

КОРПОРАЦИЯ «BELL LABS» – ФАБРИКА НАУЧНЫХ ИННОВАЦИЙ

DOI: 10.19181/smtp.2021.3.1.8

Кудрявцев Василий Владимирович¹

¹ Московский педагогический государственный университет, Институт физики, технологии и информационных систем, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Результаты научных исследований и разработок стали сегодня основой развития экономики, важнейшим фактором повышения её конкурентоспособности, фундаментом современных технологий. Поэтому проблема эффективной организации научных исследований и результативности их финансирования является исключительно актуальной. Изучение эволюции организационных форм науки позволяет сделать вывод, что в фирмах, не имеющих государственного финансирования, нередко проводятся научные исследования нобелевского уровня. В статье рассказано об истории создания одной из таких организаций – всемирно известной корпорации Bell Labs, которая является настоящим инкубатором прогрессивных научно-технических идей.

За годы своей деятельности сотрудники компании Bell Labs совершили ряд грандиозных открытий: обнаружение космического радиоизлучения, изобретение точечного транзистора, кварцевых часов, приборов с зарядовой связью, создание теории информации, операционной системы UNIX, языков программирования C, C++ и др.

Значительное внимание уделено описанию научных и технических результатов сотрудников Bell Labs, ставших лауреатами Нобелевских премий, премий Тьюринга, «Эмми» и «Грэмми», а также обладателями Национальной медали США в области технологий и инноваций и медали почета IEEE. В завершение обсуждаются некоторые другие научные достижения работников Bell Labs, не удостоенные указанных выше наград. Опыт изучения истории создания и функционирования данной компании может быть полезен при организации инновационных научных центров в нашей стране.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

организационные формы науки, компания Bell Labs, Нобелевская премия, телефония, телекоммуникации, компьютерные и электронные системы

БЛАГОДАРНОСТИ:

Автор выражает искреннюю благодарность профессору, доктору физико-математических наук В. А. Ильину, который принимал активное участие в обсуждении и редактировании статьи.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Кудрявцев В. В. Корпорация «Bell Labs» – фабрика научных инноваций // Управление наукой: теория и практика. 2021. Т. 3, № 1. С. 136–168.

DOI: 10.19181/sntp.2021.3.1.8

ОБ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ФОРМАХ НАУКИ (ВМЕСТО ВВЕДЕНИЯ)

До второй половины XIX в. научные исследования по физике проводились лишь в специальных кабинетах при университетах и академиях наук, а также в частных лабораториях учёных-энтузиастов [1]. В прошлом физик, как правило, работал в одиночку. Приборы обычно покупались им на собственные деньги или изготавливались вручную. Нередко лабораториями служили частные дома. Приведём лишь несколько примеров из истории науки [2].

Опыты по дисперсии света И. Ньютон выполнил в своей квартире в Кембридже. В качестве физического прибора он использовал призму, купленную им на собственные деньги. Через 150 лет в той же обстановке другой английский физик Дж. Стокс проводил свои оптические исследования. Отечественные учёные Г. Рихман и М. В. Ломоносов исследовали атмосферное электричество с помощью «громовых машин», построенных каждым у себя на квартире. Похожим образом поступали Б. Франклин, Дж. Джоуль, Ж. Л. Гей-Люссак, Л. Фуко, Г. Дэви, М. Фарадей и многие другие учёные. Французский физик и инженер О.-Ж. Френель проводил исследования по дифракции света в доме матери в селе Матье близ Канна, используя примитивные приборы и приспособления, которые для него были изготовлены сельским кузнецом.

При этом никто из упомянутых исследователей не проходил какого-либо курса обучения практической физике, поскольку их тогда просто не существовало. В университетах основное внимание уделялось гуманитарным и математическим наукам. Тем не менее в них постепенно открывались учебные физические кабинеты. На первых порах они слабо снабжались экспериментальным оборудованием, поскольку считалось, что главная задача преподавателя – читать лекции, а занятия наукой – деятельность второстепенная и необязательная. Однако многие профессора-энтузиасты уделяли много внимания оснащению физических кабинетов (среди отечественных учёных это прежде всего М. В. Ломоносов, Г. В. Рихман, В. В. Петров, Э. Х. Ленц, Б. С. Якоби и др.), и кабинеты постепенно расширялись, пополнялись новым оборудованием, которое могло уже использоваться и для исследовательских целей.

В середине XIX в. бурное развитие промышленности стимулировало развитие науки, при этом необходимыми стали новые формы её организации [3]. С 1830-х гг. начинают создаваться физические лаборатории при академиях и университетах как новая форма организации коллективных методов научного исследования¹. Многие из таких лабораторий впоследствии послужили основой для создания физических институтов².

¹ Первые физические лаборатории были организованы в Лейпцигском и Гёттингенском университетах. В начале 1840-х гг. Г. Магнус в Берлине, а Ф. Нейман в Кёнигсберге открыли частные лаборатории для проведения научных работ студентов и практикантов.

² Первые физические институты были открыты в 1835 г. при Лейпцигском и в 1850 г. при Венском университетах. В России первый физический институт был открыт в 1901 г. при Петербургском университете, а в 1904 г. — при Московском.

Физические лаборатории и институты создавались не только при академиях и университетах, но и при заводах и коммерческих компаниях. В Европе с ростом масштабов промышленности самые крупные фирмы организовывали собственные физические научно-исследовательские центры, в которых, кроме задач, связанных с нуждами производства, решались и общенаучные проблемы.

Например, важные результаты в области теории оптических приборов были получены в лабораториях при заводах Карла Цейса (Германия), которыми в конце XIX в. руководил физик и изобретатель Эрнст Аббе (1840–1905) [4]. Благодаря его научным трудам, инструментальный арсенал немецкой оптики вышел на очень высокий уровень. Всемирную известность приобрела также лаборатория американской фирмы «Белл телефон компани» (основана в 1877 г., с 1885 г. — «Американ телефон энд телеграф»).

О ФИНАНСИРОВАНИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАЗНЫХ СТРАНАХ

Известно, что в рыночной экономике значительную часть исследований и разработок осуществляют коммерческие фирмы. В связи с тем, что инновационная деятельность – достаточно капиталоемкий процесс, фирмы неминуемо сталкиваются с необходимостью поиска оптимальной структуры источников финансирования. В развитых странах финансирование инновационной деятельности осуществляется как из государственных, так и из частных источников. Для большинства стран Западной Европы и США характерно примерно равное распределение финансовых ресурсов для научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) между государственным и частным капиталом.

Наиболее значительна доля частного сектора в финансировании научных исследований и разработок в США, Швеции, Финляндии (70–75%), Бельгии, Германии, Франции (60–65%) [5]. Государство финансирует в основном фундаментальные исследования, осуществляемые университетами, государственными и полугосударственными исследовательскими лабораториями, институтами, оказывает селективную поддержку инновационным разработкам в частном секторе.

Отметим, что подходы к распределению государственных ресурсов на поддержку НИОКР в частном секторе в различных странах неодинаковы. Например, в отличие от стран ЕС, где превалирует диверсифицированный³ подход в распределении средств между частными фирмами, в США направляемые государством средства в НИОКР частного сектора сконцентрированы в небольшом числе компаний. Всего 0,5% американских компаний получают 84% государственного финансирования на НИОКР [5].

³ Диверсификация — это маркетинговая стратегия, при которой осуществляется распределение материального капитала в различные сферы, разделение ресурсов и их вложение в новые идеи.

Участие частного капитала в финансировании научных исследований всегда приводило к особым взаимоотношениям между учёными и их работодателями. Интересно в этом отношении свидетельство Ирвинга Ленгмюра (1881–1957), известного учёного и инженера, лауреата Нобелевской премии по химии 1932 г. («За открытия и исследования в области химии поверхностных явлений»).

В 1909 г. И. Ленгмюр пришёл в исследовательскую лабораторию фирмы «Дженерал электрик» и проработал в ней 37 лет, закончив службу в должности её директора. Учёный писал: «Руководители промышленности, заинтересованные в улучшении технических процессов, часто вполне правильно оценивают возможность научных открытий, могущих расширить поле их деятельности. Отсюда они логически приходят к выводу о целесообразности исследовательских лабораторий для решения специальных задач» [6]. Далее И. Ленгмюр говорит о неизбежности конфликта между коммерческим подходом руководства фирмы и подходом учёного, который «не склонен следовать чужой указке и для которого научная любознательность является более мощным стимулом, чем коммерческий успех» [6]. Эта тенденция характерна и для сегодняшнего состояния науки в целом, и для взаимоотношений учёных и их работодателей в частности.

Знаковым для взаимоотношений науки и общества стало учреждение в 1901 г. Нобелевских премий [7]. *Нобелевская премия* – наиболее престижная международная научная награда, ежегодно присуждаемая за выдающиеся научные исследования, революционные изобретения, за значительный вклад в культуру или развитие общества. Нобелевская премия открывает новые горизонты не только в науке, но и в практической жизни. Открытия лауреатов Нобелевской премии помогают человечеству приобретать новые технические приспособления, облегчающие его жизнь [8].

Анализ историко-научных фактов показывает, что существует целый ряд научно-исследовательских центров и лабораторий, среди сотрудников которых есть значительное количество нобелевских лауреатов (например, Колумбийский университет, Гарвардский университет, Кавендишская лаборатория). Естественно предположить, что чем их больше, тем эффективнее функционирует данная организация, тем выше интеллектуальный потенциал её работников, организация исследований, наконец, тем лучше она финансируется.

Среди таких организаций немало тех, которые финансируются государством (университеты, научно-исследовательские институты, научные коллаборации и т. д.). В ряде источников [9, 10] можно найти информацию о том, почему та или иная бюджетная лаборатория или институт имеет столь высокие научные результаты. При этом обсуждаются факторы, влияющие на конечный успех, например, оптимальная организация исследований, необходимый уровень финансирования, высокий интеллектуальный потенциал сотрудников. В то же время частные фирмы остаются в этом смысле в тени, хотя некоторые из них по числу сотрудников – нобелевских лауреатов – не уступают даже знаменитым американским университетам.

Цель данной статьи – частично восполнить этот недостаток. Мы расскажем о знаменитой фирме (корпорации) Bell Laboratories⁴, ставшей настоящей кузницей выдающихся учёных, удостоенных Нобелевской премии и других престижных наград.

ОБ ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ КОРПОРАЦИИ BELL LABS



а)

Рис. 1.

а) — Штаб-квартира Bell Labs в Мюррей Хилл (Нью-Джерси, США),
б) — логотип компании.



б)

Фирма Bell Laboratories (рис. 1) – американская, а ныне финско-американская корпорация, крупный исследовательский центр в области телекоммуникаций, электронных и компьютерных систем [11]. Bell Labs характеризуется огромным разнообразием тематики научных исследований и разработок, которые принесли их авторам 10 Нобелевских премий, 12 Американских медалей за научные достижения, 16 медалей почета IEEE⁵, 6 медалей за технические достижения и другие награды [12].

Среди общеизвестных разработок Bell Labs – точечный транзистор, кнопочный телефон, цифровая передача сигнала, оптические коммуникации и цифровой сигнальный процессор. Специалисты корпорации добились впечатляющих достижений в области информационных технологий.

Основателем Bell Labs (точнее, компании American Telephone and Telegraph Company, AT&T) является Александр Грэхем Белл (1847–1922) – учёный, изобретатель и бизнесмен шотландского происхождения, один из

⁴ Фирма известна также под сокращенным названием Bell Labs. Прежние её названия — AT&T Bell Laboratories, Bell Telephone Laboratories. В статье мы в основном будем использовать название «Bell Labs».

⁵ IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers – «Институт инженеров электроники и электротехники») — международная некоммерческая ассоциация специалистов в области техники, мировой лидер в области разработки стандартов по радиоэлектронике, электротехнике и аппаратному обеспечению вычислительных систем и сетей.

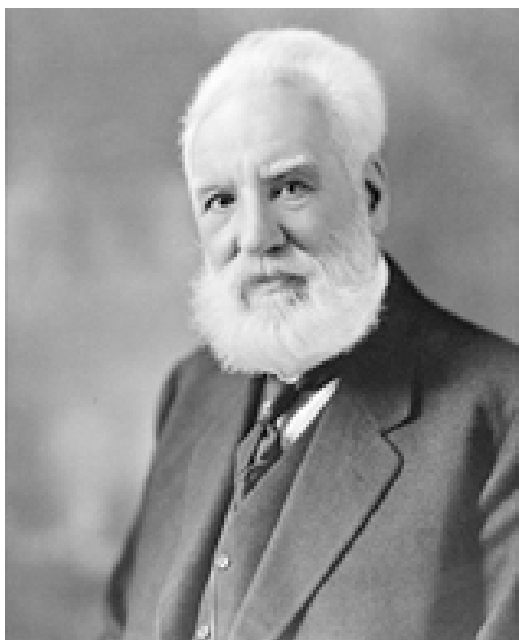


Рис. 2. А. Белл



Рис. 3. Золотая медаль имени Александра Белла

основоположников телефонии [13, 14] (рис. 2). С 1870 г. он был профессором физиологии органов речи в Бостонском университете (США). В 1876 г. А. Белл получил патент на изобретенный им первый действующий телефон. Через год была создана «трубка Белла», которая использовалась и для передачи, и для приёма человеческой речи.

Этими работами он положил начало новому направлению электросвязи – телефонии, оказавшей огромное влияние на образ жизни миллионов людей. Долгое время А. Белл считался изобретателем телефона, однако 11 июня 2002 г. Конгресс США в резолюции № 269 признал, что первенство в этом изобретении принадлежит итальянскому учёному Антонио Меуччи (1808–1889). Он подал заявку на соответствующий патент в 1871 г. Тем не менее А. Белл сделал многочисленные изобретения и во многих других областях науки и техники (например, создал фотофон, металлоискатель) и поэтому заслуженно считается одним из выдающихся изобретателей в истории человечества.

На заработанные фирмой деньги А. Белл основал в Вашингтоне Институт имени А. Вольты. В его стенах изобретатели работали над дальнейшим совершенствованием телефона, фонографа и электрической связи. Сам А. Белл участвовал в работах по многим проектам, в частности в области авиации и гидродинамики, работал над созданием индукционных весов, медицинского телефонического зонда, фонографа. Получение прибыли из реализованных проектов его не очень интересовало, большее удовлетворение приносила возможность поддерживать талантливых учёных и изобретателей (например, физика А. Майкельсона, пионера авиации Г. Кертисса и др.). По своему опыту А. Белл понимал, как важно своевременно помочь одарённому человеку.

Он уделял значительное внимание решению проблем, связанных с нарушениями зрения и слуха у людей. На свои средства А. Белл в течение нескольких лет содержал в Вашингтоне экспериментальную школу, где проводилась практическая работа по выявлению наилучших методов обучения глухих детей. По его инициативе была основана Американская ассоциация содействия обучению глухих устной речи. Получив премию А. Вольты за изобретение телефона, А. Белл организовал на эти деньги в Вашингтоне Вольтовское бюро по распространению информации по проблемам глухих.

В знак признания выдающихся заслуг А. Белла его именем был назван ряд престижных научных наград. В 1976 г. институтом IEEE была учреждена Золотая медаль имени Александра Белла (рис. 3), вручаемая за выдающиеся фундаментальные исследования и прикладные разработки в области коммуникаций. Она является высшей научной наградой данной организации.

В честь А. Белла названы кратер на Луне (1970 г.), три первых наноспутника, изготовленных по программе NASA PhoneSat (2013 г.). На них в качестве бортового компьютера используются серийные смартфоны компании Nexus. Кроме того, имя Белла носит внесистемная единица – бел (Б). Бел – единица логарифмического отношения физической величины к одноимённой физической величине, принимаемой за исходную. Широкое распространение получила дольная единица бела – децибел, равная 0,1 Б. Она используется, например, в акустике и радиотехнике.

Причина столь выдающихся успехов А. Белла – его невероятная работоспособность. Уже с детства он начал старательно заниматься наукой в разных направлениях, как технических, так и гуманитарных. К концу своей жизни учёный запатентовал 30 изобретений и опубликовал более сотни научных трудов.

Специально для новой отрасли индустрии (телефонии) была создана одна из самых крупных корпораций XX в. – Американская телеграфная и телефонная компания (АТ&Т), которая вскоре стала контролировать практически всю быстрорастущую телефонную сеть на территории США [15]. Компания АТ&Т стремилась стать монополистом в сфере оказания телекоммуникационных услуг. К середине 1920-х гг. во всех штатах США существовал свой монополист в сфере телефонных услуг, большинство из них были дочерними компаниями АТ&Т.

Интересы АТ&Т распространялись и за рамки непосредственно операторской деятельности. Она завоевала прочные позиции во всей индустрии связи, в том числе и в производстве оборудования. Этим занималось специализированное подразделение АТ&Т – компания Western Electric (создана в 1869 г. и присоединена к АТ&Т в 1882 г.) [16]. В 1907 г. исследовательские команды Western Electric и АТ&Т были объединены в Western Electric Engineering Department (Нью-Йорк). В свою очередь, в 1925 г. этот департамент был объединён с инженерным отделом АТ&Т, образовав при этом исследовательский центр «Bell Telephone Laboratories, Inc».

Несмотря на коммерческий характер компании, многие из достижений её сотрудников имеют фундаментальный характер. Далее мы обсудим деятельность некоторых учёных — сотрудников компании Bell Labs, ставших лауреатами Нобелевской премии.

НОБЕЛЕВСКИЕ ПРЕМИИ, ПРИСУЖДЁННЫЕ СОТРУДНИКАМ BELL LABS

В 1937 г. американский физик Клинтон Джозеф Дэвиссон (1881–1958) (рис. 4) разделил Нобелевскую премию по физике с Джорджем Паджетом Томсоном (1892–1975) «за экспериментальное открытие дифракции электронов на кристаллах» [7]. В результате экспериментов ими было установлено, что электрон обладает волновыми свойствами. Это открытие экспериментально подтвердило волновую природу материи.

К. Дэвиссон работал в Кавендишской лаборатории в Англии ассистентом Дж. Дж. Томсона. В 1917 г. К. Дэвиссон перешёл в лабораторию компании Western Electric в Нью-Йорке, где первое время исследовал излучение электронов металлами. В период 1919–1927 гг. он изучал взаимодействие электронов с металлическими поверхностями. Используя электронные пучки и монокристаллические металлические мишени, сотрудники компании Bell Labs – К. Дэвиссон и Л. Джермер – экспериментально открыли дифракцию электронов на кристаллах, тем самым подтвердив гипотезу де Бройля.

Дж. П. Томсон узнал об исследованиях К. Дэвиссона в 1926 г., когда оба учёных встретились на конференции в Оксфорде. После этого Дж. П. Томсон начал изучать взаимодействие электронов с тонкими твёрдыми пленками из алюминия, золота, платины, находящимися в вакууме. В каждом случае отклонившиеся электроны образовывали ясно различимые кольца, размеры которых прекрасно согласовывались с формулой де Бройля.

Таким образом, эксперименты Дж. П. Томсона позволили экспериментально подтвердить гипотезу о волновой природе высокоэнергетических электронов, дополнив тем самым результаты К. Дэвиссона и Л. Джермера, которые имели дело с электронами низких энергий.

Возможно, самым важным изобретением XX в. стал полупроводниковый усилитель – транзистор. Его первый образец был изготовлен в Bell Labs в 1947



Рис. 4. К. Дэвиссон

г. [17] Устройство представляло собой германиевый брусок, точечными контактами которого были два тонких «усика» из золотой фольги – эмиттер и коллектор. Они были прикреплены к верхней части блока. Третий контакт (база) был связан с нижней частью блока. Для управления током между эмиттером и коллектором использовался небольшой ток, текущий между эмиттером и базой. Отметим, что впервые правильное объяснение устройства и принципа работы транзистора предложил Дж. Бардин.

За изобретение первого точечного транзистора сотрудники компании Bell Labs – Дж. Бардин, У. Шокли и У. Браттейн (рис. 5) – получили Нобелевскую премию по физике в 1956 г. [7]. Приведём краткие биографические сведения об этих учёных [18].

Американский учёный Уильям Брэдфорд Шокли (1910–1989) в 1936 г. защитил докторскую диссертацию в Массачусетском технологическом институте и стал сотрудником компании Bell Labs. Он начал работу в лаборатории вакуумных ламп К. Дэвиссона. В 1939 г. У. Шокли предложил проект твердотельных усилителей как альтернативы вакуумным электронным лампам. Однако его идея оказалась неосуществимой из-за отсутствия в то время необходимых материалов.

После Второй мировой войны У. Шокли вернулся в компанию Bell Labs в качестве директора программы научных исследований по физике твёрдого тела. В 1947 г. сотрудники его группы – Дж. Бардин и У. Браттейн – создали первый полупроводниковый усилитель – точечный транзистор. Вскоре после этого У. Шокли предложил плоскостной транзистор (1950 г.). Усовершенствование методов выращивания, очистки и обработки кристаллов кремния позволило осуществить его идею о создании транзистора на основе полевых эффектов. В настоящее время этот тип транзисторов широко используется в электронных устройствах.

Докторскую степень американский физик и инженер-электрик Джон Бардин (1908–1991) получил в Принстонском университете в 1936 г. за диссертацию, посвящённую силам притяжения, удерживающим электроны внутри металла. В 1945 г. он перешёл в компанию Bell Labs, где, работая совместно с У. Шокли и У. Браттейном, ему удалось создать транзистор, который мог выпрямлять и усиливать электрические сигналы.

В 1951 г. Дж. Бардин покинул компанию Bell Labs и принял предложение занять одновременно два поста: профессора электротехники и профессора фи-



Рис. 5. Дж. Бардин, У. Шокли и У. Браттейн в компании Bell Labs (1948 г.)

зики в Иллинойском университете. Там у Дж. Бардина возобновился интерес к теме, которой он занимался в аспирантские годы, – проблеме сверхпроводимости и свойств материи при сверхнизких температурах. Вместе с Л. Купером и Р. Шриффером Дж. Бардину удалось создать микроскопическую теорию сверхпроводимости. В 1972 г. Дж. Бардин, Л. Купер и Р. Шриффер получили Нобелевскую премию по физике «за создание теории сверхпроводимости, обычно называемой БКШ-теорией». Отметим, что Дж. Бардин – единственный в истории учёный, которому была дважды присуждена Нобелевская премия по физике [19].

Американский физик Уолтер Хаузер Браттейн (1902–1987) начал работать в компании Bell Labs в качестве физика-исследователя в 1929 г. Когда после Второй мировой войны в лабораторию вернулись У. Браттейн и У. Шокли, к ним присоединился Дж. Бардин. В этом содружестве У. Браттейн играл роль экспериментатора, который определял свойства и поведение исследуемых материалов и приборов. После изобретения транзистора У. Браттейн занимался изучением свойств полупроводников и их поверхностей. Результаты его исследований оказались актуальными при создании полевых транзисторов, которые очень чувствительны к поверхностным дефектам, и солнечных батарей, свойства которых определяются электрическими свойствами поверхности.

Перейдём к рассмотрению ещё одной Нобелевской премии, которая имеет прямое отношение к компании Bell Labs. Её получил в 1977 г. американский физик Филипп Андерсон (р. 1923) (рис. 6) совместно со своим американским коллегой Джоном Ван Флеком (1899–1980) и английским учёным Невиллом Моттом (1905–1996) «за фундаментальные теоретические исследования электронной структуры магнитных и неупорядоченных систем» [7].

В 1947 г. Ф. Андерсон получил степень магистра, а в 1949 г. – степень доктора, работая в Гарвардском университете. После этого он был принят в штат техников лабораторий компании Bell Labs, которая была в то время одним из наиболее передовых исследовательских центров в области физики



Рис. 6. Ф. Андерсон

твёрдого тела. Работая над вопросами уширения спектральных линий, Ф. Андерсон начал также исследовать магнитные свойства твёрдых тел. Эта работа пробудила его интерес к явлению сверхпроводимости. В компании Bell Labs Ф. Андерсоном были заложены основы для создания аморфных полупроводников (сегодня они используются, в частности, в солнечных батареях). Это оказалось возможным благодаря выполненным им теоретическим исследованиям электронной структуры магнитных и неупорядоченных систем.

С 1967 по 1975 гг. Ф. Андерсон половину каждого года проводил в Кембридже, а другую половину – в компании Bell Labs. В 1976 г. он был назначен директором-кон-

сультантом одной из её лабораторий и занимал этот пост до 1984 г., когда вышел в отставку.

Рамки статьи не позволяют подробно рассказать о результатах научной деятельности Ф. Андерсона, но мы хотели бы подчеркнуть, что он был «крёстным отцом» одного из замечательных явлений квантовой физики – эффекта Джозефсона [20]. Именно к нему в 1962 г. обратился юный стажёр Кавендишской лаборатории Брайан Джозефсон (р. 1940) за советом по поводу рассчитанных им удивительных эффектов, связанных с туннелированием куперовских пар в сверхпроводниках. Ф. Андерсон сумел оценить необычное явление, и его советы во многом способствовали выходу работы Б. Джозефсона на нобелевский уровень. Любопытно, что он получил Нобелевскую премию в 1973 г., на несколько лет раньше Ф. Андерсона.

Как уже отмечалось, работы, проводимые в Bell Labs, отличаются высокой фундаментальностью и чрезвычайно широкой тематикой. Выше мы рассказывали об исследованиях в области квантовой механики, физики твёрдого тела и электроники. Теперь пришла очередь астрофизики.

Американские учёные и инженеры Арно Аллан Пензиас (р. 1933) и Роберт Вудро Вильсон (р. 1936) (рис. 7) получили Нобелевскую премию за открытие космического микроволнового фонового излучения (реликтового излучения), существование которого было предсказано ранее в рамках гипотезы Большого взрыва [21]. В 1960 г. А. Пензиаса пригласили на работу в Лабораторию радиоисследований, входящую в компанию Bell Labs. В 1957 г. Р. Вильсон начал аспирантскую работу в Калифорнийском технологическом институте (Калтехе). В 1962 г. он защитил докторскую диссертацию и провёл следую-

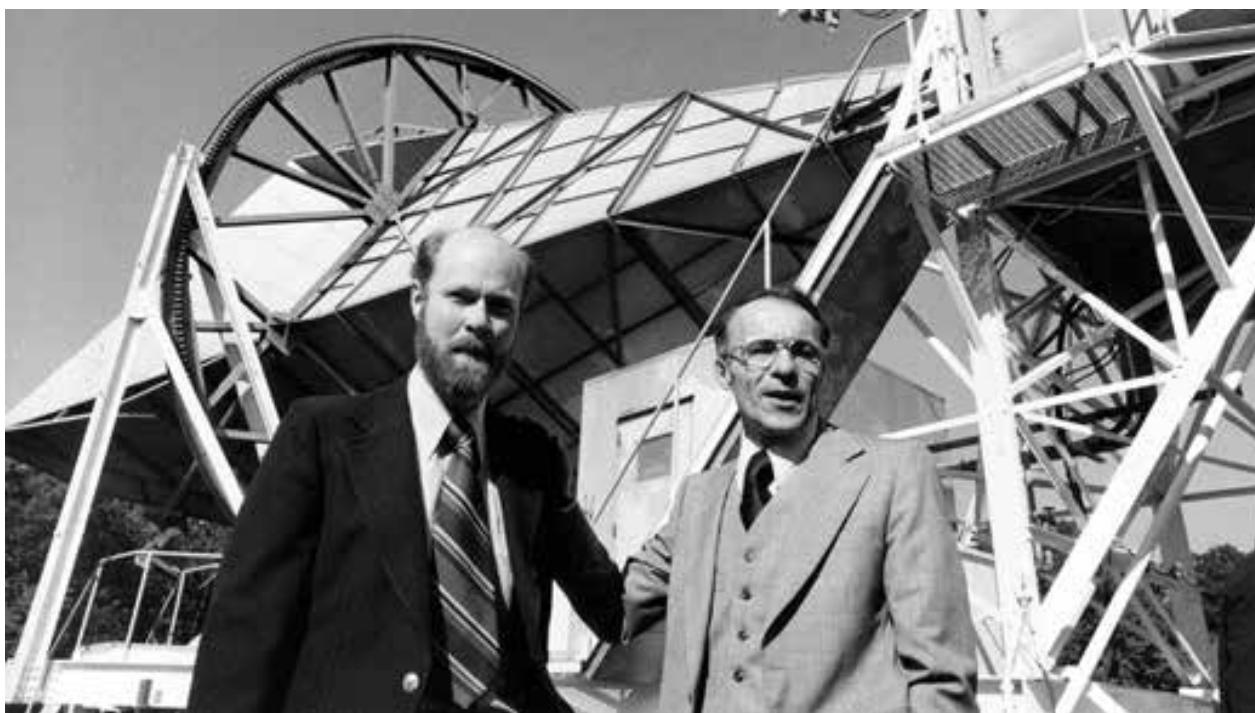


Рис. 7. Р. Вильсон и А. Пензиас на фоне антенны, с помощью которой было открыто реликтовое излучение

щий год в Калтехе, а потом поступил на работу в Bell Labs. Здесь он работал в содружестве с А. Пензиасом.

В 1960 г. в Кроуфорд-Хилле (Холмдел, шт. Нью-Джерси, США) была построена антенна для приёма радиосигналов, отражённых от спутника «Эхо». К 1963 г. для работы со спутником эта антенна была уже не нужна, и А. Пензиас и Р. Вильсон решили использовать её для радиоастрономических наблюдений. В первую очередь предполагалось провести измерения радиоизлучения межзвёздной среды нашей Галактики на длине волны 7,35 см. При этом А. Пензиас и Р. Вильсон не знали о теории горячей Вселенной и не собирались искать реликтовое излучение. В 1964 г. они обнаружили, что устройство принимает на длине волны 7,35 см заметное количество микроволнового шума, не зависящего от направления. А. Пензиас и Р. Вильсон нашли, что этот «статический фон» не меняется в зависимости от времени суток, а позднее обнаружили, что он не зависит и от времени года.

Когда все источники помех были тщательно проанализированы и учтены, А. Пензиас и Р. Вильсон вынуждены были сделать вывод, что излучение приходит из космоса, причём со всех сторон и с одинаковой интенсивностью. Оказалось, что космическое пространство излучает так, как если бы оно было нагрето до температуры, лежащей в пределах от 2,5 до 4,5 К.

Так было сделано замечательное открытие, доказывающее, что Вселенная в начале расширения была горячей. В 1978 г. А. Пензиас и Р. Вильсон разделили половину Нобелевской премии по физике «за открытие космического микроволнового фонового излучения». Вторую половину премии получил П. Л. Капица «за базовые исследования и открытия в физике низких температур».

Дальнейшие исследования А. Пензиаса и Р. Вильсона оказались весьма удачными. В сотрудничестве с физиком-атомщиком из компании Bell Labs К. Джеффертсом ими был сконструирован приёмник, способный детектировать излучение с длиной волны ~ 1 мм. В 1970 г. они присоединили свой приёмник к вновь построенному в национальной радиоастрономической лаборатории в Китт-Пике 36-футовому радиотелескопу. Направив его на туманность Ориона, исследователи обнаружили спектральную линию окиси углерода. В результате последующих исследований были выявлены ещё шесть межзвёздных молекул.

В 1979 г. А. Пензиас был назначен директором-распорядителем лаборатории радиоисследований, а в 1981 г. – вице-президентом по исследовательской работе всей компании Bell Labs. Таким образом, вся жизнь учёного связана с этой организацией.

В настоящее время Р. Вильсон является старшим научным сотрудником Смитсоновской астрофизической обсерватории, объединённой с Гарвардской университетской обсерваторией. Он, в частности, проводит радиоастрономические исследования с помощью радиоинтерферометра SMA (Submillimeter Array — «Субмиллиметровая решетка», Мауна Кеа, Гавайи), работающего в терагерцовом диапазоне.

Ещё одна Нобелевская премия, имеющая непосредственное отношение к Bell Labs, была вручена в 1997 г. Одним из её лауреатов стал американский

физик китайского происхождения Стивен Чу (р. 1948) (рис. 8) [22]. До 1978 г. он преподавал в Калифорнийском университете, где ему предложили пост ассистента профессора. Однако С. Чу отказался и перешёл на работу в компанию Bell Labs. С 1983 г. он в качестве главы отделения квантовой электроники работал в команде, занимавшейся вопросами лазерного охлаждения и улавливания атомов с использованием лазерных технологий.

В экспериментах С. Чу и его сотрудники использовали шесть пучков лазерного излучения, разбитых на встречные пары и расположенных в трёх перпендикулярных друг другу направлениях. Частицы из пучка атомов натрия в вакууме были сначала остановлены встречным лазерным пучком и затем введены в область пересечения шести пучков. Это привело к тому, что в каком бы направлении ни двигались атомы натрия, их встречали фотоны с нужной энергией и переводили обратно в область пространства, где пересекались шесть лазерных пучков. При этом атомы испытывали замедление при любом направлении движения. Можно сказать, что они находились в «вязкой» оптической среде – так называемой «оптической патоке», содержащей около 1 млн холодных атомов. Группе С. Чу удалось достичь охлаждения атомов до температуры 240 мкК и скорости их движения около 20–30 см/с.

В 1997 г. Нобелевский комитет присудил премию С. Чу, У. Филлипсу и К. Коэн-Таннуджи «за развитие методов охлаждения и пленения атомов с помощью лазерного света». Благодаря виртуозным экспериментам их исследовательских групп, удалось получить значения температур лишь на несколько миллионных долей градуса выше абсолютного нуля.

В 2004 г. С. Чу был назначен директором Национальной лаборатории имени Лоуренса в Беркли. В 2009 г. он стал министром энергетики США в администрации президента Б. Обамы. Однако С. Чу не остался в администрации на второй срок Обамы и подал в отставку 22 апреля 2013 г.

Расскажем о ещё одном значительном достижении сотрудников Bell Labs. В 1982 г. ими в двумерном электронном газе был открыт дробный квантовый эффект Холла. За этот результат Хорст Штермер (р. 1949) (рис. 9), Роберт Лафлин (р. 1950) (рис. 10) и Дэниел Цуи (р. 1939) (рис. 11) получили Нобелевскую премию по физике в 1998 г. [23]

Немецкий физик Х. Штермер начал работать в Bell Labs в 1978 г., в 1983 г. он стал заведующим кафедрой «Электронные и оптические свойства твёрдых тел» Колумбийского университета (в настоящее время почётный профессор) и продолжил вести научную деятельность. В 1994 г. Х. Штермер стал директором лаборатории физических исследований, возглавив коллектив, состоящий из примерно 100 исследователей в восьми отделах в Bell Labs. Американский физик ки-



Рис. 8. С. Чу

тайского происхождения Д. Цуи в 1967 г. получил докторскую степень в Чикагском университете. Спустя год после этого он начал работу в Bell Labs. Д. Цуи оставался её сотрудником до 1982 г., когда стал профессором электротехники Принстонского университета.

В том же году в результате исследования полупроводниковых гетероструктур в сильных магнитных полях при сверхнизких температурах был обнаружен дробный квантовый эффект Холла. Коллектив учёных Bell Labs, в который входил Д. Цуи, обнаружил, что в тонкой двумерной пленке при низкой температуре под воздействием магнитных полей электроны могут образовать квазичастицы с дробным значением заряда $-1/3e$, $1/5e$, $1/7e$. Дробный квантовый эффект Холла был получен в структуре GaAs/AlGaAs, выращенной по оригинальной технологии, изобретённой в Bell Labs – MBE («Molecular-beam epitaxy» – «Молекулярно-пучковая эпитаксия»). Она позволяет формировать кристалл последовательно по слоям толщиной в один атом.

Природа дробного квантового эффекта Холла была объяснена американским физиком Р. Лафлином. Он окончил Калифорнийский университет в Беркли, получил докторскую степень в Массачусетском технологическом институте. В 1976–1978 гг. Р. Лафлин работал в компании IBM, а с 1982 г. – в Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса. В 1985–2004 гг. и с 2006 г. Р. Лафлин – профессор Стэнфордского университета. В 1983 г. он ввёл в научный оборот понятие коллективной волновой функции электронного газа (функция Лафлина) для объяснения дробного квантового эффекта Холла. При этом Р. Лафлин составил уравнения для его описания, предложил возможный механизм высокотемпературной сверхпроводимости с помощью частиц с дробной статистикой.

Нобелевская премия по физике 1998 г. была присуждена Х. Штермеру, Д. Цуи и Р. Лафлину «за открытие нового типа квантовой жидкости, в которой возбуждённые состояния имеют дробный электрический заряд — дробного квантового эффекта Холла».



Рис. 9. Х. Штермер



Рис. 10. Р. Лафлин



Рис. 11. Д. Цуи

В 1969 году сотрудники Bell Labs американские учёные Уиллард Бойл (1924–2011) и Джордж Смит (р. 1930) (рис. 12) стали лауреатами Нобелевской премии по физике 2009 г. «за разработку оптических полупроводниковых сенсоров — ПЗС-матриц» [21]. Такие устройства позволяют, минуя фотоплёнку, получать цифровые фотографии. Ещё одним лауреатом Нобелевской премии по физике 2009 г. стал американский физик китайского происхождения Чарльз Као (1933–2018), который стоял у истоков оптоволоконной технологии передачи данных.

У. Бойл начал работать в Bell Labs в 1953 г., где спустя 9 лет совместно с Д. Нельсоном изобрёл непрерывно работающий рубиновый лазер. В 1962 г. У. Бойл стал директором отдела космических исследований фирмы Bellcomm (филиала Bell Labs). В 1964 г. он вернулся в Bell Labs и занялся разработкой интегральных схем. Дж. Смит работал в Bell Labs с 1959 по 1986 гг. В течение этого периода времени он занимался исследованиями новых типов лазеров и полупроводниковых устройств, получил десятки патентов, возглавлял подразделение по разработке сверхбольших интегральных схем.

Работая в Bell Labs, У. Бойл и Дж. Смит получили задание разработать эффективное полупроводниковое устройство для записи и считывания информации. 17 октября 1969 г. они буквально в течение часа набросали на доске прототип требуемого устройства (ПЗС-матрицы). ПЗС-матрица состоит из поликремния, отделённого от кремниевой подложки, у которой при подаче напряжения через поликремниевые затворы изменяются электрические потенциалы вблизи электродов. До экспонирования – обычно подачей определённой комбинации напряжений на электроды – осуществляются сброс всех ранее образовавшихся зарядов и приведение всех элементов в одинаковое состояние.



Рис. 12. У. Бойл и Дж. Смит (1974 г.)

Далее комбинация напряжений на электродах создаёт потенциальную яму, в которой могут накапливаться электроны, образовавшиеся в данном пикселе матрицы в результате воздействия света при экспонировании. Чем интенсивнее световой поток во время экспозиции, тем больше накапливается электронов в потенциальной яме, соответственно, тем выше итоговый заряд данного пикселя. После экспонирования последовательные изменения напряжения на электродах формируют в каждом пикселе и рядом с ним распределение потенциалов, которое приводит к перетеканию заряда в заданном направлении, к выходным элементам матрицы.

ПЗС-матрицы давно применяют в компактных цифровых фото- и видеокамерах. Миниатюрные размеры ПЗС-матриц привели к революции в медицине, поскольку резко расширили как диагностические, так и оперативные возможности врача. Кроме того, ПЗС-матрицы широко используют не только для детектирования оптического излучения, но и в других диапазонах электромагнитных волн, в частности в цифровых рентгеновских установках с малыми дозами излучения. На основе ПЗС функционируют вершинные детекторы для регистрации элементарных частиц. ПЗС-матрицы работают во всех современных наземных и космических телескопах.

Отметим, что сотрудником Bell Labs был ещё один будущий лауреат Нобелевской премии – Артур Леонард Шавлов (1921–1999) (рис. 13). Основные результаты учёного получены в области микроволновой и оптической спектроскопии, квантовой электроники, лазерной спектроскопии. В 1958 г. совместно с Ч. Таунсом он предложил принцип работы лазера и, независимо от А. М. Прохорова и Р. Дикке, идею использования интерферометра Фабри-Перо в качестве резонатора в лазерах видимого и инфракрасного диапазонов. В 1959 г. А. Шавлов выдвинул идею использования кристалла искусственного рубина как рабочего вещества лазера.

После создания достаточно мощных лазеров видимого диапазона сотрудники Стэнфордского университета А. Шавлов и Т. Хэнш разработали несколько эффективных способов, позволяющих преодолеть доплеровское



Рис. 13. А. Шавлов

уширение спектральных линий [22]. В ходе экспериментов исследователям удалось получить спектры поглощения, испущенные атомами, скорость которых не содержит компоненты, параллельной лазерному пучку. Такие атомы не приближаются к источнику излучения и не удаляются от него, поэтому эффект Доплера полностью исключается.

В 1972 г. А. Шавлов и его сотрудники получили первые оптические спектры атомарного водорода, на которых не сказывался эффект Доплера. Это позволило с недостижимой ранее точностью измерить постоянную Ридберга – одну из наиболее важных констант в физике. В 1981 г. А. Шавлов вместе с Н. Бломбергенем был удостоен Нобелевской премии по физике «за вклад в раз-

витие лазерной спектроскопии». Присуждение этой премии свидетельствует о ведущей роли спектроскопии в изучении механизмов излучения и поглощения атомами электромагнитного излучения.

Ещё один учёный, работавший в Bell Labs, американский физик Эрик Бетциг (р. 1960) (рис. 14) получил Нобелевскую премию по химии в 2014 г. за «развитие флуоресцентной микроскопии высокого разрешения» совместно с немецким физиком Штефаном Хеллем (р. 1962) и американским учёным Уильямом Мёрнером (р. 1953). С 1988 по 1996 гг. Э. Бетциг работал в компании Bell Labs и на станкостроительном заводе своего отца, а затем в одиночку разрабатывал новые технологии микроскопии.

Флуоресцентные микроскопы – это следующее поколение микроскопов после оптических (где увеличение осуществляется системой из линз) и электронных (где используются пучок электронов и специальные магнитные линзы). В данном случае применяется метод получения увеличенного изображения с



Рис. 14. Э. Бетциг

использованием люминесценции возбуждённых атомов и молекул образца. Благодаря открытиям нобелевских лауреатов по химии 2014 г., появилась возможность наблюдать биохимические процессы, происходящие на внутриклеточном уровне (передвижение макромолекул в живых клетках, движение белков). В частности, можно наблюдать синапсы (места соединения нейронов головного мозга), отслеживать движение белков, связанных с болезнями Паркинсона и Альцгеймера, наблюдать за поведением оплодотворённой яйцеклетки.

В завершение этой части статьи расскажем о Нобелевской премии по физике 2018 г. Одним из её лауреатов стал многолетний сотрудник компании Bell Labs Артур Эшкин (1922–2020) (рис. 15). С 1952 г. он начал работать в компании Bell Labs, занимаясь сначала исследованием микроволнового излучения, а затем мазерной и лазерной техникой. В 1963–1987 гг. А. Эшкин был заведующим отделом нелинейной оптики (впоследствии лазерного отдела). В 1967 г. он был переведён в другую лабораторию Bell Labs, где занялся разработкой лазерных ловушек. В 1970 г. А. Эшкин экспериментально доказал возможность удержания микроскопических частиц в сфокусированном лазерном пучке. В экспериментах он перемещал частицы диаметром 1 мкм, освещая их лазерным лучом. При этом А. Эшкин обнаружил, что частицы под действием светового давления смещались к середине луча.



Рис. 15. А. Эшкин

Как известно, любая замкнутая система стремится перейти в состояние с минимальной потенциальной энергией. В рассматриваемом случае минимальная потенциальная энергия достигается в точке с максимальной напряжённостью электрического поля, т. е. в фокусе лазерного луча. Фокус лазерного пучка будет устойчивым положением равновесия и будет создавать для частиц потенциальную яму. При любом отклонении от её центра будет возникать сила, возвращающая частицы в область с наибольшей интенсивностью света – в фокус лазерного пучка. Так была создана световая ловушка (или оптический пинцет).

При проведении первых исследований А. Эшкин столкнулся с рядом трудностей. Эффективному захватыванию частиц в световую ловушку мешали два фактора. Во-первых, тепловые колебания атомов, а, во-вторых, низкая мощность лазеров, имевшихся в то время. Решить обе проблемы удалось в 1986 г., когда технологию оптического пинцета совместили с методами лазерного охлаждения и удержания атомов. Идеи А. Эшкина были развиты и применены его коллегой С. Чу для охлаждения и удержания атомов до температур порядка микро- и нанокельвинов (см. выше).

А. Эшкин и его коллеги применили оптический пинцет для исследования биологических систем. С помощью оптической ловушки на основе инфракрасного лазера им удалось захватывать, удерживать и перемещать в пространстве вирусы, одиночные клетки, органеллы в живых клетках водорослей. При этом захваченные в оптическую ловушку клетки продолжали делиться. Это свидетельствовало об отсутствии повреждающего воздействия инфракрасного лазерного излучения на биологические объекты. В 2018 г. А. Эшкин получил Нобелевскую премию по физике за «изобретение оптических пинцетов и применение их для изучения биологических систем». Любопытно, что за месяц до присуждения этой премии ему исполнилось 96 лет. Тем самым он оказался на данный момент самым старым из обладателей этой награды за всю историю её присуждения.

О НЕКОТОРЫХ ДРУГИХ НАУЧНЫХ НАГРАДАХ, ПРИСУЖДЁННЫХ СОТРУДНИКАМ BELL LABS

Судить о научных успехах Bell Labs проще всего по анализу тех Нобелевских премий, которые в разные годы присуждались сотрудникам этой компании. Однако такой подход не полностью охватывает научные достижения Bell Labs. Конечно, написать обо всех наградах сотрудников этой компании в одной статье невозможно. Но некоторые впечатляющие научно-технические результаты стоит упомянуть. По ряду причин они не были удостоены Нобелевской премии. Часто это происходило из-за сугубо математического характера полученных результатов.

Премия Тьюринга (рис. 16) – самая престижная награда в области информатики, вручаемая Ассоциацией вычислительной техники за выдающийся научно-технический вклад в этой области. Данная премия часто рассматрива-

ется как аналог Нобелевской премии в области информатики и вычислительной техники. Впервые премия Тьюринга была присуждена в 1966 г.

В 1968 г. лауреатом премии Тьюринга стал американский математик Ричард Уэсли Хэмминг (1915–1998) за исследования численных методов, систем автоматического кодирования, методов обнаружения и исправления ошибок в кодированной информации.

В период с 1946 по 1976 гг. он был сотрудником Bell Labs и работал вместе с К. Шенноном. В честь Р. Хэмминга IEEE учредил медаль, которой награждают учёных, внёсших значительный вклад в теорию информации (медаль Ричарда Хэмминга).

В 1983 г. лауреатами премии Тьюринга стали сотрудники Bell Labs Деннис Ритчи (1941–2011)⁶ и Кен Томпсон (р. 1943) за разработку общей теории операционных систем и, в частности, за создание UNIX [24]. Изобретение Д. Ритчи языка программирования С и его роль в разработке операционной системы UNIX вместе с К. Томпсоном сделали его пионером современной вычислительной техники.

В настоящее время язык программирования С используется для написания различных приложений и операционных систем, создания современных языков программирования. Разработка системы UNIX оказала значительное влияние на развитие компьютерных операционных систем.

Ещё одним сотрудником Bell Labs, удостоенным премии Тьюринга, является американский учёный в области теории вычислительных систем Роберт Тарьян (р. 1948). Он является автором алгоритмов решения задач в теории графов и дискретной математике. Р. Тарьян работал в Bell Labs в период 1980–1989 гг. Премию Тьюринга он получил совместно с другим американским учёным Джоном Хопкрофтом (р. 1939) за развитие методов конструирования и анализа алгоритмов и структур данных.

Обсудим ещё две престижные научные награды, лауреатами которых в разное время становились сотрудники корпорации Bell Labs. Начнём с *Национальной медали США в области технологий и инноваций*. Она является высшей американской наградой за вклад в технологический прогресс. Медаль может вручаться конкретному человеку, группе людей (не более 4 человек), компании или отделу компании. Она присуждается президентом США только американским гражданам и американским компаниям.

Дизайн медали (рис. 17) был разработан скульптором и дизайнером М. Кауфманом. На её лицевой стороне изображён «технолог-волшебник»,



Рис. 16. Премия Тьюринга

⁶ Совместно с Д. Ритчи канадский учёный в области компьютерных технологий Брайан Уилсон Керниган (р. 1942) опубликовал ставшее настольным для программистов руководство «Язык программирования Си» (1978), выдержавшее в США уже 34 издания.



Рис. 17. Национальная медаль США в области технологий и инноваций

на ладонь которого падает луч света и отражается от неё, что символизирует «вход» и «выход» технологии и инновационного процесса. На обратной стороне медали показан американский орёл, а вокруг выгравированы слова «AWARDED BY THE PRESIDENT OF THE UNITED STATES OF AMERICA TO», за которыми следует имя лауреата.

Учёные и инженеры компании Bell Labs неоднократно становились лауреатами этой премии. Их число достаточно велико, поэтому информацию о награждённых сотрудниках удобно представить в виде таблицы 1.

Таблица 1

Сотрудники Bell Labs – лауреаты Национальной медали США в области технологий и инноваций

Лауреаты	Формулировка	Год присуждения
Bell Labs	За многолетний вклад в развитие современных систем связи (Bell Labs стала первой организацией, удостоенной этой награды)	1985
Джон Салливан Майо	За руководство работой по преобразованию национальной коммутируемой аналоговой телефонной сети в цифровую	1990
Уолтер Линкольн Хокинс	За исследования, приведшие к созданию долговечных пластиковых покрытий для кабелей связи, что позволило телефонным компаниям по всему миру сэкономить миллиарды долларов	1992
Амос Эдвард Джоэл-мл.	За основополагающую роль в создании электронной системы коммутации и других связанных с ней коммуникационных технологий. (В частности, он разработал технологию, позволяющую поддерживать разговор, переезжая из одной области в другую)	1993
Ричард Френкель и Джоэл Энгель	За вклад в теорию, проектирование и разработку систем сотовой связи	1994
Деннис Ритчи и Кен Томпсон	За разработку операционной системы UNIX и языка программирования C	1998
Арун Нетравали	За лидерство в области систем связи и новаторский вклад в преобразование аналогового телевидения в цифровое	2001
Альфред Чо	За изобретение молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) и превращение этой технологии в современный инструмент для создания электронных и фотонных устройств	2005
Джеймс Эдвард Уэст	За совместное изобретение электретного микрофона в 1962 г. В 90% микрофонов, ежегодно выпускаемых (около 2 млрд) и используемых в телефонах, слуховых аппаратах, видеокамерах и мультимедийных компьютерах, используется электретная технология	2006
Хервиг Когельник	За пионерские исследования в области лазерной физики, оптоэлектроники, интегральной оптики и оптической связи	2006
Майкл Томпсетт	За пионерские работы в области электронных технологий и технологий производства материалов, включая создание первого устройства на основе ПЗС-матрицы	2010



Рис. 18. Медаль почета IEEE

Расскажем теперь о *медали почета IEEE* – награде, которая вручается Институтом инженеров электротехники и электроники за выдающийся вклад в электронику и электротехнику. Медаль присуждается ежегодно с 1919 г. и только одному человеку. Награда была учреждена в 1917 г. и первоначально называлась Золотой медалью. Своё современное название получила в 1963 г., когда Институт радиоинженеров был объединён с Американским институтом электротехников.

Дизайн медали (рис. 18) был разработан американским скульптором Э. Сенфордом. На её аверсе размещены аллегорические фигуры, изображающие взаимосвязанные силы электричества и магнетизма, а снизу и сверху выгравирована надпись «Институт радиоинженеров». На реверсе медали в лавровом венке помещена надпись: «За достижения в области радиосвязи» (“In Recognition of Distinguished Service In Radio Communication”) с указанием имени награждённого учёного и даты вручения награды.

Каждому лауреату вручается Золотая медаль, её бронзовая копия, сертификат и денежная премия. Если номинант не является членом IEEE и в течение года не станет им, то совет директоров института рекомендует его вступление в эту организацию.

Учёные и инженеры компании Bell Labs часто становились лауреатами этой престижной премии. Представим информацию о награждённых сотрудниках в виде таблицы 2.

Таблица 2

Сотрудники Bell Labs – лауреаты медали почета IEEE

Лауреаты	Формулировка	Год присуждения
Джон Стоун-Стоун	За пионерский вклад в развитие радиосвязи	1923
Гринлиф Уиттер Пиккард	За вклад в развитие области кристаллических детекторов, рачных антенн, исследования распространения радиоволн и влияния на них атмосферных помех	1926
Джордж Эшли Кэмпбелл	За работы по теории электрических сетей (в частности, развитие и применение количественных математических методов к проблемам дальней телеграфии и телефонии)	1936
Ллойд Эспеншильд	За его достижения как инженера, изобретателя и пионера в области радиотелефонии, за ценный вклад в успешное развитие международной радиосвязи	1940
Ральф Винтон Лайон Хартли	За работы по созданию генератора на основе триода (генератора Хартли) и теории передачи информации (в частности, он вывел формулу, определяющую количество информации, которая содержится в сообщении длины n – формулу Хартли)	1946
Ральф Браун	За крупный вклад в развитие радиосвязи, обеспечение и укрепление ведущих позиций Института радиоинженеров	1949
Гарольд Трап Фриис	За выдающийся технический вклад в расширение радиочастотного спектра радиочастот, вдохновение и поддержку молодых радиоинженеров	1955
Гарри Найквист	За фундаментальный вклад в теорию теплового шума, передачи данных, использование отрицательной обратной связи в усилителях	1960
Джордж Кларк Саутворт	За пионерский вклад в СВЧ-радиофизику, радиоастрономию и распространение радиоволн	1963
Клод Элвуд Шеннон	За разработку математической теории информации, оказавшей значительное влияние на развитие современных систем связи	1966
Чарльз Хард Таунс	За фундаментальные работы в области квантовой электроники, которые привели к созданию мазера и лазера	1967
Джон Бардин	За основополагающий вклад в теорию проводимости твёрдых тел, изобретение транзистора и создание микроскопической теории сверхпроводимости	1971
Рудольф Компфнер	За крупный вклад в развитие радиосвязи, который состоит в разработке лампы бегущей волны и нового принципа усиления СВЧ-сигнала	1973
Джон Робинсон Пирс	За новаторские идеи и осуществление экспериментов в области спутниковой связи, а также за вклад в теорию и проектирование лампы бегущей волны и электронную оптику	1975
Генри Ирл Воган	За технический вклад в разработку первой высокопроизводительной телефонной системы с импульсно-кодовой модуляцией	1977
Уильям Брэдфорд Шокли	За изобретение плоскостного транзистора, полевого транзистора и разработку теоретических основ их действия	1980
Сидни Дарлингтон	За фундаментальные работы по фильтрации и обработке сигналов, которые привели к созданию радара с линейно-частотным импульсом	1981
Джон Уайлдер Тьюки	За вклад в разработку спектрального анализа случайных процессов и алгоритма быстрого Фурье-преобразования	1982
Пател Кумар	За фундаментальные работы в области квантовой электроники, включающие разработку лазера на углекислом газе и рамановского лазера с переворотом спина	1989

Амос Эдвард Джоэл-мл.	За фундаментальный вклад в развитие телекоммуникационных систем	1992
Альфред Чо	За основополагающий вклад в разработку технологии молекулярно-лучевой эпитаксии	1994
Хервиг Когельник	За фундаментальный вклад в развитие лазерной физики и техники, исследования в области фотоники и оптической связи	2001
Джеймс Лотон Флэнаган	За выдающийся вклад в развитие речевых технологий (работы по обработке речи и звука)	2005

В рамках одной статьи мы, конечно, не можем подробно рассмотреть все научные премии, лауреатами которых становились сотрудники Bell Labs. Читателю, интересующемуся этим вопросом, мы советуем посетить официальный сайт корпорации Bell Labs [11].

О НЕКОТОРЫХ ДРУГИХ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЯХ СОТРУДНИКОВ BELL LABS

Фурье-анализ – один из символов физики XX в. [25]. Его возможности известны давно, но математическая обработка данных была очень сложна. Даже после появления компьютеров она требовала гигантского машинного времени. Однако в 1965 г. американские математики Джеймс Кули (1926–2010) и Джон Уайлдер Тьюки (1915–2000) разработали алгоритм, известный как «быстрое Фурье-преобразование» (БПФ, или алгоритм Кули–Тьюки).

Дж. Тьюки известен как автор двух компьютерных терминов – “bit” (сокращение от “binary digit”) и “software” (программное обеспечение). В 1965 г. Дж. Тьюки вместе с Дж. Кули создали программное обеспечение (БПФ). Оно позволяет экономить время проведения расчётов за счёт уменьшения числа умножений при анализе кривой. Данный метод основан на делении кривой на большое число равномерных выборочных значений. Соответственно количество умножений снижается вдвое при таком же снижении количества точек. При этом преобразование является обратимым, причём обратный результат имеет практически ту же форму, что и при прямом решении.

Метод БПФ широко используется в различных областях науки: в теории чисел, физике, обработке сигналов, комбинаторике, теории вероятности, криптографии, статистике, оптике, акустике, геометрии и др. В рамках статьи мы не имеем возможности даже кратко описать эти применения. И всё же об одном использовании БПФ нельзя не упомянуть. Речь идёт о современном методе исследований – Фурье-спектроскопии и о Фурье-спектрометре – одной из вершин научного приборостроения XX в.

Фурье-спектрометр – спектральный прибор, в котором искомый спектр получают в два приёма: сначала регистрируется интерферограмма исследуемого излучения, а затем через её *Фурье-преобразование* вычисляют искомый спектр. Фурье-спектрометры имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными спектрометрами.

- Накопление информации во всём спектральном диапазоне за всё время сканирования.
- Отсутствие необходимости применения узких щелей для повышения разрешения, что увеличивает светосилу устройства и позволяет измерять спектры слабых источников сигнала.
- Возможность снизить шум посредством накопления и улучшить тем самым отношение сигнал/шум.

Появление Фурье-спектрометра было бы невозможным без использования БПФ.

Компания Bell Labs – место, где совершён целый ряд выдающихся изобретений, кардинально изменивших представления о целых разделах техники. Всем хорошо известна история создания первых квантовых генераторов – мазера и лазера. Но нельзя не сказать о том, как появился лазер на углекислом газе – один из первых газовых лазеров. Его создание непосредственно связано с Bell Labs, а его изобретателем считается сотрудник этой организации – американский физик индийского происхождения Пател Кумар (р. 1938). С 1961 по 1993 гг. он работал в Bell Labs: с 1970 г. – директор лаборатории электроники, с 1976 – директор лаборатории физических исследований. С 1993 г. П. Кумар – профессор Стэнфордского университета.

Работы П. Кумара посвящены квантовой и прикладной электронике (разработка и создание лазеров, лазерная технология), инфракрасной спектроскопии газов и твёрдых тел, лазерной спектроскопии, нелинейной оптике. В 1963 г. он разработал первый лазер на углекислом газе (молекулярный лазер), а в 1965 г. создал молекулярный лазер мощностью ~10 Вт и КПД 10%, что было тогда большим достижением. В 1966 г. П. Кумар сконструировал лазер повышенной мощности на смеси углекислого газа и азота. В 1970 г. он предложил для перестройки частоты лазера метод стимулированного рассеяния в полупроводнике, находящемся в магнитном поле. В настоящее время лазеры на углекислом газе используются для обработки материалов, например, резки, сварки и маркировки, а также в лазерной хирургии.

Рассказывая о выдающихся учёных и инженерах, работавших в Bell Labs, нельзя не отметить американского физика австрийского происхождения Рудольфа Компфнера (1909–1977). Главным его достижением стало изобретение в 1943 г. лампы бегущей волны (ЛБВ). Она представляет собой электровакуумный прибор, в котором для усиления СВЧ-колебаний используется длительное взаимодействие бегущей электромагнитной волны и электронного потока, движущихся в одном направлении.



Рис. 19. Статуэтка «Эмми»

Основное назначение ЛБВ – усиление колебаний СВЧ (диапазон частот: 1–300 ГГц) в приёмных и передающих устройствах. ЛБВ используют также для преобразования и умножения частоты и других целей. Особенно ценным свойством ЛБВ является их широкополосность. В этом отношении ЛБВ значительно превосходят усилительные клистроны, которые могут обеспечивать весьма высокое усиление, но имеют значительно более узкую полосу частот. В конце 1951 г. Р. Компфнер был принят на работу в Bell Labs. Вместе с Дж. Р. Пирсом они занимались развитием технологий ламп бегущей волны и ламп обратной волны, а также участвовали в разработке первых спутников связи, что послужило важной вехой в становлении новой эпохи телерадиокоммуникаций.

В заключение скажем несколько слов о влиянии, которое оказала корпорация Bell Labs на развитие американского шоу-бизнеса. И здесь мы снова обратимся к престижным премиям, которые обычно получают артисты и певцы.

Премия «Эмми» – американская телевизионная премия, которая считается телевизионным эквивалентом «Оскара» (для кино), премии «Грэмми» (для музыки) и премии «Тони» (для театра). Символом премии является статуэтка в виде ангела с крыльями, символизирующего музу искусства, которая держит в руках атом в окружении электронов (рис. 19). По замыслу авторов, дизайн статуэтки должен отражать тот факт, что телевидение – это синтез искусства, науки и технологий.

Среди различных наград «Эмми» отметим техническую премию, присуждаемую Американской телевизионной академией за выдающиеся достижения в области телевизионной индустрии. Примечательно, что компания Bell Labs была дважды удостоена этой награды: за вклад в создание формата телевидения высокой чёткости (стандарта HDTV) в 1997 г. и изобретение и развитие технологии терабитного оптоволоконного кабеля в 2016 г.

Начиная с 1959 г. Национальная академия искусства и науки звукозаписи награждает учёных и организации *премией «Грэмми»* за выдающиеся достижения в области музыки. В 2006 г. компания Bell Labs была удостоена этой награды за значительный технический вклад в развитие звукозаписи. В 2016 г. техническую премию «Грэмми» посмертно получил сотрудник Bell Labs Харви Флетчер (1884–1981) за изобретение стереофонической аппаратуры воспроизведения музыки и речи для кинофильмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

30 сентября 1996 г. от AT&T была отделена компания Lucent Technologies, куда входили ранее Bell Labs и Western Electric. 1 декабря 2006 г. Lucent Technologies в результате слияния с французской компанией Alcatel была преобразована в корпорацию Alcatel-Lucent. При этом Bell Labs стала её исследовательским центром. В 2016 г. в результате упразднения Alcatel-Lucent компания Bell Labs перешла под контроль финской компании Nokia.

В результате реорганизации и смены вектора развития новой объединённой корпорации в Bell Labs фактически прекратились фундаментальные исследования в области материаловедения и физики полупроводников. Напомним, что именно в этих научно-технических направлениях были получены прорывные результаты, принёсшие всемирную известность Bell Labs.

Теперь деятельность Nokia Bell Labs сфокусирована на таких коммерческих направлениях, как создание проводных и беспроводных сетей передачи данных, развитие нанотехнологий, разработка программного обеспечения. По мнению экспертов, «Bell Labs, вероятно, будет пользоваться базовыми разработками других исследовательских центров, финансируемых правительством или академией наук США» [26]. В настоящее время Bell Labs насчитывает около 1000 исследователей по всему миру с бюджетом около 2 млрд долларов. Значительная часть работ проводится в исследовательском центре в Нью-Джерси (США). Филиалы Bell Labs открыты во Франции, Германии, Ирландии, Индии и Китае.

Резюмируя, отметим, что за более чем 90-летний период своего существования в стенах Bell Labs были совершены выдающиеся открытия и разработаны революционные технологии. В качестве примера можно привести открытие космического радиоизлучения, что привело к рождению радиоастрономии, изобретение точечного транзистора, приборов с зарядовой связью, создание теории информации⁷, операционной системы UNIX, языков программирования C, C++ и др.

Можно смело утверждать, что без изобретений сотрудников Bell Labs в области цифровых технологий было бы невозможным возникновение современного информационного (постиндустриального) общества. Его формирование началось в США в 1970-х гг. Известный испанский социолог М. Кастельс справедливо отмечает, что в рассматриваемый период упор делался на «персонализированные технические устройства, на интерактивность, на сети, неустанный поиск новых технологических прорывов, даже когда он, казалось бы, не имел особого смысла для бизнеса, совершенно не согласовывался с осторожной традицией мира корпораций» [27, с. 29].

Именно такие технологические инновации находились и продолжают находиться в фокусе внимания Bell Labs, что позволяет считать эту компанию подлинной фабрикой по производству научно-технических инноваций.

Таким образом, перманентная успешная деятельность Bell Labs обусловлена рядом взаимосвязанных факторов. К ним можно отнести:

- интерес сотрудников этой компании к разработке новых технических устройств;
- поиск прорывных технологий, связанных с необходимостью миниатюризации электронных компонентов⁸;

⁷ В 1948 г. американский математик и инженер-электрик, сотрудник компании Bell Labs Клод Элвуд Шеннон (1916–2001) опубликовал статью «Математическая теория связи», ставшую одной из основополагающих работ в теории информации.

⁸ Во второй половине XX в. наука, промышленность, атомная энергетика, военная, ракетная и космическая отрасли потребовали существенного усложнения полупроводниковой аппаратуры и миниатюризации её элементов. В конечном счёте, это привело к созданию в конце 1950-х гг. интегральных схем, микропроцессора и других микроэлектронных устройств.

- свобода научно-технического творчества и его материально-техническая поддержка (в том числе, со стороны государства⁹).

В уже цитированной выше книге М. Кастельса описан ещё один важный фактор, который также повлиял на бурное развитие компании Bell Labs: «... технологический расцвет, который наступил в начале 1970-х, мог быть в какой-то мере соотнесен с культурой свободы, индивидуальной инновации и предпринимательства, выросших из культуры американских кампусов 1960-х годов» [27, с. 29].

В настоящее время сотрудники Nokia Bell Labs столкнулись уже с новыми, не менее амбициозными вызовами научно-технического прогресса: разработка и внедрение технологии 6G, широкое практическое использование систем ИИ, создание новых методов представления, структурирования, обработки и хранения данных, робототехнических комплексов и др. Учитывая успешный опыт проведённых ранее исследований, можно смело предположить, что сотрудники Nokia Bell Labs будут играть ведущую роль в дальнейшей цифровой революции XXI в.

В завершение уместно привести высказывание А. Белла: «Наиболее успешными становятся те, чей успех является результатом непрерывного развития» [28]. Следуя совету своего основателя, Bell Labs на протяжении практически всего XX в. перманентно демонстрировала выдающиеся результаты в различных инновационных направлениях (телефония, телекоммуникации, компьютерные и электронные системы и др.).

Для читателей, желающих узнать больше об истории компании Bell Labs и её выдающихся сотрудниках, рекомендуем познакомиться с книгой американского журналиста Дж. Гертнера «Фабрика идеи: Bell Labs и великая эпоха американских инноваций» [29].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин, В. А. История и методология физики : учебник для магистров : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по естественнонаучным направлениям и специальностям / В. А. Ильин, В. В. Кудрявцев ; Московский пед. гос. ун-т. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Юрайт, 2014. 579 с. ISBN 978-5-9916-3063-4.
2. Араго, Ф. Биографии знаменитых астрономов, физиков и геометров [в 3 т.]. Т. II, III. Ижевск: НИЦ «Регулярная хаотическая динамика», 2000. 464 с.
3. Храмов, Ю. А. Научные школы в физике / Под ред. В. Г. Барьяхтара. Киев : Наукова думка, 1987. 400 с.
4. Васильев, А. Эрнст Аббе и «Карл Цейс Йена» // Квант. 2000. № 1. С. 17–19.

⁹ Первоначально скептическое отношение многих специалистов к первым микроэлектронным устройствам (в частности, интегральным схемам – ИС) в корне изменилось благодаря двум приоритетным военным программам 1960-х гг. – подготовке полёта космического корабля «Аполлон» на Луну и разработке ракеты «Минитмен». Использование ИС в рамках данных программ убедительно показало их работоспособность и экономичность.

5. *Клавдиенко, В. П.* Финансирование научных исследований и разработок в инновационной экономике: партнёрство государства, бизнеса и университетов / В. П. Клавдиенко, А. П. Тарасов // *Финансы и кредит*. 2009. № 12. С. 2–7.
6. *Ленгмюр, И.* Исследовательские лаборатории в заводских предприятиях // *Научное слово*. 1930. № 3.
7. Лауреаты Нобелевской премии : энциклопедия [в 2 т.] / Пер. с англ., редкол.: Е. Ф. Губский (отв. ред.) и др. Москва : Прогресс, 1992. Т. 1, 775 с. Т. 2, 854 с.
8. *Кудрявцев, В. В.* Кто они, лауреаты Нобелевских премий по физике? Статистический анализ // *Преподавание физики в высшей школе*. 2006. № 32. С. 135–156.
9. *Чолаков, В.* Нобелевские премии. Учёные и открытия. Москва : Мир, 1986. 368 с.
10. The Cavendish Laboratory // University of Cambridge : [сайт]. URL: <https://www.phy.cam.ac.uk/> (дата обращения: 14.12.2020).
11. Nokia Bell Labs : [сайт]. URL: <http://www.bell-labs.com/> (дата обращения: 14.12.2020).
12. *Чачин, П.* Bell Labs: 75 лет инноваций // *ItWeek* : [сайт]. 03.10.2000. URL: <https://www.itweek.ru/infrastructure/article/detail.php?ID=55522> (дата обращения: 14.12.2020).
13. *Уилсон, М.* Американские учёные и изобретатели / Пер. с англ. В. Рамзеса ; под ред. Н. Тренивой. Москва : Знание, 1975. 143 с.
14. *Bruce, R. V.* Alexander Graham Bell and the Conquest of Solitude. London : Cornell University Press, 1990. 564 p.
15. История AT&T // *EconomicPortal* : [сайт]. URL: http://www.economicportal.ru/history_comp/att.html (дата обращения: 14.12.2020).
16. *Adams, S. B.* Manufacturing the Future: A History of Western Electric / S. B. Adams, O. R. Butler. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 270 p.
17. *Riordan, M.* Crystal Fire: The Invention of the Transistor and the Birth of the Information Age. Sloan technology series / M. Riordan, L. Hoddeson. New York – London: Norton, 1998. 352 p.
18. Избранные вопросы истории радиофизики: учебное пособие / В. В. Кудрявцев, В. А. Ильин. Т. 1. Москва : Научтехлитиздат, 2011. 276 с.
19. *Daitch V.* True Genius: The Life and Science of John Bardeen: The Only Winner of Two Nobel Prizes in Physics / V. Daitch, L. Hoddeson. Washington: Joseph Henry Press, 2002. 488 p.
20. *Ильин, В. А.* Магистральные направления физики XXI века : Физика технологий будущего для будущих физиков и инженеров. Кн. 1. Современная макрофизика / В. А. Ильин, В. В. Кудрявцев. Москва : Ленанд, сор. 2018. 448 с. ISBN 978-5-9710-5292-0.
21. *Ильин, В. А.* История радиофизики. Модульный курс для магистров : учебное пособие / В. А. Ильин, В. В. Кудрявцев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский педагогический государственный университет». Москва: МПГУ, 2017. 320 с. ISBN 978-5-4263-0482-6
22. *Ильин, В. А.* Лазерная спектроскопия и лазерное охлаждение атомов: эволюция ключевых идей и методов / В. А. Ильин, В. В. Кудрявцев, Е. Ю. Бахтина // *История науки и техники*. 2018. № 3. С. 18–30.
23. *Воронов, В. К.* Современная физика : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по техн. и естеств.-науч. специальностям / В. К. Воронов, А. В. Подоппелов. Москва : URSS, 2005. 510 с.

24. *Kernighan, B.* UNIX : A History and a Memoir. Kindle Direct Publishing, 2019. 198 p.
25. *Белл, Р. Дж.* Введение в Фурье-спектроскопию / Пер. с англ. Москва : Мир, 1975. 380 с.
26. *Попсулин, С.* Создатели транзистора и UNIX свернули разработки // CNews : [сайт]. 10.09.2008. URL: https://www.cnews.ru/news/top/sozdateli_tranzistora_i_unix_svernuli (дата обращения: 14.12.2020).
27. *Кастельс, М.* Информационная эпоха: экономика, общество и культура / Пер. с англ. под науч. ред. О. И. Шкаратана. Москва : ГУ ВШЭ, 2000. 608 с.
28. Александр Белл цитаты // Цитаты известных личностей: [сайт]. URL: <https://ru.citaty.net/avtory/aleksandr-bell/> (дата обращения: 14.12.2020).
29. *Gertner, J.* The Idea Factory: Bell Labs and the Great Age of American Innovation. New York: Penguin Press, 2012. 432 p.

Статья поступила в редакцию 16.12.2020. Принята к публикации 11.01.2021.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Кудрявцев Василий Владимирович *kudv-v@yandex.ru*

Доктор физико-математических наук, профессор, Московский педагогический государственный университет, Институт физики, технологии и информационных систем, Москва, Россия

CORPORATION BELL LABS IS A FACTORY OF SCIENTIFIC INNOVATIONS

DOI: 10.19181/smtp.2021.3.1.8

Vasily V. Kudryavtsev¹

¹ Moscow State Pedagogical University, Institute of Physics, Technology and Information Systems, Moscow, Russian Federation

Abstract. The results of scientific research and development have become the basis for the development of the economy, the most important factor in increasing its competitiveness, the foundation of modern technologies. Therefore, the problem of effective organization of scientific research and the effectiveness of their financing is extremely urgent. The study of the evolution of organizational forms of science allows us to conclude that in firms that do not have government funding, scientific research at the Nobel level is often carried out. The story

of the creation of one of these organizations, the world famous Bell Labs corporation, which is a real incubator of progressive scientific and technical ideas, is told.

Over the years, Bell Labs employees have made a number of grandiose discoveries: the detection of cosmic radio emission, the invention of a point-contact transistor, quartz clocks, charge-coupled devices, the creation of information theory, the UNIX operating system, programming languages C, C ++, etc.

Considerable attention is paid to describing the scientific and technical results of Bell Labs employees who have become Nobel, Turing, Emmy and Grammy laureates, as well as holders of the US National Medal of Technology and Innovation and the IEEE Medal of Honor. In conclusion, some other scientific achievements of Bell Labs employees that have not received the above awards are discussed. The experience of studying the history of the creation and functioning of this company can be useful when organizing innovative research centers in our country.

Keywords: organizational forms of science, Bell Labs, Nobel Prize, telephony, telecommunications, computer and electronic systems

Acknowledgements: The author expresses sincere gratitude to the professor, doctor of physics-mathematical sciences V. A. Ilyin, who took an active part in the discussion and editing of the article.

For citation: Kudryavtsev, V. V. (2021). Corporation Bell Labs is a factory of scientific innovations. *Science Management: Theory and Practice*. Vol. 3, no. 1. Pp. 136–168.

DOI: 10.19181/smtp.2021.3.1.8

REFERENCES

1. Il'in, V. A. and Kudryavtsev, V. V. (2014). *Istoriya i metodologiya fiziki: uchebnik dlya magistrrov* [History and methodology of physics: textbook for masters.]. 2th ed., rev. Moscow: Yurait publ. 579 p. (In Russ.).
2. Arago, F. (2000). *Biografi znamenitikh astronomov, fizikov i geometrov* [Biographies of famous astronomers, physicists and geometers]. Vol. II, III. Izhevsk: NITS «Regulyarnaya khaoticheskaya dinamika». 464 p. (In Russ.).
3. Khramov, Yu. A. (1987). *Nauchnye shkoly v fizike* [Scientific schools in physics]. Ed. V. G Baryakhtar. Kiev: Naukova dumka. 400 p. (In Russ.).
4. Vasiliev, A. (2000). Ernst Abbe i «Karl Tseys Yyena» [Ernst Abbe and «Carl Zeiss Jena»]. *Kvant*. Vol. 1. Pp. 17–19. (In Russ.).
5. Klavdiyenko, V. P. and Tarasov, A. P. (2009). Finansirovaniye nauchnykh issledovaniy i razrabotok v innovatsionnoy ekonomike: partnerstvo gosudarstva, biznesa i universitetov [Funding research and development in an innovative economy: partnership between government, business and universities]. *Finance and credit*. Vol. 12. Pp. 2–7. (In Russ.).
6. Lengmur, I. (1930). Issledovatel'skiye laboratorii v zavodskikh predpriyatiyakh [Factory research laboratories]. *Nauchnoe slovo*. 1930. Vol. 3. (In Russ.).
7. *Laureaty Nobelevskoy premii: entziclopedia* [The laureates of the Nobel Prize: encyclopedia]. (1992). In 2 vol. Transl. from English, ed. by Gubsky E. F. [and others]. Moscow: Progress publ. Vol. 1, 775 p., vol. 2, 854 p. (In Russ.).

8. Kudryavtsev, V. V. (2006). Kto oni, laureaty Nobelevskikh premiy po fizike? Statisticheskiy analiz [Who are the Nobel laureates in physics? Statistical analysis]. *Prepodavaniye fiziki v vysshey shkole*. Vol. 32. Pp. 135–156. (In Russ.).
9. Cholakov, V. (1986). Nobelevskiye premii. Uchenyye i otkrytiya [Nobel Prize. Scientists and discoveries]. Moscow: World publ. 368 p. (In Russ.).
10. The Cavendish Laboratory. *University of Cambridge*. URL: <https://www.phy.cam.ac.uk/> (accessed 14.12.2020).
11. *Nokia Bell Labs*. URL: <http://www.bell-labs.com/> (accessed 14.12.2020).
12. Chachin P. (2000). Bell Labs: 75 let iinovatsiy [Bell Labs: 75 years of innovation]. *ItWeek*. 03.10.2000. URL: <https://www.itweek.ru/infrastructure/article/detail.php?ID=55522> (accessed 14.12.2020). (In Russ.).
13. Wilson, M. (1975). American science and invention [Russ. ed.: Amerikanskiye uchenyye i izobretateli]. Transl. from Engl. by V. Ramzes; ed. by N. Treneva. Moscow: Knowledge publ. 143 p. (In Russ.).
14. Bruce, R. V. (1990). *Alexander Graham Bell and the Conquest of Solitude*. London: Cornell University Press. 564 p.
15. Istoriya kompanii AT&T [The history of the company AT&T]. *EconomicPortal*. URL: http://www.economicportal.ru/history_comp/att.html (accessed 14.12.2020). (In Russ.).
16. Adams, S. B. and Butler, O. R. (1999). *Manufacturing the Future: A History of Western Electric*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 270 p.
17. Riordan M. and Hoddeson L. (1998). *Crystal Fire: The Invention of the Transistor and the Birth of the Information Age*. Sloan technology series. New York-London: Norton, 1998. 352 p.
18. Kudryavtsev, V. V. and Il'in V. A. (2011). *Izbrannyye voprosy istorii radiofiziki* [The selected issues of history of radiophysics]. Vol. I. Moscow: Nauchtechlitzdat publ. 276 p. (In Russ.).
19. Daitch, V. and Hoddeson, L. (2002). *True Genius: The Life and Science of John Bardeen: The Only Winner of Two Nobel Prizes in Physics*. Washington: Joseph Henry Press. 488 p.
20. Il'in, V. A. and Kudryavtsev, V. V. (2018). *Magistral'nyye napravleniya fiziki XXI veka: fizika tekhnologiy budushchego dlya budushchikh fizikov i inzhenerov: sovremennaya makrofizika* [Main directions of physics of the XXI century: Physics of future technologies for future physicists and engineers: Modern macrophysics]. Moscow: Lenand publ. 448 p. (In Russ.).
21. Il'in, V. A. and Kudryavtsev, V. V. (2017). *Istoriya radiofiziki. Modul'nyy kurs dlya magistrrov: uchebnoye posobiye* [History of radiophysics. Modular course for masters: study guide]. Moscow: MPGU publ. 320 p. (In Russ.).
22. Il'in, V. A., Kudryavtsev, V. V. and Bakhtina, Ye. Yu. (2018). Lazernaya spektroskopiya i lazernoye okhlazhdeniye [Laser spectroscopy and laser cooling of atoms: the evolution of key ideas and methods]. *Istoriya nauki i tekhniki*. 2018. Vol. 3. Pp. 18–30. (In Russ.).
23. Voronov, V. K. and Podoplelov, A. B. (2005). *Sovremennaya fizika: uchebnoye posobiye* [Modern physics: tutorial]. Moscow: URSS publ. 510 p. (In Russ.).
24. Kernighan, B. (2019). *UNIX: A History and a Memoir*. Kindle Direct Publishing. 198 p.
25. Bell, R. (1975). Introductory transform spectroscopy [Russ. ed.: Vvedeniye v Fur'ye-spektroskopiyu]. Transl. from Engl. Moscow: World publ. 380 p. (In Russ.).
26. Popsulin, S. (2008). Sozdateli tranzistora i UNIX svernuli razrabotki [The creators of the transistor and UNIX curtailed development] *CNews*. 10.09.2008. URL: https://www.cnews.ru/news/top/sozdateli_tranzistora_i_unix_svernuli (accessed 14.12.2020). (In Russ.).

27. Kastel's, M. (2000). *Informatsionnaya epokha: ekonomika, obshchestvo i kul'tura* [Information age: economy, society and culture]. Transl. from Engl. under ed. O. I. Shkaratan. Moscow: GU HSE publ. 608 p. (In Russ.).

28. Aleksandr Bell tsitaty [Alexander Bell quotes]. *Tsitaty izvestnykh lichnostei*. URL: <https://ru.citaty.net/avtory/aleksandr-bell/> (accessed 14.12.2020). (In Russ.).

29. Gertner, J. (2012). *The Idea Factory: Bell Labs and the Great Age of American Innovation*. New York: Penguin Press, 2012. 432 p.

The article was submitted on 16.12.2020. Accepted on 11.01.2021.

INFORMATION ABOUT AUTHOR

Kudryavtsev Vasily *kudv-v@yandex.ru*

Doctor of physical and mathematical Sciences, Professor, Moscow State Pedagogical University, Institute of Physics, Technology and Information Systems, Moscow, Russian Federation