago : Wilcox & Follett Co., 1950. 502 p.
6. Stone J. S. The practical aspects of the propagation of high-frequency electric waves along wires // Journal of the Franklin Institute. October, 1912. Vol. 174. No. 4. P. 353—384.
7. Buchwald J. Z., Warwick A. Histories of the Electron : The Birth of Microphysics. Cambridge : MIT Press, 2004. 528 p.
8. Jacobs A. South African heritage. A biography of H. J. van der Bijl. Pietermaritzburg : Shuter & Shooter, 1948. [178] p.
9. Aitken H. G. J. The Continuous Wave : Technology and American Radio, 1900—1932. Princeton : Princeton University Press, 1985. 246 p.
10. Espenschied L. Discussion of “A History of Some Foundations of Modern Radio-Electronic Technology” // Proceedings of the IRE. 1959. No. 7. P. 1253—1268.
11. Shaw T. The conquest of distance by wire telephony // The Bell System Technical Journal. October, 1944. Vol. XXIII, No. 4. P. 337—421.
12. Buckley O. E. An Ionization Manometer // Proceedings of the National Academy of Sciences. December 15, 1916. Vol. 2, no. 12. P. 683—685.
13. Vermeulen D. J. The Remarkable Dr. Hendrik van der Bijl // Proceedings of the IEEE. December 1998. Vol. 86, no. 12. P. 2445—2454.
14. Bijl H. J. van der. Zur bestimmung der erstenergien lichtelektrisch ausgelöster elektronen // Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. Apr. 1913. S. 330—347.
15. Bijl H. J. van der. A brief sketch of the development of radio telephony // The Transactions of the S. A. Institute of Electrical Engineers. Aug. 1938. Vol 24, no. 8. P. 194—220.
16. Bijl H. J. van der. The theory of the thermionic amplifier // The physical review. Second Series. September, 1918. Vol. 12, no. 3. P. 171—198.
17. Bijl H. J. van der. Theory and operating characteristics of the thermionic amplifier // Proceedings of the Institute of Radio Engineers. April 1919. Vol. 7, no. 2. P. 97—128.
18. Bijl H. J. van der. The thermionic vacuum tube and its applications. New York and London : McGraw Hill Book Co. Inc., 1920. 391 p.
19. Bijl H. J. van der. Electron-discharge device and method the making the same. Patent US1738269. Patented Dec. 3, 1929. Application filed December 4, 1918.
20. Peri M., Biguet J. Brevet FR492657. Délivré le 29 mars 1919. – Publié le 16 juillet 1919. Demandé le 23 octobre 1915, à 16h 5m, à Lyon.

Информация об авторе

Пестриков Виктор Михайлович, д. т. н., профессор Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация. ORCID 0000-0003-0466-881X.

Lee de Forest's Sale of Audion Rights to AT&T and Its Importance for the Development of Radio Technics

V. M. Pestrikov

*St. Petersburg State University of Film and Television
13, Pravda st. St. Petersburg, 191119, Russian Federation
pvm205@yandex.ru*

Received: March 11, 2023

Peer-reviewed: March 30, 2023

Accepted: May 20, 2023

Abstract: *The preparation and holding of the presentation of Lee de Forest's audion, which contributed to the sale of his patent rights to AT&T, is considered. The role of J. Carty and John S. Stone in the presentation was noted. Harold D. Arnold's experiments with the audion and Hendrik van der Bijl's audion theory set the stage for industrial production of vacuum triodes for telephone repeaters. It is shown that the industrial production of a thermionic three-electrode vacuum tube has made it possible to develop innovative commercial telephone repeaters and achieve progress in long-distance telephony.*

Keywords: *Lee de Forest, three-electrode audion, J. Carty, John S. Stone, AT&T, WEC, Harold D. Arnold, Hendrik van der Bijl, audion theory.*

For citation (IEEE): V. M. Pestrikov, "Lee de Forest's Sale of Audion Rights to AT&T and Its Importance for the Development of Radio Technics," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 6, no. 2, pp. 211–249, 2023, doi: 10.29039/2587-9936.2023.06.2.18. (In Russ.).

References

- [1] V. M. Pestrikov, "Mercury discharge lamps of Harold Arnold and their application," *Infocommunication and radio technologies*, vol. 6, no. 1, pp. 81–107, 2023, doi: 10.29039/2587-9936.2023.06.1.08. (In Russ.).
- [2] V. M. Pestrikov, "Invention of an electronic tube audio frequency amplifier," *Infocommunication and radio technologies*, vol. 3, no. 4, pp. 433–455, 2020. (In Russ.).
- [3] Victor M. Pestrikov, "The invention of a tube audio amplifier," *ITM Web of Conferences*, vol 30, 16001, 2019, doi: <https://doi.org/10.1051/itmconf/20193016001> (01.01.2023).
- [4] G. H. Clark, *The Life of John Stone Stone*. Lithographed by Frye & Smith, Limited, 1946.
- [5] Forest de Lee, *Father of Radio. The Autobiography*. 1st edition. Chicago : Wilcox & Follett Co., 1950.
- [6] J. S. Stone, "The practical aspects of the propagation of high-frequency electric waves along wires," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 174, no. 4, pp. 353–384, Oct. 1912, doi: [https://doi.org/10.1016/s0016-0032\(12\)90871-6](https://doi.org/10.1016/s0016-0032(12)90871-6).

- [7] J. Z. Buchwald and A. Warwick, *Histories of the Electron : The Birth of Microphysics*, Cambridge : MIT Press, 2004.
- [8] A. Jacobs, *South African heritage. A biography of H. J. van der Bijl*. Pietermaritzburg : Shuter & Shooter, 1948.
- [9] H. G. J. Aitken, *The Continuous Wave : Technology and American Radio, 1900—1932*. Princeton : Princeton University Press, 1985.
- [10] “Discussion of ‘A History of Some Foundations of Modern Radio-Electronic Technology,’” *Proceedings of the IRE*, vol. 47, no. 7, pp. 1253–1268, 1959, doi: <https://doi.org/10.1109/jrproc.1959.287360>.
- [11] T. Shaw, “The conquest of distance by wire telephony,” *The Bell System Technical Journal*, vol. XXIII, no. 4. pp. 337–421, October 1944.
- [12] O. E. Buckley, “An Ionization Manometer,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 2, no. 12, pp. 683–685, Dec. 1916, doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.2.12.683>.
- [13] D. J. Vermeulen, “The remarkable Dr. Hendrik van der Bijl,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 86, no. 12, pp. 2445–2454, 1998, doi: <https://doi.org/10.1109/5.735450>.
- [14] H. J. van der Bijl, “Zur bestimmung der erstenergien lichtelektrisch ausgelöster elektronen,” *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, pp. 330–347, Apr. 1913.
- [15] H. J. van der Bijl, “A brief sketch of the development of radio telephony,” *The Transactions of the S. A. Institute of Electrical Engineers*, vol 24, no. 8, pp. 194–220, Aug. 1938.
- [16] H. J. van der Bijl, “Theory of the Thermionic Amplifier,” *Physical Review*, vol. 12, no. 3, pp. 171–198, Sep. 1918, doi: <https://doi.org/10.1103/physrev.12.171>.
- [17] H. J. van der Bijl, “Theory and Operating Characteristics of the Thermionic Amplifier,” *Proceedings of the IRE*, vol. 7, no. 2, pp. 97–128, Apr. 1919, doi: <https://doi.org/10.1109/jrproc.1919.217425>.
- [18] H. J. van der Bijl, *The thermionic vacuum tube and its applications*. New York and London : McGraw Hill Book Co. Inc., 1920.
- [19] H. J. van der Bijl, Electron-discharge device and method the making the same. Patent US1738269. Patented Dec. 3, 1929. Application filed December 4, 1918.
- [20] M. Peri and J. Biguet, Brevet FR492657. Délivré le 29 mars 1919. – Publié le 16 juillet 1919. Demandé le 23 octobre 1915, à 16h 5m, à Lyon.

Information about the author

Viktor M. Pestrikov, Dr. Tech. Sc., Professor, St. Petersburg State University of Film and Television, St. Petersburg, Russian Federation. ORCID 0000-0003-0466-881X.