

УДК 621.37-621.39(091)

На пути к вакуумному диоду

Пестриков В. М.

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

Получено: 21 мая 2020 г.

Отрецензировано: 30 мая 2020 г.

Принято к публикации: 11 июня 2020 г.

Аннотация: *Исследована история открытия явления термоэлектронной эмиссии. Рассмотрены работы Шарля Дюфе, Фредерика Гатри и других ученых. Основное внимание уделено открытию эффекта термоэлектронной эмиссии Т. Эдисоном и изобретению им двухэлектродной вакуумной лампы. Проанализированы работы ученых по исследованию эффекта Эдисона, в частности, У. Приуса, Дж. А. Флеминга, Ю. Эльстера и Г. Гейтеля, а также Дж. Хауэлла. Показано, что благодаря открытию Эдисона была создана двухэлектродная лампа, которая явилась прообразом вакуумного диода Дж. А. Флеминга.*

Ключевые слова: *Шарль Дюфе, Фредерик Гатри, эффект Эдисона, двухэлектродная лампа Эдисона, Дж. А. Флеминг, вакуумный диод.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Пестриков В. М. На пути к вакуумному диоду // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2020. Т. 3, № 1. С. 98—134.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Пестриков, В. М. На пути к вакуумному диоду // В. М. Пестриков // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2020. — Т. 3, № 1. — С. 98—134.

On the way to the vacuum diode

V. M. Pestrikov

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

Received: May 21, 2020

Peer-reviewed: May 30, 2020

Accepted: June 11, 2020

Abstract: *The history of the discovery of the phenomenon of thermionic emission is investigated. The works of Charles du Fay, Frederick Guthrie and other scientists are*

considered. The main attention is paid to the effect of thermionic emission by T. Edison and his invention of a two-electrode vacuum lamp. The work of scientists on the study of the Edison effect, in particular, W. Preece, J. A. Fleming, J. Elster and H. Geitel, as well as J. Howell, is analyzed. It is shown that, thanks to the discovery of Edison, a two-electrode lamp was created, which was the prototype of the J. A. Fleming vacuum diode.

Keywords: Charles du Fay, Frederick Guthrie, Edison effect, Edison two-electrode lamp, J.A. Fleming, vacuum diode.

For citation (IEEE): V. M. Pestrikov “On the way to the vacuum diode,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 3, no. 1, pp. 98–134, 2020. (In Russ.).

1. Введение

Открытие того, что пространство около раскаленного тела проводит электричество, было сделано в 1733 г. французским натуралистом и интендантом¹ Королевскими садами² (фр. *Jardin du Roi*) в Париже Шарлем Франсуа де Систерне Дюфе (фр. *Charles François de Cisternay du Fay*, 14.09.1698—16.07.1739), рис. 1. Он заметил, что газ проводит электричество, когда находится рядом с нагретым твердым телом [1]. По его словам, «в одиночку всегда можно много узнать о некоторых истинах, о чем-то неясном и столь же сложном».



Рис.1. Шарль Франсуа де Дюфе (Гравюра на дереве Франция. 19 век.) и вид Экспериментального зала в Ботаническом саду в Париже (*Jardin du Roi*) [2]. 18 век.

Fig. 1. Charles Francois de Dufe (Woodcut France. 19th Century) and View of the Experimental Hall at the Botanical Garden in Paris (*Jardin du Roi*) [2]. 18 Century

После наблюдений Дюфе, почти через 100 лет, в 1853 г. французский физик Эдмунд Беккерель (фр. *Alexandre-Edmond Becquerel*; 24.03.1820—11.05.1891) показал возможность получения электрического

¹ Интендант (фр. *intendant* — управляющий, смотритель) — во Франции первоначально всякое лицо, которому поручалась какая-либо отрасль управления.

² Шарль де Дюфе за 7 лет управления Садами превратил их в один из важнейших научных исследовательских центров Европы, который обладал значительными ресурсами и отличными условиями для исследовательской и лекционной работы. Он умер в довольно раннем возрасте в 40 лет от оспы.

тока, генерируемого двумя горячими платиновыми электродами, имеющими небольшую разность потенциалов, между которыми нагнетался нагреваемый воздух [3, 4].

Принцип термоэлектронной эмиссии и разработка устройств, использующих его, восходит к концу 19 века. В 1873 г. английский профессор Королевского научного колледжа (Royal College of Science) Фредерик Гатри³ (Frederick Guthrie, 15.10.1833—21.10.1886) опубликовал небольшую статью об экспериментальных исследованиях взаимосвязи между теплом и электричеством, в которой отметил следующий факт [5, 6]. Если раскаленную металлическую пластину соединить с землей и расположить ее на некотором расстоянии от положительно заряженного электроскопа, не касаясь его, то происходит разряд прибора. Если электроскоп несет отрицательный заряд, то никакого разряда не происходит. Гатри показал, что эти эффекты в отношении разряда аналогичны при использовании платиновой проволоки, нагретой гальваническим током, а также при экспериментах с конденсированным электричеством лейденской банки.

Неординарные исследования Гатри стали предметом некоторых споров с секретарем Королевского общества Г. Г. Стоксом (G. G. Stokes), особенно в отношении его особенностей терминологии и изложения. Стокс, к большому огорчению Гатри, вообще отказывался публиковать статьи Гатри в «*Philosophical Transactions of the Royal Society*», отсылая их в «*Proceedings of the Royal Society of London*». Рецензенты статьи Гатри расходились в утверждении того, что раскаленные металлы теряют отрицательный заряд быстрее, чем положительный.

Королевский профессор инженерии (англ. *Regius Professor of Engineering*) в университете Эдинбурга Флееминг Дженкин (англ. *Henry Charles Fleeming Jenkin*, 25.03.1833—12.06.1885) утверждал, что автор не показал ничего более оригинального «...чем явления столь же хорошо известные, как разряд проводника и точка, находящаяся напротив него». Джеймс Клерк Максвелл пришел к выводу, что «интересные эксперименты» Гатри связаны с «изменением электрических свойств воздуха под воздействием тепла» и пожелал автору продолжить эти эксперименты, «чтобы полнее изучить предмет» [7].

Гатри был избран членом Королевского общества в 1871 г. Отметим, что подопечными Гатри были выдающиеся ученые, которые сыграли большую роль в зарождении радиотехники и радиоэлектроники, в частности:

³ Благодаря усилиям Гатри и его помощника Уильям Барретт (William Barrett) в марте 1874 г. было организовано Физическое общество в Лондоне. Общество издавало свой журнал «*Proceedings of the Physical Society*» с 1874 по 1967 год.

Оливер Лодж, Сильванус Филлипс Томпсон (Silvanus Phillips Thompson, 1851—1916) и Джон Амброуз Флеминг. Они тепло и уважительно относились к Гатри, в шутку называли его в середине 1870-х годов «добрый папаша» (old daddy). Теплое отношение к нему его учеников отразил в шарже С. Ф. Томпсон в 1870-х гг., рис. 2. Шарж содержит надпись: «Посмотри на эту картинку! И на это!». Рисунок противопоставляет автопортреты Томпсона, отдыхающего на пляже в Дугласе, на острове Мэн⁴ и Фредерика Гатри, читающего лекции студентам. Томпсон сидит на экстравагантном кресле-качалке, курит и наслаждается цветочным ароматом, отбросив книгу «Under Two Flags»⁵. Гатри показан на кафедре лекционной аудитории, перед горелкой Бунзена и другим оборудованием, с носом у точильного камня. Филлипс Томпсон стал членом Королевского общества в 1891 г.



Рис. 2. Фредерик Гатри и карикатура на него и его протеже Сильвануса Филлипса Томпсона [8]. 1870-е годы.

Fig. 2. Frederick Guthrie and the caricature of him and his protege Silvanus Phillips Thompson [8]. 1870s.

На юбилейных торжествах Физического общества пятьдесят лет спустя Джон Амброуз Флеминг, инженер-электрик, который был учеником Гатри в 1872—1873 гг., не без иронии заметил, что «в то время результаты проведенных исследований Гатри не были должным образом поняты». Флеминг ретроспективно обнаружил тесную связь между этими спорными выводами, работой Эдисона (англ. *Thomas Alva Edison*, 11.02.1847—18.10.1931) над углеродными лампами накаливания и собственными исследованиями по «лампам накаливания», и утверждал, что «эффект потери отрицательного электричества от раскаленного углерода в вакууме трактовался до тех пор не так, пока исследования сэра Дж. Дж. Томсона не познакомили нас с электроном и электронной эмиссией от раскаленных тел» [9].

Фредерик Гатри в 1873 г. открыл основной эффект, лежащий в работе еще не появившегося вакуумного лампового диода, а через 7 лет его

⁴ Остров Мэн — коронное владение Британской короны. Расположен в Ирландском море на примерно одинаковом расстоянии от Англии, Ирландии, Шотландии и Уэльса.

⁵ Роман «Под двумя флагами» самое известное произведение английской романистки Уйд (настоящее имя Мария Луиза Раме), впервые опубликованный в 1867 г., рассказывает историю попавшего в трудную жизненную ситуацию английского аристократа, который уходит и присоединяется к французскому батальону Иностранного легиона в Алжире.

независимо заново открыл Томас Альва Эдисон и эффект получил уже другое название.

2. Хаммеровские тени призраков

В декабре 1879 г. лабораторию Томаса Эдисона в Менло-Парк (Menlo Park, New Jersey) посетил молодой инженер Уильям Джозеф Хаммер (William Joseph Hammer, 16.02.1858—24.03.1934) из Weston Malleable Nickel Company, который должен был координировать работу этой компании с Edison Electric Light Company в области консалтинга⁶. Он попросил принять его на работу без оплаты, пока не проявит себя достойно. В скором времени он обратил на себя внимание Эдисона и был назначен ответственным за многие проекты на ближайшие несколько лет. Почти сразу же, в 1880 г., он стал первым главным инженером компании Edison Electric Lamp Company.

Хаммер, будучи помощником Т. Эдисона, принял участие в экспериментах, связанных с телефоном, фонографом, электрической железной дорогой, сепаратором для железной руды, электрическим освещением, а также по другим перспективным изобретениям. Тем не менее, У. Хаммер занимался в основном электрическими лампами накаливания и был назначен ответственным за их испытания. По словам Т. Эдисона, У. Хаммер был «пионером ламп электрического освещения», рис. 3.



Рис. 3. Уильям Джозеф Хаммер, помощник Т. Эдисона (Париж. Electrical Exposition 1881 г.) и часть его коллекции научных устройств (1900 г.).

Fig. 3. William Joseph Hammer, Assistant T. Edison (Paris. Electrical Exposition 1881) and part of his collection of scientific devices (1900)

В 1880—81 гг., во время испытания первых опытных партий вакуумных электрических ламп с угольной нитью накала внимание У. Хаммера⁷

⁶ Консалтинг — деятельность по консультированию производителей, продавцов, покупателей по широкому кругу вопросов в сфере технологической, технической, экспертной деятельности. Цель консалтинга — помочь менеджменту в достижении заявленных целей.

⁷ Уильям Хаммер более известен благодаря его впечатляющей исторической коллекции ламп накаливания, собранных со всего мира в течение 34 лет его жизни (Hammer Historical Collection of

привлекло почернение внутренней поверхности стеклянной колбы. Он отметил, также слабое голубое свечение вокруг положительного полюса в вакуумной колбе, и еще почернение провода и лампочки на отрицательном полюсе. Неизвестное явление в начале получило название «Хаммеровские тени призраков» (Hammer's Phantom Shadow).

Гатри и Хаммер, таким образом, независимо друг от друга обнаружили явление движения потока индуцированного теплом заряда в одном направлении, которое позже стало известно как термоэлектронная эмиссия электронов, без рассмотрения практического применения их работы.

Отмеченное явление в вакуумной лампе, как потом оказалось, было связано с теорией электрона и явилось в дальнейшем основой для всей электронной промышленности! Почернение внутренней поверхности стеклянной колбы электрической лампы напрямую зависело от длительности ее эксплуатации. Нужно заметить, что в газонаполненных лампах с вольфрамовой нитью накала такой дефект практически не заметен. Обнаруженным эффектом сразу занялся Томас Эдисон.

3. Исследования лаборатории Эдисона

С начала 1880 г. Томас Эдисон начал коммерческие продажи новых конструкций электрических ламп с углеродной (карбонизированный бамбук) нитью накала. Срок службы такой лампы составлял 1200 часов. Сама лампочка стоила меньше 25 центов, благодаря выбранному материалу нити накала, которая стоила 1 цент. Нить накаливания из бамбука помогла Эдисону избежать нескольких судебных процессов, связанных с использованием карбонизированной нити в качестве тела накала.

По прошествии некоторого времени к Эдисону стали поступать жалобы клиентов на черный налет, который образовывался внутри стеклянных колб, после некоторого периода их эксплуатации. Это заставило Эдисона начать серию экспериментов для выяснения причины и поиска способов ее устранения. После наблюдений он предположил, что почернение представляет собой налет мельчайших частиц угля, которые оторвались от нагретой нити накала и имеют отрицательный заряд. Оказалось, у ветви U-образно изогнутой нити накала, соединенной с положительным полюсом батареи питания, образовывается узкая более светлая полоска. Получалось, что одна ветвь нити экранировала другую. Из этого следовало: если в стеклянную колбу ввести дополнительный электрод, соединенный с

Incandescent Electric Lamps). Коллекция была очень большой и ее приобрела компания General Electric в 1912 г. за 10000 долларов. Коллекция ламп накаливания является самой полной из известных в мире и в настоящее время находится в музее Генри Форда в Дирборне, штат Мичиган.

плюсом батареи, он начнет притягивать отрицательно заряженные частицы. Это должно было привести, по мысли Т. Эдисона, к недопущению почернения лампы.

Для изучения возникшей проблемы Эдисон решил изготовить несколько электрических лампочек, которые кроме нити накала содержали, еще и небольшие металлические экранирующие элементы в виде стержней. По замыслу изобретателя эти своеобразные экраны, если найти для них определенное место в баллоне лампы, должны были воспрепятствовать образованию в ней налета.

Уже 13 февраля 1880 г. Эдисон сделал эскиз-задание в лабораторном блокноте (Lab Notebook — LNB). Эдисон в начале своей карьеры твердо усвоил, что когда есть идея, то запись должна быть сделана сразу! Это было настолько укоренившимся в его системе, что для него было почти невозможным провести даже самый тривиальный эксперимент не делая тщательной записи об этом. Эдисон делал свои записи карандашом. В конце дня записи тщательно упаковывались и убирались для хранения. Каждый месяц эти записи переплетались в виде книги, где они сохранялись для дальнейшего использования. Он выиграл много патентных исков благодаря своим заметкам, которые были сделаны десятки лет назад.

По эскизам была изготовлена лампа с дополнительным электродом, рис. 4. Удивительно, но эскиз лампы с расположенным над нитью накала отрезком провода, то есть дополнительным электродом, представлял собой прототип будущего электронного прибора — двухэлектродной вакуумной лампы.

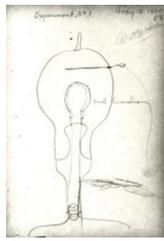


Рис. 4. Томас Эдисон составляет задание для эксперимента в лабораторном блокноте и эскиз-задание Т. Эдисона для эксперимента № 1 13 февраля 1880 г. [10]

Fig. 4. Thomas Edison is writing an assignment for an experiment in a lab notebook and Sketch assignment T. Edison for experiment number 1 February 13, 1880 [10]

Первый эксперимент был поручен сотруднику Эдисона, инженеру Чарльзу Батчелору (Charles W. Batchelor, 25.12.1845—01.01.1910). Эдисон называл Батчелора своим главным экспериментальным помощником. Вместе Бэтчелор и Эдисон придумывали перспективные разработки. Эдисон также часто назначал его ответственным за специальные разработки. Эксперимент № 1 был проведен с электрической лампой, содержащей один дополнительный электрод. Для эксперимента были взяты стандартные для

того времени безцокольные лампы накаливания постоянного тока на 100 вольт и мощностью 16 свечей. Его целью было отыскать приемлемое решение, которое бы позволило предотвратить перенос электрифицированного углерода с одной стороны изогнутой в виде подковы нити накала лампы на поверхность стеклянного баллона лампы. В процессе эксперимента была определена мощность свечения (candle powers) при различных питающих напряжениях лампы. После этого последовали другие тесты.

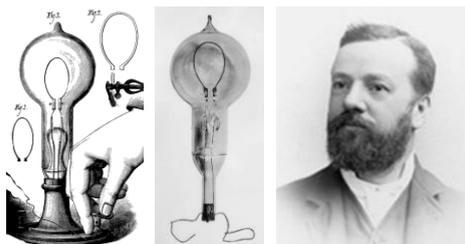


Рис. 5. Электрическая лампа Эдисона, взятая для исследований, к которой позже был добавлен второй электрод (около 1880 г.) и Чарльз Батчелор, один из самых ценных помощников Эдисона.

Fig. 5. T. Edison electric lamp taken for research, to which was later added a second electrode (circa 1880) and Charles Batchelor, one of Edison's most valuable assistants

С 28 ноября 1880 г. начались исследования электрических ламп с несколькими добавленными электродами при их вертикальном расположении, о чем имеется запись в лабораторном блокноте, рис. 6. При тестировании пробовали соединять концы электродов, выходящих наружу стеклянной колбы с полюсами нити накала, питаемой от гальванической батареи. Однако в решении проблемы ничего существенного это не прояснило. Эксперименты продолжались почти 2,5 года. Эдисон занялся экспериментами с лампой с установкой в ней дополнительных электродов только 5 июня 1882 г. 5 июля 1882 г. появилась запись в лабораторном блокноте о тестировании ламп с расположением электродов над нитью накала и соединением их с полюсами нити накала, рис. 7.

После этого в исследованиях наступил месячный перерыв. 4 сентября 1882 г. компания Эдисона Edison Illuminating Company открыла станцию на Перл-стрит в Нижнем Манхэттене Нью-Йорка, первую в мире генераторную станцию для подачи электроэнергии постоянного тока на 3000 новых электрических ламп. Началась эпоха современной коммунальной индустрии. Цена электроэнергии⁸, поставляемой в дома, была сравнимой со стоимостью газа. Эдисон изобрел, спроектировал и построил генератор-

⁸ 1 киловатт-час стоил 24 цента. \$1 (1882 г.) \approx \$20 (2020 г.)

ры, распределительные линии, счетчики, выключатели, предохранители и практически все, что связано с электроснабжением. Эдисон был занят в этот период времени другими делами и экспериментами не занимался.

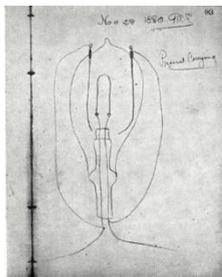


Рис. 6. Электроды возле каждого конца нити накала для предотвращения электрического переноса. Страница 93 из лабораторного блокнота Эдисона. 28 ноября 1880 г. [10].

Fig. 6. Electrodes near each end of the filament to prevent electrical transfer. A page 93 from Edison's lab notebook. November 28, 1880 [10]

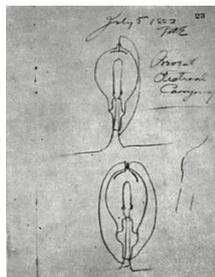


Рис. 7. Различное расположение электродов для предотвращения электрического переноса. Страница 23 из лабораторного блокнота Эдисона. 5 июля 1882 г. [10]

Fig. 7. Different arrangement of electrodes to prevent electrical transfer. A page 23 from Edison's lab notebook. July 5, 1882 [10]

В начале 1883 г. Эдисон освободился от загруженности по работе и весь рабочий день посвящал поиску решения проблемы налета в электролампах. В одном из своих экспериментов он установил дополнительный электрод в виде металлической пластины внутри стеклянной колбы вблизи нити накала. Подключил его к гальванометру, последовательно соединенному с положительной клеммой нити накала, рис. 8. Он был озадачен, когда гальванометр показал, что между этими двумя электродами протекал электрический ток, когда нить была раскаленной. Этот ток протекал через вакуум! Это происходило только тогда, когда положительная клемма батареи была подключена к пластине. Если же этот электрод был соединен с отрицательным концом нити, то никакого тока не было. В последующих экспериментах Эдисон заметил, что ток пластины увеличивался быстро, даже экспоненциально, когда нить была нагрета до более высокой температуры. Исходя из результатов эксперимента была изготовлена двухэлектродная вакуумная лампа, которая по существу представляла собой вакуумный диод, рис. 8.

Не найдя должного объяснения открытому явлению, Т. Эдисон подробно его описал и начал работать над его практическим использованием. Отправной точкой в принятии такого решения стала одна особенность лампы с добавочным электродом: при изменении напряжения питания нити накала происходят колебания силы тока в цепи гальванометра, соединенного с дополнительным электродом. Эдисон через несколько месяцев использовал этот факт, применив электролампу с дополнительным электродом в практической конструкции индикатора изменения напряжения. Для повышения чувствительности прибора дополнительный электрод из

толстого провода установили под нитью накала, рис. 9а. Однако, уже 8 марта в лабораторном блокноте Эдисона появилось эскиз-задание на изготовление лампы, в которой, в отличие от предыдущей конструкции, дополнительный электрод-стержень был заменен на электрод-полосу, рис. 9б.

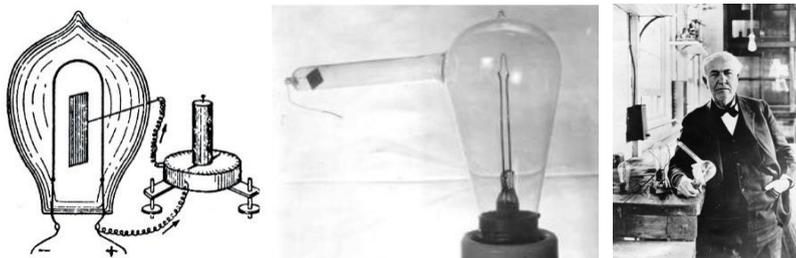


Рис. 8. Эксперимент по определению протекания тока через вакуум, ранний образец лампы Эдисона с дополнительным электродом в виде анода (1883г.) и Эдисон в лаборатории (1925 г.)

Fig. 8. An experiment to determine the flow of current through a vacuum, an early sample of an Edison lamp with an additional electrode in the form of an anode (1883) and Edison in the laboratory (1925)

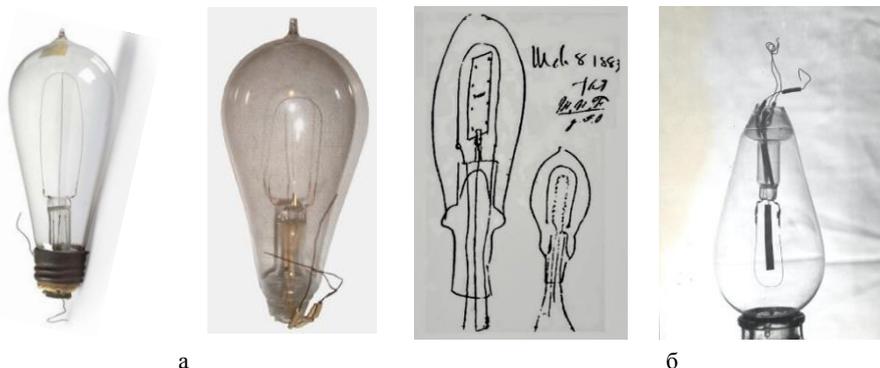


Рис. 9. Эволюция дополнительного электрода под нитью накала лампы Эдисона: а — в виде стержня, б — эскиз-задание на лампу с дополнительным электродом в виде полосы (страница из лабораторного блокнота Эдисона, 8 марта 1883 г.) и общий вид изделия.

Fig. 9. Evolution of an additional electrode under the filament of an Edison lamp: a – in the form of a rod, b – sketch-task for a lamp with an additional electrode in the form of a strip (page from Edison's laboratory notebook on March 8, 1883) and its general view as a product

4. Изобретение лампового индикатора напряжения

В первых числах октября 1883 г. вышла из строя станция Перл-Стрит в Нью-Йорке из-за перегруженности вспомогательной линии в Биржевом квартале города, что привело к последовательному отказу предохранитель-

ных устройств. Ликвидацией аварии занялся руководитель конструкторского отдела Фрэнк Дж. Спрейг (Frank J. Sprague, 25.07.1857— 25.10.1934), который находился в это время в Броктоне, штат Массачусетс. Решение проблемы он сообщил по телеграфу Эдисону, который сразу вызвал его в Нью-Йорк, чтобы обсудить возникшую задачу с перегрузкой напряжения. Вскоре авария Спрейгом была успешно ликвидирована.

Произошедшая авария заставила Эдисона немедленно заняться работой по практическому конструированию лампового индикатора напряжения. Не теряя времени, уже 8 октября 1883 г., Эдисон попросил сотрудника лаборатории Джона Отта⁹ (John Ott, 1850—1931) установить лампу с дополнительным электродом, подключенным через гальванометр к одной стороне электрической линии, о чем свидетельствует запись, сделанная в лабораторном блокноте (рис. 10). Цель эксперимента состояла в том, чтобы понять, можно ли использовать ток в этой ветви электрической цепи для определения величины напряжения на линии. Это, по всей видимости, была первая запись, показывающая гальванометр в цепи и вполне вероятно, что ток дополнительного электрода измерялся и раньше, а полученное его значение ставилось в зависимость от температуры нити накала. Это также первое применение термоэлектронного тока в практических целях и первая электронная схема с первой термоэлектронной лампой.



Рис. 10. Томас Эдисон с помощником Дж. Отт (примерно 1890-е гг.) и схема цепи индикации напряжения (страница из блокнота Эдисона. 8 октября 1883 г. [10]).

Fig. 10. Thomas Edison with Assistant John Ott (1890s circa) and voltage indicating circuit (a page from Edison's lab notebook. October 8, 1883 [10])

Эдисон увидел потенциальную полезность в такой схеме (рис. 10) и как обычно, сразу, 15 ноября 1883 г. подал заявку на патент на индикатор напряжения. Патент US307031 на электрический индикатор (Electrical Indicator) был выдан менее чем через год, 21 октября 1884, рис. 11 [11]. В патенте он не упомянул о его выпрямляющих свойствах, поскольку продвигал постоянное, а не переменное напряжение. Эдисон после получения

⁹ Джон Отт был верным другом и сотрудником Эдисона до самой его смерти. У него было 22 патента, некоторые из них принадлежали Эдисону. С 1870-х годов он был главным модельщиком и изготовителем инструментов. С 1887 г. работал начальником механического цеха, пока ужасное падение в 1895 г. не сделало его тяжело больным. Он умер через день после Эдисона. По просьбе миссис Эдисон его костыли и инвалидное кресло были поставлены рядом с гробом Эдисона.

патента больше не занимался этой проблемой. Получение патента стало последним аккордом в завершении исследований по проблеме почернения в электрических лампах, которые длились почти 4 года. Следует отметить, что цель, поставленная в этих исследованиях так, и не была достигнута.

На рис. 11 представлен патентный чертеж регулятора напряжения. Его основой является гальванометр с подвижным магнитом, прогиб которого растет с увеличением напряжения на линии и, следовательно, с увеличением температуры нити накала. Предусматривалось ручное и автоматическое регулирование напряжения. В начале текстовой части патента Эдисон сразу приводит четкое утверждение: «Я обнаружил, что если проводящее вещество помещается где-либо в пустом пространстве в пределах баллона электрической лампы накаливания, и указанное проводящее вещество соединено снаружи лампы с одним выводом, предпочтительно положительным, из лампы накаливания часть тока, когда лампа работает, пройдет через шунтирующую цепь, сформированную таким образом, которая включает в себя часть пустого пространства внутри лампы. Я обнаружил, что этот ток пропорционален степени накаливания проводника или мощности свечи».

Томас Эдисон надеялся в будущем на коммерческий успех электрического индикатора. Прибор хотя и не получил широкого распространения, но он не был забыт. В первую мировую войну его использовали для регулирования генераторного напряжения в радиоаппаратуре самолетов.

Патент Т. Эдисона на электрический индикатор, *по существу, был первой заявкой на изобретение в области электроники.*

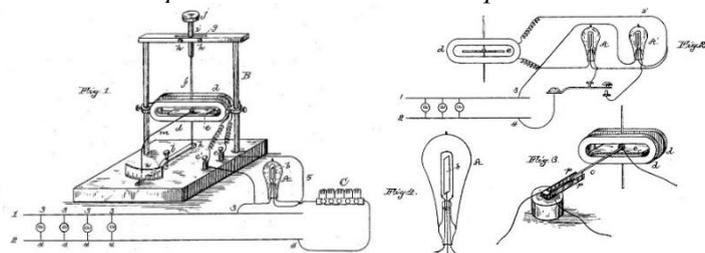


Рис. 11. Устройство и схема электрического индикатора Т. Эдисона из патента US307031 с приоритетом от 15 ноября 1883 г.

Fig. 11. The device and circuit of an Electrical Indicator T. Edison from patent US307031 with a priority of November 15, 1883

После этого Т. Эдисон изготовил электрическую лампу с добавочным электродом в виде полосы, которая располагалась под нитью накала в ее плоскости. На основе этой лампы он построил высокочувствительный индикатор изменения напряжения, который отправил на открывающуюся

в сентябре 1884 г. Международную электротехническую выставку в Филадельфии.

Что удивительно, в заметке о специальной демонстрации Т. Эдисоном своей двухэлектродной электролампы на Филадельфийской выставке, помещенной в журнале «Engineering», наблюдаемые явления в лампе связывают с электрическим зарядом: «По-видимому, в этой лампе частицы воздуха (или угля) разлетаются от нити по прямым линиям, унося электрический заряд» [12].

Однако Эдисон, которого называли «волшебником Менло Парка», не до конца разобрался в открытом им самим явлении, предполагая, что это поток заряженных углеродных частиц, и не занимался его технической и коммерческой эксплуатацией. Если бы он осознал, что ток в вакууме между горячей нитью накала и пластиной вызван отрицательно заряженными частицами, которые были гораздо меньше атома, то его можно было бы назвать отцом электроники, вместо этого прошло еще 13 лет, прежде чем было сделано открытие электрона.

В течение следующих нескольких лет явление в двухэлектродной электролампе, исследованное Эдисоном, оставалось в основном малоизвестным любопытным лабораторным экспериментом. Однако известность этого явления постепенно распространилась в научном мире и вызвала интерес к нему ученых в Америке и Европе, которые благодаря этому значительно изменили мир, в котором мы живем.

5. Ламповый индикатор напряжения Фрэнка Дж. Спрейга

Примерно в это же время, когда произошла авария на электростанции Перл-Стрит в Нью-Йорке, приступил к разработке и испытанию первого реального лампового индикатора напряжения Фрэнк Дж. Спрейг. Следует заметить, что в это время в патентном ведомстве США уже лежала заявка на изобретение Эдисоном подобного устройства. Спрейг об этом не знал, вероятно, он не был поставлен в известность Эдисоном.

27 декабря 1883 г. Спрейг сделал технический эскиз устройства, рис. 12. Его собственное описание индикатора приводится в письме от того же числа, написанном своему другу и коллеге Уильяму Дж. Хаммеру, в то время главному инженеру Deutsche Edison Gesellschaft в Берлине. Он пишет: «Затем я перешел к новому индикатору напряжения, основанному на старом открытии E's (хорошо известный «эффект Эдисона»). При вышеуказанных соединениях (см. рис. 12) у этой специальной лампы никакой заметный ток не будет протекать через катушку гальванометра, соединенному с платиной к углероду до тех пор, пока не будет достигнуто опреде-

ленное раскаление, а затем ток очень быстро увеличивается. Следовательно, индикатор не показывает отклонения, пока вы этого не пожелаете, и затем он начинает быстро двигаться. Он имеет точную настройку и настолько высокую чувствительность, что, если уменьшить на 0,01 питающие лампы, он покажет изменение напряжения. Его чувствительность может быть сделана более или менее высокой» [13]. Заметим, что в схеме индикатора Спрейга, в отличие от индикатора Эдисона, использована электролампа с дополнительным электродом в виде тонкого стержня, рис. 9а.

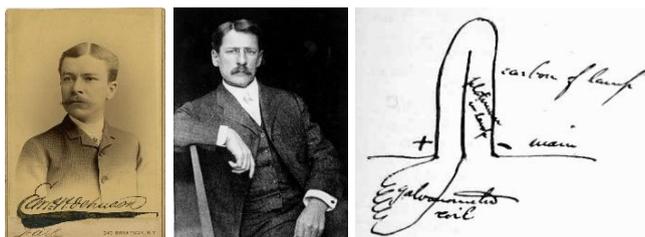


Рис. 12. Эдвард Х. Джонсон (слева), Фрэнк Дж. Спрейг (1890 г.) и эскиз его лампового индикатора напряжения (27 декабря 1883 г.).

Fig. 12. Edward H. Johnson (left), Frank J. Sprayg (1890) and a sketch of his tube voltage indicator (December 27, 1883)

На эскизе Спрейга изображен типичный диод, включающий платиновый анод, последовательно соединенный с гальванометрической катушкой. Напряжение на анод подается с положительной стороны нити накала при питании ее постоянным током. В угольной лампе отрицательная ветвь нити накаливания действует как катод при нагреве. Ламповый индикатор Спрейга был разработан только в виде экспериментального образца, но тем не менее представляет интерес как один из предшественников современного устройства на двухэлектродной вакуумной лампе.

Спрейг стал сотрудником лаборатории благодаря Эдварду Джонсону (Edward Hibberd Johnson, 04.01.1846—09.09.1917), деловому партнеру Томаса Эдисона. Джонсон умел находить большие таланты. О нем говорили: «Есть только один Эдисон, а Джонсон — его пророк». В Лондоне на международной выставке Джонсон познакомился с Спрейгом и убедил его уволиться из военно-морской комиссии, чтобы работать у Эдисона. Джонсон отправил Спрейга через Атлантику к Эдисону так же, как он это сделал с другой известной личностью, Самуэлем Инсуллом.

В мае 1883 г. Эдисон установил Спрейгу оклад \$2500 и послал его руководить конструкторскими отделами по строительству своих электростанций в различных штатах США. Спрейг внес значительный вклад в

развитие лаборатории Эдисона в Менло-Парке (штат Нью-Джерси), который заключался во внедрении в практические расчеты математических методов. До его прихода Эдисон провел множество дорогостоящих экспериментов методом проб и ошибок. Подход Спрейга состоял в том, чтобы вычислять с помощью математических методов оптимальные параметры и таким образом сэкономить много ненужных манипуляций. Он выполнил еще одну важную работу для Эдисона, в частности, исправил систему магистралей и фидеров Эдисона для распределения электроэнергии на центральной станции. Спрейгом была выведена формула для определения величины сечения провода в зависимости от величины протекающего тока.

Спрейг не проработав даже года, в 1884 г. решил, что его интересы лежат в другой области, которая не связана с эксплуатацией электричества, и оставил Эдисона, чтобы основать свою компанию Sprague Electric Railway & Motor Company (SERM) с капиталом \$100000. Учредителями компании, кроме Спрейга, стали У. Хаммер и Э. Джонсон.

6. Международная электротехническая выставка 1884 г.

В 1884 г. состоялась Международная электротехническая выставка (International Electrical Exhibition of Philadelphia), организованная Институтом Франклина, которая проходила в Филадельфии с 2 сентября по 11 октября 1884 г. Церемония открытия выставки состоялась в здании, которое в последнее время использовалось в качестве вокзала железной дороги Пенсильвании и было отдано в аренду институту. Генеральным директором выставки был назначен профессор Уильям Д. Маркс (William D. Marks) из Пенсильванского университета (University of Pennsylvania), а главным электриком — профессор Эдвин Дж. Хьюстон¹⁰ (Edwin James Houston, 09.07.1847—01.03.1914) из Центральной средней школы в Филадельфии.

На выставке было представлено 1500 экспонатов, из них 196 коммерческих экспонатов, в том числе и исторические экспонаты: устройства Бенджамина Франклина и первый телеграфный аппарат Морзе.

Эдисон представил на выставку несколько экспонатов, в том числе модель регулятора напряжения. Это устройство имело при себе табличку для объяснения принципа его работы. Текст для таблички регулятора напряжения подготовил бизнес-менеджер Самуэль Инсулл¹¹ (Samuel

¹⁰ Дж. Хьюстон в 1882 г. вместе с Элиу Томпсоном (Elihu Thompson) организовали компанию, чье имя до сих пор сохранилось в названии британской компании Томпсон-Хьюстон (British Thompson-Houston Company).

¹¹ Самуэль Инсулл прибыл в Соединенные Штаты в 1881 г. и был нанят Томасом Эдисоном в качестве личного секретаря. Завоевав полную доверенность изобретателя, молодой англичанин отпра-

Insull, 11.11.1859—16.07.1938): «Устройство для отображения проводимости постоянных токов через высокий вакуум» (англ. *Apparatus for showing the conductivity of continuous currents through high vacuum*), рис. 13.



Рис. 13. Плакат Международной электротехнической выставки 1884 г. в Филадельфии и бизнес-менеджер Самуэль Инсулл (1888 г.)

Fig. 13. Poster of the Philadelphia International Electrotechnical Exhibition 1884 and Business Manager Samuel Insull (1888)

Во время проведения выставки в Институте Франклина 7—8 октября 1884 г. состоялось первое заседание Американского института инженеров-электриков (American Institute of Electrical Engineers, сокращено AIEE). К этому мероприятию Эдисон подготовил доклад о своем открытии, который представил Дж. Хьюстон. Он к этому времени стал известным ученым в области всех видов электрических исследований. Хьюстон, находясь под впечатлением от исследований Эдисоном явлений высокого вакуума в лампах накаливания, сказал: «Я не подготовил никакой статьи, а просто хочу привлечь ваше внимание к предмету, который, как я полагаю, вы все видели и над которым ломали голову. В самом деле, я хочу представить его обществу с тем, чтобы вы ломали над ним голову. Я имею в виду необычные явления высокого вакуума, наблюдаемые господином Эдисоном в некоторых его лампах накаливания» [14]. Он подробно описал эффекты, которые наблюдаются в трех конструкциях электрических ламп Эдисона с дополнительными электродами, рис. 14. Подводя итог своего выступления, Хьюстон сказал: «У меня нет теории, выдвинутой в отношении происхождения этих явлений». После этого он пригласил к дискуссии по представленной проблеме участников заседания. В обсуждении принял участие Натаниэль Кейт¹² (Nathaniel Shepard Keith, 14.07.1838—27.01.1925), господин Келли (Mr. Kelly), а также главный инженер телеграфного Британско-

вился в Скенектади, штат Нью-Йорк, чтобы запустить электротехническую фабрику, при поддержке Эдисона: «Сделай это масштабно, Сэмми... Сделай это». Это была первая организационная структура, из которой потом выросла General Electric. Позже он стал главным в управлении промышленными холдингами Эдисона.

¹² Кейт Н. — американский промышленник, химик, изобретатель, писатель и инженер-электрик. В 1880-х гг. работал в консультативном штабе Томаса А. Эдисона. Его знания об электромагнетизме и электродинамике помогли Эдисону и его коллегам в разработке многих их первых изобретений. В 1884 г. он стал редактором журнала «Electric World», соучредителем Американского института инженеров электриков (AIEE) и первым секретарем этой организации.

го почтового отделения сэра Уильяма Приса (Sir William Henry Preece, 15.02.1834—06.11.1913).

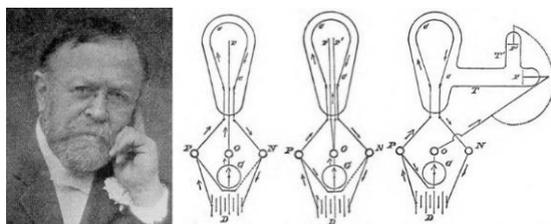


Рис. 14. Эдвин Дж. Хьюстон и конструкции электрических ламп с дополнительными электродами представленные им в ходе дискуссии по эффекту Эдисона на заседании Американского института инженеров электриков 7 октября 1884 г.

Fig. 14. Edwin J. Houston and the design of electric lamps with additional electrodes presented to him during a discussion on the Edison effect at a meeting of the American Institute of Electrical Engineers on October 7, 1884

В ходе обсуждения представленной информации У. Прис сказал: «То, что я увидел на выставке — меня очень озадачило. Вначале я думал, что здесь был представлен новый источник электроэнергии, однако мой ум мне подсказывает, что причина этого замечательного явления, связана с эффектом Крукса. Каждый электрик, присутствовавший на выставке, я думаю, наблюдал этот эксперимент с большим интересом. Я чувствую недоумение, в связи с этим, и я чувствую, что это одна из тех вещей, которая требует быть очень тщательно и осторожно рассмотрена. Я намерен воспользоваться своим убедительным красноречием и обратиться к мистеру Эдисону с просьбой, что, когда я увижу его на следующей неделе, чтобы он дал мне одну из своих ламп. По возвращению в Англию я проведу тщательное их исследование и, конечно, продемонстрирую свои результаты перед научным обществом» [14].

Т. Эдисон в беседе с У. Присом сообщил тому, что хотя причин этого явления он пока не установил, но уже сумел его применить в устройстве на двухэлектродной электрической лампе для регулировки тока в электрических цепях освещения.

Сообщение о презентации открытия Эдисона на заседании AIEE было опубликовано в первом томе Трудов Американского института инженеров электриков за 1884 год.

Выставка в Филадельфии стала своеобразной линией разграничения между доэлектричеством и электричеством, в котором электрический свет и мощность стали фактами жизни во всех аспектах ее социальной и промышленной среды. Она послала сигнал о том, что индивидуальный изобрет-

ретатель стал инициатором развития электричества, а также о доминировании профессионального инженера в корпоративной структуре.

7. Исследования Уильяма Приса

В конце 1884 г. сэр Уильям Прис вернулся домой в Англию с несколькими различной формы и вида термоэлектрическими лампами с дополнительными электродами, которые для него сделал Т. Эдисон и приступил к исследованиям, рис. 15. Лампы были безцокольные и имели угольную нить накаливания на напряжение на 100 В и мощность 8 и 16 Вт. В экспериментах использовались конструкции ламп двух типов:

— Простые стеклянные колбы с тремя проводами, выступающими из основания, и электродами из меди, железа и углерода. Была одна лампа с двумя электродами.

— Стеклянные колбы с трубчатой насадкой, содержащие электрод диаметром около 15 мм и различной длины с размещением либо сверху, либо сбоку от нити накала. Одна из ламп, под № 5, имела три трубчатых электрода.

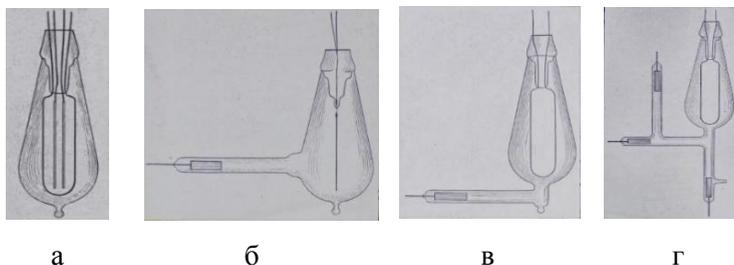


Рис. 15. Конструкции электроламп с дополнительным электродом в экспериментах У. Приса. 1885 г.

Fig. 15. Designs of electric lamps with an additional electrode in the experiments of W. Preece. 1885

Для экспериментов с электролампами с дополнительным электродом У. Прис собрал схему, состоящую из двух электрических цепей. Одна цепь включала нить накала — миллиамперметр и гальваническую батарею А из стандартных элементов Даниэля¹³ по 1,07 В, другая — один из полюсов нити накала — гальванометр G — шунт 1070 Ом — дополнительный электрод, рис. 16.

¹³ В 1836 г. английский химик Джон Дэниель усовершенствовал элемент Вольта, поместив цинковый и медный электроды в раствор серной кислоты. Эта конструкция стала называться «элементом Даниэля».

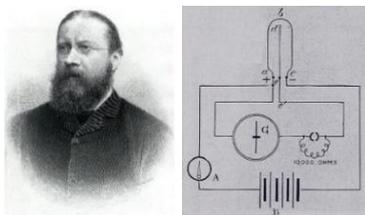


Рис. 16. Сэр Уильям Прис и его электрическая схема исследования эффектов в электролампах Эдисона с дополнительным электродом. 1884 г.

Fig. 16. Sir William Preece and his circuit for investigating effects in Edison light bulbs with an additional electrode. 1884

С лампами было проведено 7 экспериментов. Диапазон напряжений нити накала выбирался от 40 до 120 В. В каждом эксперименте определялось сопротивление нити, Э.Д.С. (Е.М.Ф.), ток в миллиамперах, проходящий через «шунт», включенный в цепь, и сопротивление «шунта».

Прис при проведении экспериментов отметил одну особенность: в большинстве случаев, когда лампы работали при высоком напряжении, возникало «синее свечение». Наиболее сильным это пламя было в месте соединения угольной нити с положительным электродом. Было отмечено, что свечение положительного полюса сопровождается разряд в разреженном газе. Это обычное явление в лампах накаливания, у которых выводы нити накала расположены близко друг к другу. При слишком большой электродвижущей силе между этими выводами образуется дуга. Поэтому в последних конструкциях ламп, требующих напряжения в 100 вольт, г-н Сван (Swan) значительно увеличил расстояние между электродами. Появление эффекта синего свечения является предвестником разрушения нити.

В результате проведенной серии экспериментов с электролампами с дополнительными электродами (рис. 15), У. Прис сделал вывод: «совершенно очевидно, что эффект Эдисона обусловлен образованием дуги между угольной нитью и металлической пластиной, укрепленной внутри колбы лампы. Эта дуга образуется вследствие вылета угольных частиц по прямым линиям через пустое пространство лампы. В силу этого дуга является раньше и выражена она сильнее, когда соединения сделаны так, как показано на рис. 16, а не наоборот, потому что, как указал Крукс, полет частиц происходит от отрицательного полюса к положительному, и начинается в точке с наименьшим сопротивлением» [15, 16].

Прис заметил, что на электрический ток в лампе не оказывает влияние материал, из которого изготовлен холодный электрод, однако, этот ток быстро растет с увеличением потенциала на нем. Последнее подтвердило замечание Эдисона в его ранее выданном патенте о том, что рассматриваемый эффект пропорционален степени накаливания лампы.

В статье У. Приса, поданной 18 марта 1885 г. в журнал «Proceedings of the Royal Society of London», впервые явление почернения внутри стек-

лянного баллона электролампы было названо «эффектом Эдисона». Нужно отметить, что У. Прис не делал попыток применить «эффект Эдисона» для практических целей и, проведя эксперименты, больше не занимался этой научной проблемой.

В марте 1885 г. Уильям Прис выступил в Лондонском королевском обществе с докладом о результатах проведенных им исследований под названием «Необычное поведение свечения ламп при большом накале» (*On a Peculiar Behavior of Glow-Lamps when raised to High Incandescence*). Предложенное У. Присом объяснение причины почернения внутри электрической лампы не в полной мере удовлетворило присутствовавшего на заседании профессора лондонского университетского колледж Джона Амброза Флеминга (англ. *Sir John Ambrose Fleming*; 29.12.1849 — 18.04.1945).

8. Работа Дж. А. Флеминга в компаниях Эдисона

Телефонный бизнес переживал период больших перемен, включая слияния и расширение монополии почтового ведомства (Post Office) Великобритании с телеграфа на телефон. Судебное решение в пользу почтового ведомства пришло к выводу, что телефон — это телеграф, а телефонный разговор — телеграмма в значении раздела 4 Закона о телеграфе 1869 г. Это означало, что телефонные компании должны были получать лицензию у генерального почтмейстера (Postmaster-General), благодаря этому почтовое ведомство имело свой доход и возможность приобрести их через определенный период времени.

В Лондоне, помимо компании Эдисона, присутствовала и телефонная компания Белла, которая была конкурентом в создании телефонных станций в городе и в других местах. Телефонные компании не хотели рисковать своими капиталами и приняли предложенные условия. Компании Edison Telephone Company of London и Telephone Company (Bell's Patents) Ltd для защиты своих интересов объединились 13 мая 1880 г. в одну компанию под названием United Telephone Company Limited¹⁴, а затем 10 марта 1881 г. была организована ее провинциальная дочерняя компания National Telephone Company (NTC).

Таким образом, в результате действий 1868 и 1869 гг. контроль над этой новой и удивительной отраслью под названием «телефония» перешел в руки General Post Office, и ее развитие было таким образом замедлено в Великобритании, в отличие от США, где она не находилась под контролем правительства.

¹⁴ United Telephone Company Limited была ликвидирована в 1889 г.

Осенью 1881 г. Т. Эдисон направил своего помощника У. Хаммера в Лондон в качестве главного инженера своей английской компании Edison Electric Light Company of London. В обязанности У. Хаммера также входил контроль строительства Дворца Эдисона на Лондонской Выставке 1882 г.

В том же 1881 г. Джон А. Флеминг стал первым профессором физики и математики в новом университетском колледже Ноттингема¹⁵ (University College Nottingham). К этому времени Флеминг был одним из немногих, кто знал что-либо об электротехнике. Его практические знания быстро принесли ему широкую известность, такую, что его стали приглашать и даже упрашивать со всех сторон проводить консультативную работу по электричеству. Поэтому неслучайно в 1882 г. Edison Electric Light Company через его двоюродного брата Арнольда Уайта (Arnold White), который был секретарем телефонной компании Эдисона в Лондоне, сделала ему предложение, которое он принял — поработать у них в качестве научного консультанта.

Дж. А. Флеминг познакомился с Уильямом Хаммером и от него узнал об эффекте почернения внутри работающей электрической лампы, а также о тех экспериментах Т. Эдисона с электрической лампой с дополнительным электродом, которые должны были уменьшить этот эффект.

Уайт в новой компании NTC, так же как в предыдущих компаниях, занял должность секретаря, а Флеминг через некоторое время стал в ней научным консультантом. Флеминг был активным и заинтересованным участником всех этих судебных процессов, связанных с защитой интересов нескольких компаний, в которых он был консультантом.

Компании Edison Electric Light Company и Swan Electric Light Company решили объединиться в одну компанию Edison & Swan United Electric Light Company, которая была зарегистрирована 26 октября 1883 г. Она получила известность под сокращенным названием «Эдисван» (Ediswan). По договоренности завод Свана был перенесен из Ньюкасла в район под Лондоном. Такая необходимость была вызвана тем, чтобы избежать оспаривания приоритета патента и облегчить судебное преследование нарушителей. Вскоре ламповый завод занял участок в Пондерс-Энд, недалеко от Тоттенхэма. Это изменение позволило Флемингу установить контакты с Джозефом Сваном (Sir Joseph Wilson Swan, 31.10.1828—27.10.1914) и его партнером С. Х. Стерном (C. H. Stearn), рис. 17.

¹⁵ Ноттингемский университет (англ. *The University of Nottingham*) — один из крупнейших и самых престижных университетов Великобритании и мира. Он был основан как Университетский колледж Ноттингема в 1881 г. Это государственный исследовательский университет, расположенный в центральной части города Ноттингем, который находится в 208 км от Лондона.

Флеминг, таким образом, стал прямым куратором завода Swan Lamp. Он познакомился с изготовлением тонких целлюлозных нитей и процессом их карбонизации (методом Свана). Вклад Флеминга в работу завода заключался главным образом в разработке электрических и фотометрических приборов, пригодных для использования на заводе и необходимых для контроля качества выпускаемой продукции. Лампы, продаваемые в Британии, почти полностью соответствовали конструкции Свана, за исключением нитей накала.

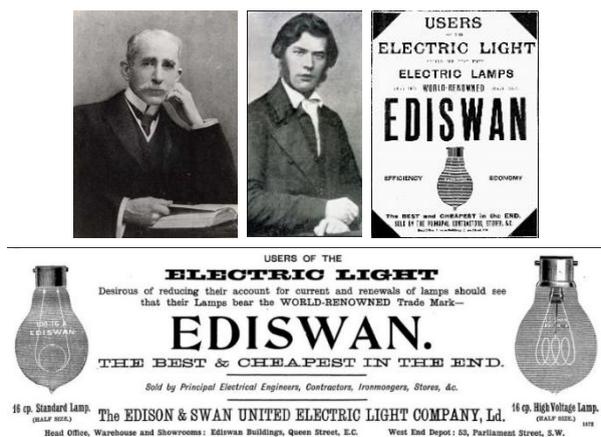


Рис. 17. Профессор электротехники университетского колледжа Лондона Дж. А. Флеминг (1899 г.), предприниматель и ученый Джозеф Сван, и реклама лампочек Ediswan (1889 г.).

Fig. 17. J. A. Fleming, professor of electrical engineering, University College London (1899), Joseph Swan, entrepreneur and scientist, and Ediswan bulb advertising (1889)

Флеминг кроме консультативной работы в компании Ediswan занимался рекламой ее продукции, а также ездил по стране в поисках заказчиков. Он организовал получение ряда заказов для компании, в том числе один — для первого Адмиралтейского корабля с электрическим освещением.

В 1884 г. Джон Флеминг как представитель компании Ediswan посетил научную конференцию в Канаде. Он, совершил поездку в США (город Нью-Джерси), чтобы встретиться со своим братом, а также ознакомиться с лабораторией Эдисона. Томас Эдисон показал Флемингу эксперимент с электрической лампой, внутри которой находился металлический электрод, чем очень удивил лондонского профессора. Американский изобретатель также рассказал англичанину о своих безуспешных попытках использовать это устройство для регулирования электрического тока, протекающего в электрических осветительных сетях. Флеминг был сильно заинтригован

«эффектом Эдисона», гораздо больше, чем сам Эдисон. Эдисону было трудно понять волнение консультанта Ediswan от того, что еще не имело очевидного практического применения. Это пробудило в Флеминге научный интерес вплотную заняться исследованием природы открытого явления.

9. Исследования Дж. Флемингом почернения в электрических лампах Эдисона

Флеминг, невзирая на загруженность консультативной деятельностью, заинтересовался проблемой почернения в электрической лампе Эдисона. 26 мая 1883 г. на заседании Физического общества он сделал сообщение «О явлении молекулярного излучения в лампах накаливания» (On a phenomenon of molecular radiation in incandescence lamps). Свое видение проблемы он обосновал исходя из неравномерности диаметра нити накала по ее длине и некачественного контакта зажатия углеродной нити в маленьких медных зажимах на концах платиновых проводов, которые загерметизированы внутри баллона, рис. 18.



Рис. 18. Промышленные образцы ламп Эдисона, лампа с обесцвеченной четкой полосой и почернением, и расположение мест в лампе, где образуются и отсутствуют почернения (1883 г.).

Fig. 18. Industrial designs of Edison lamps, a lamp with a discolored clear strip and blackening, and the location of places in the lamp where blackening is formed and absent (1883)

Если в каком-либо месте нить тоньше, чем в других местах, то в этом месте будет большее выделение тепла и более высокая температура. Происходит улетучивание углерода и пар равномерно конденсируется по бокам стеклянной колбы. В случае если точка наибольшего сопротивления возникает на медном зажиме, то обнаруживается, что медь улетучивается и осаждается на внутренней стороне стекла. Отсюда, делает вывод Флеминг, молекулы меди отстреливаются по прямой линии, в противном случае линия без осаждения невозможна. Самое заметное, что это происходит только тогда, когда происходит осаждение меди, и что он никогда не за-

мечал этого в обычном углеродном отложении. Резюмируя, Флеминг высказывает предположение, что исследованное явление напоминает прекрасное исследование мистера Крукса с вакуумными трубками, но в данном случае мы имеем дело не с разрядом индукционной катушки, а со сравнительно низким потенциалом. Материал сообщения был опубликован [17]. Это первая публикация Флеминга посвященная эффекту Эдисона, после того как он узнал о нем от Хаммера.

К 1885 г. репутация Флеминга в области новейших разработок в области электротехники была такова, что его пригласили занять должность первого профессора электротехники в Университетском колледже в Лондоне (Electrical Technology at University College London). Эта должность позволила ему уделять больше времени для консультаций в компаниях и заниматься научными исследованиями. Он оставался на этой должности в течение 42 лет вплоть до своей отставки в 1926 г. На кафедре, где работал Флеминг, никакого оборудования не было, только «доска и мел!». Однако он сумел убедить руководство колледжа, чтобы ему выделили небольшое помещение и финансовую поддержку. В 1896 г., во многом благодаря его усилиям, было выделено £5000 на оборудование электротехнической лаборатории.

После публикации небольшой статьи в 1883 г. по вышеуказанному вопросу у Флеминга появилось много дополнительных возможностей, чтобы исследовать условия, в которых образуются молекулярные тени в лампах накаливания с углеродной нитью. В конце июня 1885 г. Дж. А. Флеминг опубликовал работу «О молекулярных тенях в лампах накаливания» (On molecular shadows in incandescent lamps) в журнале «Philosophical Magazine and Journal of Science» [18].

Появившиеся новые данные позволили ему внести коррективы в некоторые сделанные ранее утверждения, приведенные в упомянутой статье. При определенных обстоятельствах на поверхности в плоскости нити накала образуется линия без отложений, которая как бы является тенью одной стороны петли. Это указывает на то, что процесс молекулярного рассеяния, который происходит в некоторой точке на том или ином зажиме, представляет собой не просто испарение или улетучивание металла, а проекцию молекул по прямым линиям во всех направлениях. Траектория молекул будет нарушаться в некоторых направлениях углеродной нитью, и, следовательно, в результате линии и места без осаждения становятся молекулярными тенями петли. Флеминг заключает, что в большинстве случаев углеродные отложения дают отчетливые тени в лампах не только с одной петлей нити накала, но также и в лампах Swan с двойной петлей. Изготавливая лампы с зажимами из различных металлов, можно получить металлические пленки

осаждения различных видов. Интересные магнитооптические явления могут возникнуть при получении прозрачных пленок железа.

Статья несомненно была написана под впечатлением работы У. Приса, хотя Дж. А. Флеминг отрицал это и утверждал, что он самостоятельно заметил почернение и тени в лампе еще в 1882 г. [19].

10. Исследования Дж. Флемингом электрических ламп с дополнительным электродом

В 1890 г. вышла первая статья Флеминга о проведенных экспериментах с лампой Эдисона, содержащей дополнительный электрод [20]. В этой статье он излагает фундаментальные выводы из проведенных экспериментов. Приведем далее некоторые из них.

В случае угольной лампы накаливания в условиях яркого накаливания частицы углерода проецируются из всех частей нити накала, но главным образом из отрицательной половины петли. Эти молекулы углерода несут отрицательные заряды электричества, и когда они сталкиваются с металлической пластиной, помещенной в вакуум, то могут разряжаться. Пластина, таким образом, положительно электризуется, находясь в металлическом соединении с положительным электродом лампы или с отдельным положительно заряженным телом.

По мнению Дж. Флеминга, гипотеза о том, что молекулы углерода отделяются от поверхности углеродной нити накаливания лампы в высоком вакууме и могут только передавать отрицательный заряд, позволяет описать такие наблюдаемые эффекты, как проекция отрицательно заряженных молекул углерода на стекло баллона и экранирование нити накала. Это, похоже, окончательно подтверждает исследования господина Крукса о том, что протекание электрического разряда через высокий вакуум представляет собой поток заряженных частиц, которые исходят из отрицательного электрода. Если это так, то начальное значение электродвижущей силы, необходимой для разряда через разреженный газ, может быть уменьшено путем нагревания отрицательного электрода, то есть нити накала.

В этой работе он отмечает, что хороший вакуум не является проводником, и что для протекания электрического тока в нем необходимы носители. Носителями, по его мнению, должны быть частицы углерода, что явилось неправильной интерпретацией эффекта Крукса. Эффект Эдисона имеет место независимо от того, из какого материала изготовлен дополнительный электрод, например, из платины, алюминия или углерода.

Из проведенных экспериментов Дж. Флеминг делает заключение, что ограниченное пустое пространство, содержащее два электрода, один

из которых нить накаливания, а другой — холодный электрод, *обладает односторонней проводимостью электрического разряда*, когда эти электроды расположены друг от друга на расстоянии длины свободного пробега проекции молекул, которые под воздействием электродвижущей силы могут отделиться и отойти от горячего отрицательного электрода.

Нужно заметить, что в рассмотренной выше статье, Флеминг затронул вопрос появления эффекта Эдисона при питании электроламп переменным током. Он отмечает, что в этом случае гальванометр, включенный между изолированной пластиной и любой клеммой лампы, показывает, что отрицательное электричество течет от пластины через гальванометр к клемме лампы. Если лампа имеет плохой вакуум, то отрицательное электричество течет от пластины через гальванометр к положительной клемме лампы, а отрицательное электричество течет к пластине через гальванометр от отрицательной клеммы лампы.

Опубликованные результаты исследований Флеминга не внесли полной ясности в выяснении причины появления налета в электрических лампах, и тогда он решил перейти от теоретических умозаключений к экспериментальным. Дж. А. Флеминг провел серию экспериментов с лампами, содержащими угольные нити накала, которые ему дал Т. Эдисон, когда посетил его лабораторию в США, рис. 19. Основной целью его экспериментов было дальнейшее изучение эффекта Эдисона. Результатом его изысканий стала опубликованная в 1896 г. объемная 50-страничная статья в журнале *Proceedings of the Physical Society of London* под названием «Дальнейшее исследование эффекта Эдисона в лампах накаливания» (*A Further Examination of the Edison Effect in Glow Lamps*) [21]. По словам Флеминга, Прис собрал ряд очень интересных фактов, в результате которых был только описан общий характер явления. Однако информация, полученная таким образом, поставила много новых вопросов для дальнейших исследований.



Рис. 19. Лампа с эффектом Эдисона, сделанная в 1885 г. для профессора Флеминга [22].

Fig. 19. Edison effect lamp made in 1885 for Professor Fleming [22]

В намечаемых исследованиях Флеминг намеревался, помимо прочего, подтвердить и переосмыслить экспериментальные результаты, полученные Присом, а также рассмотреть возникшие новые проблемы, которые не были ранее известны.

Для выяснения природы наблюдаемого эффекта в лампах накаливания, имеющих изолированный провод или пластину и помещенных в вакуум, было проведено 29 экспериментов [21]. В экспериментах исследовались лампы с различного вида дополнительными электродами в баллоне электрической лампы.

Соединив дополнительный электрод с минусом батареи накала, Флеминг заметил, что бомбардировки наэлектризованных частиц не происходит. Исследователь обратил внимание и на другой факт: если металлический электрод выполнен в виде пластины и соединен с плюсом накальной батареи, то в зависимости от его расположения относительно нити накала изменяется интенсивность потока частиц. Положение металлической пластины относительно положительного вывода лампы, а также расстояние между ними оказывают наибольшее влияние на величину анодного тока. Показания гальванометра, включенного между дополнительным электродом и положительным полюсом нити накала, очень сильно зависят от размеров и положения металлической пластины. Анодный ток в этом случае резко уменьшается, если площадь поверхности пластины (дополнительный электрод) очень маленькая или когда пластина установлена ребром к нити накала, рис. 20.

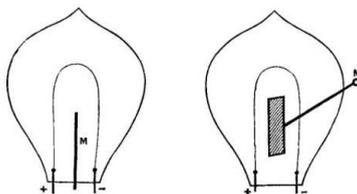


Рис. 20. Влияние положения дополнительного электрода на величину анодного тока в двухэлектродной электрической лампе.

Fig. 20. Influence of the position of the additional electrode on the value of the anode current in a two-electrode electric lamp

Работа Флеминга может служить образцом в проведении экспериментальных исследований. В ней приводится четкая методика проведения эксперимента, в частности, получение данных, их обработка и представление в виде таблиц и графиков. В пяти экспериментах (№№ 1, 2, 3, 11 и 14) построены вольтамперные характеристики (ВАХ) диодной пары: нити

накала и дополнительного электрода, подключенного к положительной клемме нити накала.

В статье Флеминг приводит описание проведенных экспериментов и констатирует факты увиденного. Только в конце статьи он отмечает, что отрицательный электрический ток может протекать через пустое пространство между раскаленным углем и металлической пластиной, то есть от горячего углерода к более холодной металлической пластине, но не в обратном направлении. Эксперименты также подтвердили гипотезу Дж. Дж. Томсона о том, что газы или, по крайней мере, некоторые газы в разреженном состоянии являются очень хорошими проводниками, и отсюда следует, что одна из существенных преград для проводимости через вакуумную лампу связана с электродами и может быть в значительной степени устранена путем нагревания катода до определенной температуры накаливания.

Эксперимент № 27 был проведен с лампой Эдисона с питанием от переменного тока. Исследовалась электрическая лампа с углеродной нитью в форме подковы, рис. 20. Под нитью, перпендикулярно ее плоскости, располагалась платиновая пластина размером $2,5 \times 1,5$ см, которая была приварена к платиновой проволоке, запаянной через боковую часть колбы. Лампа при работе в условиях нормальной температуры при напряжении 40 В потребляла 3,7 А. В эксперименте лампа питалась переменным током с частотой 80—100 Гц. При подключении миллиамперметра между любыми электродами и средней пластиной через гальванометр протекал непрерывный электрический ток. Направление этого тока было таким, что позволило обнаружить течение положительного электричества от любой клеммы лампы к средней пластине лампы. Другими словами, непрерывный ток отрицательного электричества протекал от средней пластины к любому из двух выводов лампы, а именно к тому выводу, к которому был присоединен другой конец гальванометра. Каждая ветвь углеродной нити периодически на мгновение становилась положительной или отрицательной, исходя из характера переменного тока. В этом случае наблюдается односторонний эффект тока, протекающего между средней пластиной и положительной ветвью, когда ток протекает через углеродную нить. В данном случае протекающий ток является постоянным, и он в равной степени существует между средней пластиной и обоими выводами лампы. Это только то, что можно было ожидать. Отсюда вывод: при питании лампы Эдисона переменным током имеет место однонаправленный электрический ток между нитью накала и дополнительным электродом, как и при питании ее постоянным током.

11. Исследования эффекта Эдисона при переменном токе

Факт наличия эффекта налета при переменном токе в лампах Эдисона, установленный Флемингом, был также подтвержден сотрудниками лаборатории Т. Эдисона. В феврале 1897 г. инженер лаборатории Эдисона, Дж. Хауэлл (John White Howell, 22.12.1857—28.07.1937, рис. 21) выступил на заседании с докладом “Conductivity of incandescent carbon filaments and the space surrounding them” (Проводимость углеродных нитей накаливания и окружающего их пространства) [23]. Работа была проделана в лаборатории Эдисона в сотрудничестве с другим инженером Эдисона, А. Е. Кеннелли (Arthur Edwin Kennelly, 17.12.1861—18.06.1939, рис. 21).

В опубликованной статье рассматривались особенности эффекта Эдисона, которые возникают в лампах при ярко выраженном «голубом свечении» и утверждается, что наличие голубого свечения указывает на прохождение электрического тока через пустое пространство.

Эта статья примечательна тем, что в ней впервые показано, что токи в несколько миллиампер могут протекать через пространство при небольших напряжениях. Хауэлл отмечает, что он измерил пустотные токи в обычной углеродной лампе накаливания, и они оказались более 25 ампер, что было достаточно для расширения платиновых вводных проводов и разрушения стекла.

Хауэлли и Кеннелли установили, что оба конца нити накала бросают белую тень на стеклянный баллон электролампы, если для ее нагрева используется переменный ток и в этом случае «эффект Эдисона» имеет место независимо от того, к какому концу нити накала подключен дополнительный электрод. Они также обнаружили, что ток на собирающем электроде был один и тот же при подключении его к любому концу нити накала.

Экспериментируя с одной из ламп, Джон У. Хауэлл в лаборатории Харрисона¹⁶ (Harrison laboratory), обнаружил, что ее можно использовать и в качестве выпрямителя. При обсуждении статьи профессор А. Э. Кеннелли сказал: «Интересно отметить, что вакуумная трубка, в самом широком смысле этого слова, способна преобразовать... переменный ток в постоянный ток». Следует заметить, что до этого времени никто, кроме Эдисона, не продемонстрировал никакого технического применения рассматриваемого эффекта. Вероятно, что Эдисон сделал это, прежде всего, с целью получения патентной защиты.

¹⁶ В 1882 г., через 6 лет после того, как лаборатория Эдисона в Менло-Парке усовершенствовала лампу накаливания, Edison Light Works открыла свой завод на Берген-стрит и Пятой авеню в Харрисоне, Нью-Джерси (Harrison NJ). К 1912 г. на этом единственном заводе работало 4000 человек. В 1929 г. завод был свернут, и его производство было перенесено на другие заводы в стране.

Практическое использование лампы Эдисона с дополнительным электродом в качестве преобразователя переменного тока отмечено в статье, опубликованной в докладах AIEE [23], однако этот факт был принципиально проигнорирован Эдисоном. Он был фанатичным человеком постоянного тока и ничего не хотел иметь общего с сетью переменного тока или выпрямителями!

Хауэлл и Кеннелли по-прежнему рассматривали анодный ток в термоэлектрической лампе как поток отрицательно заряженных молекул углерода, хотя электрон уже был открыт.

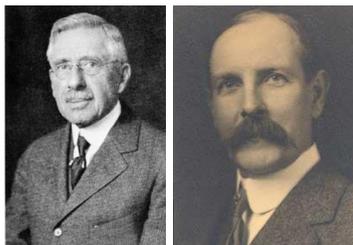


Рис. 21. Инженеры лаборатории Эдисона Дж. Хауэлл и Артур Кеннелли (слева направо).

Fig. 21. Edison Lab Engineers John Howell and Arthur Kennelly (left to right)

По всей видимости, статья Дж. Хауэлла была последней публикацией по исследованиям эффекта Эдисона, который проявился в углеродных лампах накаливания. Что касается изобретательской стороны вопроса, то Флеминг в 1904 г. подал заявку на получение патента на колебательный клапан только для радиоприема, более известный как клапан Флеминга. Это была выпрямительная (детекторная) лампа. Позже он отказался ее использовать на низких частотах, возможно, из-за статьи Хауэлла.

12. Исследования Юлиуса Эльстера и Ганса Гейтеля

Эффект Эдисона с момента его открытия и в течение последующих двадцати лет изучался многими учеными, особенно тщательно исследовался электрический ток, протекающий между нитью накала и анодом.

Наиболее заметные результаты по этой проблеме были получены в Германии. Два преподавателя гимназии в немецком городе Вольфенбюттеле Юлиус Эльстер (Julius Elster, 24.12.1854—8.04.1920) и Ганс Гейтель (Hans Friedrich Geitel, 16.07.1855—15.08.1923), начиная примерно с 1880 г. провели ряд масштабных исследований, рис. 22. Они очень подробно изучили электрическую проводимость воздуха в непосредственной близости от раскаленных металлов. Результаты своих исследований они опубликовали.

ликовали в серии статей в журнале Wiedemann's Annalen за период с 1882 по 1889 гг.

Первые четыре статьи Эльстера и Гейтеля опубликованные 1882—1885 гг. посвящены характеристикам пламени, особенно в отношении его несимметричной проводимости, и частично подтверждают более ранние работы, выполненные в этом направлении.

Последующие их статьи относятся к исследованию электрического тока, возникающего между накаленной металлической или углеродной нитью и холодным электродом. В большинстве своих экспериментов они помещали металлическую пластину рядом с металлической нитью или углеродной нитью внутри стеклянной колбы и изучали заряд, получаемый пластиной при различных условиях температуры нити накала и давления газа, рис. 22. Пластина была подключена к электроскопу. Они обнаружили, что в большинстве газов нить накала имеет тенденцию выделять положительное электричество, когда она находится при красном калении, однако при очень высоких температурах она выделяет отрицательное электричество активнее, чем положительное. Когда колба содержала высокий вакуум, такой, насколько это было возможно в те годы, то тенденция к выделению положительного электричества значительно уменьшалась и не сохранялась, в то время как тенденция к выделению отрицательного электричества была более сильной, чем в других случаях [24].

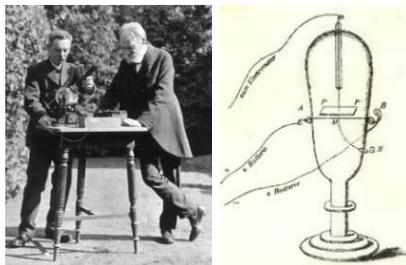


Рис. 22. Юлиус Эльстер и Ганс Гейтель (слева направо) проводят эксперимент в саду дома Эльстера (1893 г.). Фото: архив Фрике (Fricke, 1992). Справа: электрическая лампа в эксперименте Ю. Эльстера и Г. Гейтеля по установлению однонаправленного характера, протекающего электрического тока в вакууме между нитью накала и анодом (1887 г.).

Fig. 22. Julius Elster and Hans Geitel (from left to right) conduct an experiment in the garden of Elster's house (1893). Photo: Fricke Archive (Fricke, 1992). Right: an electric lamp in an experiment by J. Elster and H. Geitel to establish a unidirectional nature of the flowing electric current in a vacuum between a filament and an anode (1887)

Вообще говоря, Эльстер и Гейтель обнаружили, что металлический провод выделяет положительное электричество при температуре, близкой

к красному калению (550—650 °С) или ниже нее, а при более высоких температурах происходит выделение отрицательного электричества, которое быстро увеличивается количественно по мере повышения температуры, и поэтому изолированная пластина заряжается от отрицательного заряда. В то же время было обнаружено, что углеродные нити выделяют отрицательное электричество при любых температурах.

В статье [25], опубликованной в 1889 г., была описана серия экспериментальных исследований, в которой авторы рассмотрели случай возбуждения электричества при контакте газов и накаливаемых тел для случая, когда газы находились под давлением одной атмосферы или под давлением менее 10 мм рт. ст. В этих экспериментах была предпринята попытка исследовать явление при очень незначительных давлениях. В этом случае, в соответствии с предыдущими результатами, при использовании гальванических ламп накаливания с нитью из платины толщиной более 0,2 миллиметра, кислород имеет положительный заряд даже при самом высоком разрежении, а водород — отрицательный.

Воздух, водяной пар, сера и пары фосфора, будучи чистыми, электризуются положительно, но более слабо, чем кислород, тогда как ртуть, напротив, остается нейтральной. Продукты разложения жировых паров, которые при использовании смазанных запорных кранов и соединений проникают в приемник ртутного насоса, приобретают большей величины отрицательные заряды, чем водород. При непрерывном накаливании проводов происходит изменение молекулярной структуры разреженных газов, а также самих проводов, особенно если они тоньше 0,2 мм.

Природа электродов имеет небольшое влияние. Аналогичным образом окклюзия¹⁷ газов проволокой, а также отделение твердых частиц при воспламенении не играют существенной роли. Только при использовании накаливаемых углеродных нитей происходит ионизация газов, поглощенных углеродом. Углеродные нити накаливания в электролампе всегда отрицательно электризуют частицы, испускаемые в окружающую среду.

Лампа накаливания из платины, иридия, палладия и железной проволоки существенно не отличается от лампы из платиновой проволоки. Электродвижущая сила зависит от действия внешних магнитных сил. В разреженном водороде на нее влияет возникновение явления Холла, существование которого не всегда можно доказать с той же уверенностью, как в кислороде. В этом газе при воздействии на него магнита происходит увеличение его положительного заряда. В водороде магнитное поле при-

¹⁷ Окклюзия (англ. *occlusion* от лат. *occlusio* «сокрытие») — термин, который указывает на какое-либо состояние, которое обычно открыто, а в определенный момент времени полностью закрыто.

водит к уменьшению его отрицательного заряда, а при электронизации возможна даже смена знака, в то же время положение полюсов оказывает незначительное влияние. Явления полярной проводимости проявляются в разреженных газах, подобных газам нормальной плотности. Это связано с тем, что электричеству всегда легче разряжать, знак которого противоположен тому, который возбуждается в процессе накаливания в газе. В магнитном поле проводимость газа в контакте с накаливаемым проводом увеличивается для отрицательного электричества. Здесь также положение полюсов оказывает определяющее влияние.

В последней части статьи для объяснения однополярной проводимости используется теория, впервые сформулированная английским физиком Артуром Шустером (нем. *Franz Arthur Friedrich Schuster*; 12.09.1851—17.10.1934) [26]. Эта теория основана на диссоциации молекул газа при контакте с раскаленным телом.

В заключение авторы указывают на связь своих исследований с исследованиями своих соотечественников физиков Гольдштейна (нем. *Gotthilf-Eugen Goldstein*, 05.09.1850—26.12.1930) и Гитторфа (нем. *Johann Wilhelm Hittorf*, 27.03.1824—28.11.1914) по прохождению электричества через разреженные газы с использованием накаленных электродов. Они связывают результаты рассмотренных экспериментов с электродвижущей силой, возникающей при накаливании провода.

В последней работе из этой серии исследований приводится описание дальнейших экспериментов с различными формами электроламп [27].

Исследования Эльстера и Гейтеля носили чисто научный характер. Они позволили прояснить неизвестные стороны эффекта Эдисона, хотя и не имели прямого технического приложения, в частности, для выпрямления переменного тока или использования в каких-либо практических целях вакуумной лампы с угольной нитью, имеющей внутри в колбы металлическую пластину.

Нужно отметить, что немецкие физики-экспериментаторы Юлиус Эльстер и Ганс Гейтель были выдающимися учеными, несмотря на то, что они работали в гимназии, а не в научном заведении. За свою научную карьеру они опубликовали около 200 статей, 72 из которых были посвящены атмосферным явлениям. Их научные исследования относятся к проводимости газов, термоэлектронной эмиссии, ионизации в атмосфере, фотоэффекту, радиоактивности. В 1910 г. они внедрили в технику фотоэлементы. Они несколько раз были номинированы на Нобелевскую премию по физике, но так ее и не получили.

13. Заключение

Изобретение Т. Эдисоном двухэлектродной вакуумной электронной лампы (1883 г.) опередило научно-технический прогресс того времени. Еще не были открыты электромагнитные волны Г. Герцем (1888 г.) и не была изобретена система беспроводного телеграфа А. С. Поповым (1895 г.). Другими словами, вообще отсутствовала научно-техническая область, которой был бы необходим этот радиокомпонент.

Представляет интерес то, что вакуумный диод Т. Эдисона был законченной конструкцией и его можно было сразу использовать в радиоприемниках в качестве детектирующего элемента радиосигнала. Если бы Г. Маркони обратил внимание на эту двухэлектродную лампу, то мог бы ее использовать в своих радиоприемниках еще до появления вентиля Флеминга, когда проводил эксперименты по приему радиосигналов на большие расстояния.

В 1933 г. в США отмечался 50 летний юбилей изобретения вакуумного диода Эдисона. В связи с этим американский радиотехнический журнал *Radio-Craft* опубликовал статью президента Нью-Йоркского электротехнического общества (President of the New York Electrical Society) господина Ореста Г. Колдуэлла (Dr. Orestes H. Caldwell) и доктора Клейтона Н. Шарпа (Dr. Clayton H. Sharp), в которой была приведена конструкция двухконтурного радиоприемника компании National Broadcasting Co. с установленной в нем оригинальной лампой Эдисона. Схема радиоприемника приведена на рис. 23 [28].

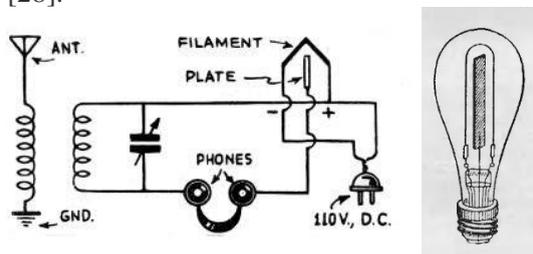


Рис. 23. Принципиальная схема радиоприемника и общий вид двухэлектродной лампы Эдисона, использованной в этой схеме. 1933 г.

Fig. 23. Schematic diagram of the radio receiver and a General view of the two-electrode Edison lamp used in this scheme. 1933

К особенностям этого радиоприемника следует отнести то, что для питания нити накала требовалось постоянное напряжение величиной 110 В. Это и не удивительно, так как базой для создания вакуумного диода Эдисона послужила обычная осветительная лампа, применявшаяся в быту. В конструкции радиоприемника использовалась двухэлектродная лампа

Эдисона образца 1885 г., в которой в качестве тела накала использовалась карбонизированная бамбуковая нить, рис. 24.

Реальный небольшой радиоприемник на лампе Эдисона успешно принимал на внешнюю антенну сигналы от радиостанции WJZ¹⁸ на частоте 1300 кГц (230,77 метра). Слушатели утверждали, что прослушивание было таким же хорошим, как и в обычных ламповых радиоприемниках. Это явилось доказательством пригодности для радиоприема двухэлектродной лампы Эдисона, рис. 24.

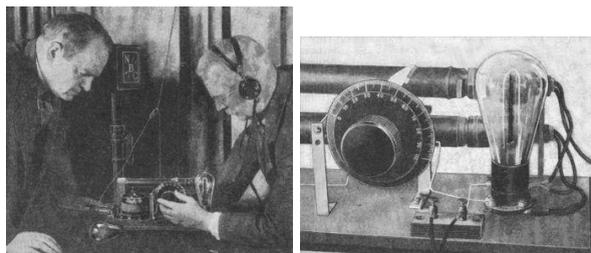


Рис. 24. Общий вид радиоприемника на двухэлектродной лампе Эдисона образца 1885 г. и прием радиосигналов на этот радиоприемник господином О. Г. Колдуэллом и доктором К. Н. Шарпом. 1933 г.

Fig. 24. General view of a radio receiver on a two-electrode Edison lamp of the 1885 model and reception of a radio signals to this radio receiver by Mr. O. H. Caldwell and Dr. C. H. Sharp. 1933

Лишь спустя годы, по прошествии почти 10 лет Дж. А. Флеминг использовал свойство выпрямления двухэлектродной лампы для обнаружения (демодуляции) радиосигналов, когда радиосвязь уже завоевывала земные пространства. Александр Попов 12 марта 1896 г. передал по радиоволнам первое в мире радиосообщение «Генрих Герц» азбукой Морзе на расстояние 250 метров. Спустя три года, в 1899 г., Гульемо Маркони с помощью беспроводного телеграфа передал радиосообщение сначала через Ла-Манш, а в 1901 г. и Атлантический океан. Эксперименты ученых и инженеров в области радиотехники показывали, что для прогресса в радиосвязи необходим стабильный и устойчивый в работе детектор взамен когерера и кристаллического детектора с пружинкой и кристаллом. Этим требованиям как раз и отвечало изобретение Дж. А. Флеминга, которое появилось вовремя.

Не попадись на глаза Томасу Эдисону лампа с угольной нитью, открытие нового эффекта могло состояться значительно позже. Эффект

¹⁸ Нью-Йоркская широковещательная радиостанция с позывным WJZ основана в 1922 г. как WEAR (радиовещательное подразделение Westinghouse Electric Corporation) и принадлежала Entercom (Entercom Communications Corporation). 29 августа 1931 г. станция стала филиалом NBC Red Network.

Эдисона с конца 20-х годов прошлого века чаще стали называть термоэлектронной эмиссией, которая стала концепцией большинства электронных ламп. Эдисону не удалось войти в историю как изобретателю системы радиосвязи, но благодаря многим его открытиям и изобретениям появились важнейшие устройства в области радиотехники, в частности, был создан вакуумный диод.

Список литературы

1. Fay Mons Du. A Letter from Mons. Du Fay, F. R. S. and of the Royal Academy of Sciences at Paris, to His Grace Charles Duke of Richmond and Lenox, concerning Electricity. Translated from the French by T. S. M D // Philosophical Transactions of the Royal Society (1683–1775). 1733–1734. Vol. 38. P. 258–266.
2. Website “History and Philosophy in Science Teaching”. Charles d u Fay – Explorative Experiments: Describing and Explaining Electrical Phenomena. URL: <http://hipstwiki.wikifoundry.com/page/Charles+d u+Fay+--+Explorative+Experiments%3A+Describing+and+Explaining+Electrical+Phenomena> (24.03.2020).
3. Becquerel Edmond. Recherches sur la conductibilit  elektrische des gaz   des temperatures elevees // Comptes Rendus. 1853. Vol. 37. P. 20–24.
4. Becquerel Edmond. Recherches sur la transmission de V electricit  au travers des gaz   des temperatures elevees // Annales de Chimie. 1853. Vol. 39. P. 355–402.
5. Guthrie Frederick. On a Relation between Heat and Electricity // Philosophical Magazine and Journal of Science. 4th series. April 1873. Vol. 45. P. 308–309.
6. Guthrie Frederick. On New Relation between Heat and Electricity // Proceedings of the Royal Society of London. 31 December 1873. Vol. 21. P. 168–169.
7. History of Technology. Edited by Graham Hollister-Short and Frank A. J. L. James. Mansell, London & New York. 1991. Vol. 13. P.82–85.
8. Caricature of Silvanus Phillips Thompson (1851–1916) and Frederick Guthrie (1833–1886). URL: <https://prints.royalsociety.org/collections/scientific-instruments-diagrams-art-prints/products/caricature-of-silvanus-phillips-thompson-1851-1916-and-frederick-guthrie-1833-1886-rs-9260> (24.03.2020).
9. Hollister-Short Graham, James Frank. History of Technology Vol. 13. New York. Bloomsbury Academic.2016. P.82-85.
10. Johnson J. B. Contribution of Thomas A. Edison to Thermionics // American journal of physics. December 1960. Vol. 28. Num. 9. P. 764–773.
11. Edison T. A. Electrical indicator. US307031. Patented Oct. 21, 1884. Applications field November 15, 1883.
12. Явления в лампе Эдисона (Engineering, 12 December 1884. P. 553). В сб. оригинальных статей и материалов. Из предыстории радио. Сост. проф. С. М. Рытов. Под ред. акад. Л. И. Мандельштама. М.—Л. : Изд. АН СССР, 1948. С. 366.
13. The First industrial application of electronics? Sprague, Frank J. : Letter to W. J. Hammer, dated December 27, 1883 // Electronics. 1933. No. 1 P. 15.
14. Houston Edwin J. Notes on Phenomena in Incandescent Lamps // Transactions of the American Institute of Electrical Engineers (Philadelphia). May 1884 – October 1884. Vol. 1. P. 2–8.
15. Preece W. H. On Peculiar Behavior of Glow-Lamps When Raised to High // Proceedings of the Royal Society of London. 01 January 1885. Vol. 38. Issue 235–238. P. 219–230.

16. Прис Вильям Генри. XLVIII. Об особом поведении ламп накаливания при сильном накале. В сб. оригинальных статей и материалов. Из предыстории радио. Сост. проф. С. М. Рытов. Под ред. акад. Л. И. Мандельштама. М.—Л. : Изд. АН СССР, 1948. С. 365—367.
17. Fleming J. A. VI. On a phenomenon of molecular radiation in incandescence lamps // *Philosophical Magazine and Journal of Science*. July 1, 1883. Vol. 16. No. 97. P. 48–49.
18. Fleming J. A. XVI. On molecular shadows in incandescence lamps // *Philosophical Magazine and Journal of Science*. August 1, 1885. Vol. 20. No. 123. P.141–144.
19. Fleming J. A. XXXI. On a Phenomenon of Molecular Radiation in Incandescence Lamps // *Proceedings of the Physical Society of London*. January 1, 1882. Vol. 5. P. 283–285.
20. Fleming J. A. II. On Electrical Discharge between Electrodes at different Temperatures in Air and in High Vacuum // *Proceedings of the Royal Society of London*. January 9. 1890. Vol. 47. P. 118–126.
21. Fleming J. A. III. A further examination of the Edison effect in glow lamps // *Philosophical Magazine and Journal of Science*. July 1, 1896. Vol. 42. No. 254. P. 52–102.
22. Edison Effect. Website “The National Valve Museum”. URL: <http://www.r-type.org/exhib/aag0124.htm> (07.04.2020).
23. Howell J. W. Conductivity of Incandescent Carbon Filaments, and of The Space Surrounding Them // *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*. Jan. 1897. Vol. XIV, Issue 1. P. 25—42.
24. Elster Julius and Geitel Hans. Ueber die Electrisirung der Gase durch glühende Körper // *Wiedemann's Annalen der Physik und Chemie*. 1887. Band 31. P. 109–126.
25. Elster, Julius and Geitel, Hans. Ueber die Electricitätserregung beim Contact verdünnter Gase mit galvanischem glühendem Drahten // *Wiedemann's Annalen der physik und Chemie*. 1889. Band 37. P. 315–329.
26. Schuster, A. Experiments on the discharge of electricity through gases // *Proceedings of the Royal Society of London*. Vol. 37. 1884. P. 317–339.
27. Elster Julius and Geitel Hans. Einige Demonstrationversuche zum Nachweis einseitiger Electricitätsbeieogungen im verdünnten Gasen bei Anwendung glühender Electroden // *Wiedemann's Annalen der Physik und Chemie*. 1889. Band 38. P. 27–39.
28. 50-year-old lamp used in receiver// *Radio-Craft*. 1933. No. 2.

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.

Information about the authors

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