



ЦАРЕНКО Олег

професор, кандидат технічних наук,

olegtsarenko55@gmail.com

Researcher ID: [AAS-5356-2020](https://orcid.org/0000-0002-4373-8510)

<https://orcid.org/0000-0002-4373-8510>

Центральноукраїнський державний
педагогічний університет імені
Володимира Винниченка,
м. Кропивницький



РІЖНЯК Ренат

професор, доктор історичних наук

rizhnyak@gmail.com

Researcher ID: [Q-3371-2019](https://orcid.org/0000-0002-1977-9048)

<https://orcid.org/0000-0002-1977-9048>

Центральноукраїнський державний
педагогічний університет імені
Володимира Винниченка,
м. Кропивницький

ВІТЧИЗНЯНІ ФУНДАТОРИ ВАКУУМНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

В статті розкриваються результати просопографічного дослідження історії розвитку вітчизняної вакуумної електроніки. Теоретична та технологічна база електроніки формувалася впродовж тривалого періоду – від випадкових спостережень ефектів статичної електрики до використання квантових ефектів у комп'ютері. Основна мета дослідження полягає у розкритті внеску вчених-фізиків, життя та наукова діяльність яких була пов'язана з Україною, у розвиток вакуумної електроніки.

Передумовами розвитку вакуумної електроніки стали іскрові та електродугові станції, динамо-машини В.П. Вологдіна. В статті описується початковий період розвитку вакуумної електроніки – когерер О.С. Попова, діод

Д. Флемінга, катодно-променеве реле Р. фон Лібена, тріод Лі де Фореста та В. Іклза. Власне тріод і став першою підсилювальною лампою і привів до народження нової галузі науки і техніки – вакуумної електроніки. Поява перших радіоламп – електровакуумних діода та тріода – призвела до значного прогресу у розробці техніки прийому радіосигналу. Над цією проблемою працювали вчені різних країн і немалий вклад в її вирішення був зроблений вітчизняними дослідниками.

В статті наведені просопографічні матеріали про трьох фундаторів вакуумної електроніки, життя та наукова діяльність яких була пов'язана з Україною, – Леоніда Ісааковича Мандельштама, Миколи Дмитровича Папалексі та Ігоря Євгеновича Тамма. Л.І. Мандельштам створив нелінійну теорію коливань, розробив радіоінтерференційні методи визначення швидкості поширення радіохвиль та вимірювання відстаней, винайшов нові методи збудження електричних коливань у вигляді параметричних генераторів. М.Д. Папалексі займався теоретико-практичними розробками проблем радіопеленгації, електронних підсилювальних і генераторних ламп, організовував їх виробництво, дослідив та розробив нові лампові схеми для прийому й передачі сигналів. І.Є. Тамм проводив наукові дослідження в області анізотропних середовищ. Наукові розробки цих вчених та їх колективів заклали надійний фундамент виробництва вакуумних електронних приладів та їх застосування споживачами.

Ключові слова: *просопографія, вітчизняні фундатори, вакуумна електроніка, діод, тріод, підсилювальні лампи, генераторні лампи.*

THE DOMESTIC FOUNDERS OF THE VACUUM ELECTRONICS

The article reveals the results of prosopographic research of the history of the domestic vacuum electronics. The theoretical and technological basis of electronics has been formed over a long period – from the random observations of the effects of static electricity to the use of quantum effects in the computers. The main purpose of the study is to reveal the contribution of the physicists, whose life and scientific activities in the development of vacuum electronics were associated with Ukraine.

The prerequisites for the development of the vacuum electronics were spark and electric arc stations, dynamo machines of V.P. Volohdin. The article describes the initial period of development of the vacuum electronics – a coherer of O.S. Popov, diode of D. Fleming, cathode-ray relay of R. von Lieben, triode of Lee de Forrest and W. Eccles. In fact, the triode became the first amplifying lamp and led to the birth of a new branch of science and technology – Vacuum Electronics. The advent of the first radio lamps – the electrovacuum diodes and triodes – led to significant progress in the development of radio reception techniques. The scientists from different countries have worked on this problem and a significant contribution to its solution has been made by the domestic researchers.

The article presents the prosopographic materials about the three founders of the Vacuum Electronics, whose life and scientific activity were connected with Ukraine – Leonid Isaakovich Mandelstam, Mykola Dmytrovykh Papaleksi and Igor

Yevhenovych Tamm. L.I. Mandelstam created a nonlinear theory of oscillations, developed radio interference methods for determining the speed of propagation of the radio waves and measuring distances, and invented the new methods for exalation of electric oscillations in the form of parametric generators. M.D. Papaleski was engaged in theoretical and practical development of the problems of radio direction finding, electronic amplifier and generator lamps, organized their production, researched and developed thee new lamp circuits for receiving and transmitting signals. I.Ye. Tamm conducted a research in the field of anisotropic media. The scientific research of these scientists and their teams has laid a solid foundation for the production of the vacuum electronic devices and their use by the consumers.

Key words: *prosopography, domestic founders, vacuum electronics, diode, triode, amplifying lamps, generator lamps.*

Постановка проблеми. Теоретична та технологічна база електроніки формувалася поступально: людство пройшло довгий шлях від випадкових спостережень ефектів статичної електрики до використання квантових ефектів у комп'ютері. Обмежимося дослідженням внеску українських вчених у розвиток вакуумної електроніки на початку ХХ ст.

Аналіз досліджень і публікацій. Історія розвитку вітчизняної електроніки в науковій літературі викладена фрагментарно. Як фундаментальні, можна зазвати монографію Ю.О. Храмова «Історія фізики» [24] та його ж книгу «Фізики: Біографічний довідник» [23], у яких вітчизняний класик історії науки і техніки у контексті системного розкриття історії фундаментальних фізичних ідей, теорій, наукових напрямів та діяльності визначних персоналій вчених-фізиків окреслив основні напрями та внесок українських вчених у розвиток електроніки. Серед історичних джерел працею, що розкриває контекст розвитку вакуумної електроніки на теренах бувшої союзної держави, можна назвати дослідження О.Є. Малютіна та І.В. Філіпова [19]. В інших випадках історії розвитку електроніки відводилося місце перших розділів фахових монографічних видань з питань електроніки та мікроелектроніки (наприклад, в [4], [21]), або таких же перших розділів у навчально-методичних посібниках для студентів технічних спеціальностей закладів вищої освіти (наприклад, в [5], [6], [14]). В українській історіографії відсутні розвідки щодо особливостей розвитку вакуумної електроніки в Україні.

Отже, **мета дослідження** полягає у просопографічному дослідженні внеску вчених-фізиків, життя та наукова діяльність яких були пов'язані з Україною, у розвиток вакуумної електроніки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Коротко розглянемо спочатку передумови розвитку вакуумної електроніки. Як відомо з історії розвитку техніки, перші радіостанції були дуже громіздкими та недосконалими. В них для збудження радіохвиль застосовували електричну іскру, яка створювала затухаючі коливання. Тому, коли таких станцій з'явилося багато, виявився їхній великий недолік – вони дуже заважали одна одній. Крім того, «іскрові» станції були непридатними для передачі людської мови та музики. Здавалося, що радіотехніка потрапила в глухий кут. Вчені та винахідники наполегливо шукали вихід.

Замість іскрового розрядника стали застосовувати електричну дугу, а також розроблені В.П. Вологдіним спеціальні динамо-машини, що створюють змінний струм високої частоти – незгасаючі електричні коливання. Радіостанції цього типу відіграли велику роль у розвитку радіозв'язку, але вони також володіли обмеженими можливостями: радіо як і раніше служило тільки для передачі телеграм, для звукових передач воно не застосовувалося.

І ось з'явився чудовий прилад: електронна лампа, яка змогла зробити докорінні зміни в радіотехніці. Патент на винахід двохелектродної лампи або «діод Флемінга» був виданий 1904 р. Це була одна з двох чудових радіоламп, які мали величезне значення в історії радіотехніки. Винахід Д. Флемінга був заключним акордом цілої низки досліджень і замінив «капризний» когерер О.С. Попова. Використання вакуумного діода дозволило приєднати до бездротового телеграфу самопишучий прилад і чітко фіксувати радіосигнали. Конструктивно вентиль Д. Флемінга був виконаний у вигляді скляного балона, в якому тиск повітря складав 0,01 мм рт. ст., а всередині знаходилися електроди, нитка розжарення і анод [11; 16].

А вже 1906 р. став пам'ятним в радіотехніці створенням трьохелектродної електронної лампи. Причетним до цього виявився німецький фізик Р. фон Лібен

[17], який подав заявку на отримання патенту про винахід «катодного реле». Сам того не відаючи, він створив трьохелектродну лампу з однією метою – замінити ненадійні механічні реле в телефонному зв'язку на більш досконалі. Це йому вдалося – так звані «катодно-променеві реле» запрацювали на телефонних станціях. У технічній літературі аж до 30-х рр. ХХ ст. трьохелектродну лампу називали «катодним реле».

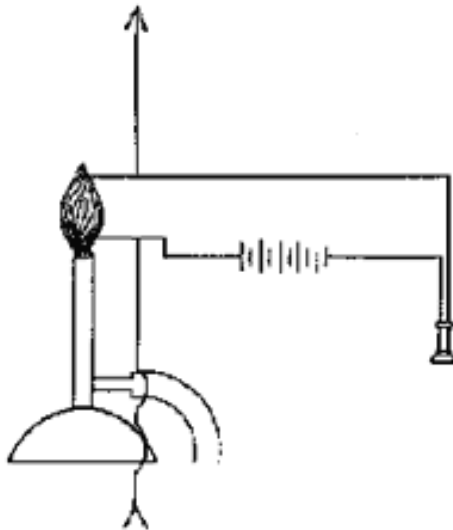


Рис. 1. Радіоприймач Лі де Фореста з бунзенівським пальником. 1903 р.

Думка про підсилювальні властивості трьохелектродної лампи прийшла Р. фон Лібену не відразу, а через кілька років після того, як американський фізик Лі де Форест запропонував конструкцію радіолампи, – аналога «бунзенівського пальника» [19]. Він виявив, що детектором можуть служити нагріті електроди, розташовані на деякій відстані один від одного. Під час експериментів у полум'я бунзенівського пальника помістили два електроди. До одного електрода була під'єднана антена, до іншого – заземлення, і паралельно до електродів – батарея з навушниками. При прийомі антеною радіохвиль в телефонах з'являвся чітко виражений сигнал. У такій незвичайній схемі нагріті електроди і батарея виконували функції детектора і підсилювача. Власне, назву «тріод» увів відомий англійський радіоінженер В. Ікклз у 1910 р.

Після винаходу трьохелектродної вакуумної лампи у всьому світі почалися пошуки кращих матеріалів для електродів та оптимального розташування їх у просторі, а також способів досягнення високого ступеня вакууму в балонах.

Власне тріод став першою підсилювальною лампою і основою для подальшого вдосконалення електронних ламп і, як закономірний підсумок, привів до народження нової галузі науки і техніки – **вакуумної електроніки**. На тріодах були зроблені перші підсилювачі електричних струмів. Завдяки їм вдалося під'єднати до радіоприймача гучномовець і прослуховувати передачі значного обсягу аудиторії, в той час як детекторний приймач дозволяв чути сигнали лише на навушники й лише при повній тиші. Перехід від детекторних приймачів до лампових став виключно важливим кроком у вдосконаленні техніки радіо. Це був стрибок у розвитку радіоприймальної техніки. Завдяки застосуванню ламп вдалося значно поліпшити всі якісні показники радіоприймальних пристроїв.

1913 р. А. Мейснер відкрив здатність тріода генерувати електромагнітні коливання [19], завдяки цьому був побудований перший ламповий радіопередавач, здатний передавати як телефонні, так і телеграфні сигнали. Під час Першої світової війни апаратура російського радіотелеграфу працювала на радіолампах, що поставлялися з Франції [10], про що мова піде далі.

Отже, поява перших радіоламп – **електровакуумних діода та тріода** –



Мандельштам Л.І.

призвела до значного прогресу у розробці техніки прийому радіосигналу. Над цією проблемою працювали вчені різних країн і немалий вклад в її вирішення був зроблений вітчизняними дослідниками.

Відзначимо тих вітчизняних вчених, які формували основу фізичних досліджень в Україні та зробили помітний вплив на становлення електронної галузі на початку ХХ ст.

Мандельштаму Леоніду Ісааковичу

(1879–1944 рр.), як вченому-фізику, належить надважливе відкриття в оптиці – явище комбінаційного розсіювання світла. Він є одним із творців нелінійної теорії коливань, винахідником радіоінтерференційних методів визначення

швидкості поширення радіохвиль та вимірювання відстаней і, таким чином, родоначальником нової науки – радіогеодезії. Він також є винахідником нових методів збудження електричних коливань – параметричних генераторів [23, с. 177]. Цей перелік заслуг вченого можна продовжувати, але чи найважливіший його внесок у вітчизняну науку – це виховання молодих науковців з різних напрямів фізики.

1898 р. Л.І. Мандельштам вступає до Страсбурзького університету, де віддається вивченню математики і фізики. Перший час він навіть більше займався математикою, ніж фізикою, і зробив на математичному семінарі ряд доповідей [10]. Разом з тим, Л.І. Мандельштам брав участь в роботах з радіотехніки відомого фізика Ф. Брауна. Молодому вченому доводилося займатися і науковими й технічними питаннями, він виступав не лише як допитливий учений, але й як винахідливий та ініціативний інженер. Фізика процесів у радіопередавачі та радіоприймачі, коли починав Л.І. Мандельштам, багато в чому залишалася неясною, не було навіть точних методів вимірювання довжин хвиль, на яких працювали перші радіопередавачі. Все це гальмувало розвиток радіо. Тому Ф. Браун запропонував Л.І. Мандельштаму в 1900 р. розробити методи вимірювання та контролю довжини хвилі електричних коливань. Робота була блискуче виконана, і в лютому 1902 р. Л.І. Мандельштам отримав ступінь доктора натуральної філософії (фізики) Страсбурзького університету [26].

1914 р., незадовго до початку світової війни, Л.І. Мандельштам був запрошений в якості приват-доцента в Новоросійський університет (м. Одеса) [10]. Продовжуючи займатися питаннями радіотехніки, Л.І. Мандельштам одночасно погодився бути науковим консультантом одного з російських радіотелеграфних заводів. У 1918 р. Л.І. Мандельштам був обраний професором фізики знову створеного Одеського політехнічного інституту. Протягом чотирьох років роботи в інституті він багато сил віддав розвитку і вдосконаленню викладання фізики і радіотехніки в цьому інституті. 1919 р. Л.І. Мандельштам стає завідувачем кафедри фізики політехнічного інституту і

«центром тяжіння» для багатьох талановитих молодих вчених, яких він активно залучав до дослідницької та викладацької роботи. Серед них – майбутні академіки М.Д. Папалексі та І.Є. Тамм [25].

З 1922 р. Л.І. Мандельштам переїхав до Москви, а потім до Ленінграду, де став працювати науковим консультантом Центральної радіолабораторії тресту заводів слабого струму. Разом з тим, 1925 р. він був обраний професором теоретичної фізики Московського університету. У 1928 р. Леонід Ісакович був обраний членом-кореспондентом, а в 1929 р. – дійсним членом (академіком) Академії наук СРСР. У 1930-х рр. активно займався створенням Фізичного інституту Академії наук СРСР.

Л.І. Мандельштам створив навколо себе співтовариство чудових учених, багато з яких стали згодом засновниками наукових шкіл у різних напрямках фізики: М.Д. Папалексі і С.М. Ритов – в радіофізиці та радіотехніці; І.Є. Тамм і М.А. Леонтович – в теоретичній фізиці; О.О. Андронов, О.А. Вітт, С.Е. Хайкін, С.П. Шубін, Г.С. Горелик – в теорії коливань; Г.С. Ландсберг – в оптиці й ультраакустиці [25; 26].



Папалексі М.Д.

Папалексі Микола Дмитрович (1880–1947 рр.), закінчивши Страсбурзький університет, деякий час працював у Фізичному інституті Страсбурзького університету як лаборант і асистент професора Ф. Брауна над різними науковими і науково-технічними проблемами електричних коливань та їх використання в радіотехніці. З 1914 р. працював

науковим консультантом в лабораторії Російського товариства бездротових телеграфів і телефонів (РТБТіТ) у Петрограді над різними питаннями радіопеленгації, електронних підсилювальних і генераторних ламп, організації їх виробництва, дослідження й розробки нових лампових схем для прийому й передачі [23, с. 206]. Саме М.Д. Папалексі у 1914 р. виготовив перші в Росії

трьохелектродні електронні лампи [3; 15; 20]. Ця лампа отримала назву «лампа Папалексі», або «газове катодне підсилювальне реле РТБТіТ». М.Д. Папалексі розробив два типи «м'яких радіоламп» (зі зниженим вакуумом, тиск 100–105 мм рт.ст.) – це радіолампи великої потужності, які мали великі габарити та призначалися для генерування і меншої потужності та габаритів, використовувалися в якості детектора або для підсилення електричних коливань. Через недосконалість високовакуумних насосів відкачки в її балоні була деяка кількість повітря з домішкою парів ртуті.



Конструкції анода, сітки і нитки розжарення перших радіоламп були подібні елементам іонної лампи Раунда з парами ртуті в балоні. Скляний балон лампи нагадував електричну лампу Т. Едісона, а конструкція цоколя лампи була запозичена від електричної лампи конструкції Дж. Свена. Для роботи лампи Папалексі потрібно 2 батареї сухих гальванічних елементів: одна напругою 4 В для нитки розжарення, а друга – анодна напругою 40-150 В.

Напруга анодної батареї вибиралося в залежності від пристрою, в якому лампа використовувалася – вона могла бути 40 В, 60 В, 80 В або 150 В [8].



Католи ламп Папалексі були прямого розжарення, виготовлялися з оксидованого платино-іридієвої дроту, анод і сітка були нікелевими. Електроди для ламп надходили в основному з-за кордону. У лабораторії заводу РТБТіТ проводилася збірка цих електродів на скляну ніжку, а відкачування зібраних ламп і їх запаювання виконувалися на заводі пустотних апаратів М.О. Федорицького. У лабораторії заводу збиралися генераторні лампи, що мали дещо більший балон,

ніж підсилювальні лампи, і анодна напруга до 2000 В. Перші генераторні лампи

віддавали корисну потужність до 10 Вт. Ці лампи використовувалися при виготовленні гетеродинних приймачів, які призначалися для прийому сигналів радіостанцій незатухаючих коливань. Через деякий час М.Д. Папалексі на заводі Федорицького виготовив перші вітчизняні генераторні лампи великої потужності до 100 Вт. За 1916-17 рр. було виготовлено 569 генераторних і понад 6000 підсилювальних ламп. При цьому вартість однієї генераторної радіолампи заводу Федорицького складала 50 руб., а підсилювальної – 30 руб. Ресурс цих ламп складав 10–11 днів, хоча деякі з них працювали місяцями [20]. Тут варто зауважити, що найбільш поширені у той час радіолампи французького виробництва коштували 200 руб. (золотом!) з гарантованим часом роботи лише 10 год.

1916 р. зразки цих ламп були передані для дрібносерійного виробництва «Першому російському заводу трубок Рентгена», який в стислі терміни освоїв виробництво радіоламп різного типу.

1915 р. при безпосередній участі М.Д. Папалексі був встановлений перший в Росії радіотелефонний зв'язок за допомогою лампових передавачів потужністю в кілька ват між Петроградом і Царським Селом (відстань 25 км).

На «лампах Папалексі» були побудовані дво- й трикаскадні підсилювачі звукової частоти, гетеродинні лампові приймачі для армії й авіації. Радіоапаратура на лампах Папалексі значно поліпшила радіозв'язок на фронті. Застосування ламп набагато підвищило чутливість радіоприймачів, що були тоді в армії.

1918 р. М.Д. Папалексі прийняв запрошення зайняти місце доцента кафедри фізики у новоорганізованому Одеському політехнічному інституті. Тут в період 1918–1922 рр. він спочатку як доцент, а потім (з 1920 р.) в якості професора, викладає різні курси й проводить заняття зі студентами з метеорології, теоретичної електротехніки та теорії коливань. Поряд з педагогічною та науковою роботою М.Д. Папалексі займався і науково-технічною діяльністю. Так, 1919 р. Одеські приватні радіотелеграфні майстерні були реорганізовані в перший в Росії Одеський державний радіотелеграфний

завод, а з літа 1920 р. науковими консультантами Одеського радіозаводу стають професор Л.І. Мандельштам і доцент М.Д. Папалексі. Того ж 1920 р. в м. Одесі з'явився молодий асистент фізики Таврійського університету Ігор Євгенович Тамм (1895–1971 рр.), який у січні 1921 р. став асистентом кафедри фізики Одеського політехнічного інституту та за рекомендацією Л.І. Мандельштама був зарахований лаборантом заводської лабораторії.

Одним із першочергових завдань, які ставились перед фізиками-ентузіастами, було відновлення рентгенівських трубок, які везли з усього півдня Росії, з Кавказу і Харкова. Однак ситуація незабаром змінилася. В цей період часу гостро стало питання про забезпечення радіолампами радіоапаратури, наявної на півдні країни, зокрема, Чорноморського флоту. Ця проблема стала предметом обговорення на одному із засідань Одеського відділення Російського товариства радіоінженерів. На засіданні були присутні викладачі та студенти Одеського політехнічного інституту, які перейнялися бажанням зайнятися розробкою і виготовленням радіоламп [1; 15]. В цей же час Одеський радіозавод отримав термінове замовлення уряду на виготовлення радіолампової апаратури. М.Д. Папалексі запропонував розгорнути роботи з відновлення французьких радіоламп, які вийшли з ладу, і виготовлення нових радіоламп в стінах Одеського політехнічного інституту. Ним безпосередньо здійснювалося керівництво всією роботою групи з урахуванням його багатого досвіду виробництва перших російських радіоламп. Група молодих дослідників приступила до реалізації проекту в умовах, коли не було коштів на придбання навіть самого примітивного обладнання. Доводилося все робити своїми руками. Необхідні матеріали бралися з підручних засобів, наприклад, вольфрам діставали з нових освітлювальних ламп. Для виготовлення скляних балонів радіоламп використовувалося скло горілчаних пляшок. Перший примітивний насос Ленгмюра (ртутний високовакуумний насос) для лабораторії, необхідний при виготовленні радіоламп, зробив на їх прохання майстерний складув. Холодильний агент для конденсаторів ртуті отримували за допомогою холодильних сумішей – льоду й солі.

Нарешті, після чотирьох місяців напруженої праці була вперше відновлена французька лампа типу R5. Через деякий час була зроблена й абсолютно нова радіолампа. Це стало початком налагодження дрібносерійного виробництва приймально-підсилювальних і генераторних радіоламп [7]. Всі лампи мали скляний балон циліндричної форми, виконаний із скла та металевий 4-х-штирьковий цоколь, на якому нанесено клеймо «Радіозавод Одеса». У цих лампах анод – нікелевий, катод – вольфрамовий.

Уже на той час М.Д. Папалексі намагається розв'язати проблему ізоляції та чистоти виробничих приміщень, що суттєво впливає на гарантований термін роботи радіоламп. Лише в середині 30-х рр. ці та інші санітарно-технологічні вимоги були об'єднані у відомому терміні – вакуумна гігієна [20].

Варто відзначити, що близько 20 років знадобилося американським фахівцям І. Лангмюру і Г. Арнольду та вітчизняним М.Д. Папалексі і М.М. Бонч-Бруєвичу й іншим дослідникам для відпрацювання технології виробництва перших електронних ламп. З 1920-х рр., з початку серійного, а потім і масового виробництва електронних ламп, для фахівців електроніки стало зрозумілим, що тільки знань електродинаміки, розроблених основоположниками, недостатньо. Потрібні були нові знання фізико-хімічних і хімічних процесів, що забезпечують відтворений процес виробництва електровакуумних приладів і стабільність їх параметрів в процесі експлуатації.

У 1922 р., на запрошення правління Електротехнічного тресту заводів слабого струму, М.Д. Папалексі переїхав до Москви, де працював науковим консультантом, брав участь у різних розробках і дослідженнях, які проводилися в лабораторіях тресту. За цей час його творчий доробок складає, частково спільно з академіком Л.І. Мандельштамом, більше 20 наукових робіт і понад 40 патентів і авторських свідоцтв на винаходи.

У вересні 1923 р. Одеський радіозавод відсвяткував своє чотириріччя, проте незабаром був ліквідований у зв'язку з централізацією виробництва радіоламп і створенням спеціалізованого Електровакуумного заводу в Петрограді.



Тамм І. Є.

Тамм Ігор Євгенович – академік АН СРСР, Нобелівський лауреат з фізики 1958 р. (спільно з П.О. Черенкова й І.М. Франком). У 1918 р. І.Є. Тамм закінчив Московський університет і був залишений для підготовки до професорського звання, але через рік він опинився в Україні: випускників направляли викладати фізику в щойно звільнених від білогвардійців містах [23, с. 258]. Тамм викладає спочатку в Таврійському

університеті в Сімферополі, потім в знаменитому Одеському політехнічному інституті [2; 3; 22]. В січні 1921 р. І.Є. Тамм був зарахований асистентом кафедри фізики Одеського політехнічного інституту. Кафедрою завідував тоді професор Л.І. Мандельштам, який досить доброзичливо прийняв І.Є. Тамма. Молодому фізику виключно пощастило протягом двох років спілкуватися з цією мудрою людиною, блискучим вченим, педагогом, який жив за правилами високої моралі. І.Є. Тамм пройшов у Л.І. Мандельштама чудову школу професійної майстерності й естетичного виховання [18]. Він завжди пам'ятав і поважав свого наставника, вважав своїм учителем у науці й житті. Саме Л.І. Мандельштам запропонував І.Є. Таммові зайнятися дослідженням в області анізотропних середовищ [2; 13]. Опубліковані результати цієї роботи отримали високу оцінку фахівців і стали точкою відліку успіхів І.Є. Тамма в фізиці.

Працюючи на кафедрі фізики Одеського політехнічного інституту, Ігор Євгенович входив до групи молодих вчених, які на базі фізичної лабораторії в так званій «вакуумній артілі» під керівництвом М.Д. Папалексі, займалися відновленням французьких радіоламп та рентгенівських трубок, а згодом розробляли вітчизняні вакуумні радіолампи [22]. Співробітники артілі отримували за роботу в день по склянці борошна [13]. Промисловий випуск ламп був налагоджений на Одеському радіотелеграфному заводі, де І.Є. Тамм також якийсь час працював.

1922 р. І.Є. Тамм приїжджає до Москви і починає працювати в Комуністичному університеті ім. Свердлова (був такий університет з 1918 по 1937 рр.). Йому повезло – він встиг пройти піврічне стажування в Німеччині (знаменитий голландський фізик П. Еренфест, познайомившись з працями І.Є. Тамма, виклопотав йому стипендію для наукової практики за кордоном). Подружився І.Є. Тамм також з П. Діраком, познайомився з А. Ейнштейном і багатьма іншими великими вченими [22].

Дуже швидко І.Є. Тамм почав повноцінну роботу в науці і вже у 1930 р. вперше висунув ідею про кванти звукових хвиль – фонони, а 1932 р. вийшла теоретична робота І.Є. Тамма, в якій передбачалося існування на поверхні кристалів особливих електронних станів, названих спочатку поверхневими, а потім «таммівськими» [9]. Це була одна з найперших теоретичних робіт в становленні науки про напівпровідники.

Значних успіхів у розробках вакуумних ламп та пристроїв того часу домоглися О.О. Чернишов, М.О. Бонч-Бруєвич та інші. Наприклад, О.О. Чернишов, який працював в лабораторії Петроградського політехнічного інституту, вперше створив радіолампу з підігрівним катодом. Згодом такий тип лампи отримав розповсюдження у багатьох країнах. М.О. Бонч-Бруєвич знайшов оригінальний вихід заміни тугоплавких металів – молібдену та танталу, які найкраще підходили для виготовлення анодів, але були дороговартісними на нікель і алюміній, запропонувавши охолоджувати аноди водою.

Надалі електронні радіотехнічні лампи постійно вдосконалювалися. Так, 1924 р. була винайдена чотирьохелектродна (з двома сітками) електронна лампа, або тетрод, у 1930 р. з'явилася п'ятиелектродна (з трьома сітками) – пентод. У ті роки були створені перші комбіновані лампи, що мали дві-три лампові системи в одному балоні та багатосіткові лампи. До 1929 р. число типів приймально-підсилювальних ламп настільки зросло, що була уведена єдина система їх найменування.

1930-ті рр. вважають тріумфом електронної лампи. Завдяки успіхам електронної техніки стали реальністю масове радіомовлення та звукове кіно, телебачення, радіолокація та радіоастрономія, ультразвукова техніка. Однак, чим більш широке застосування знаходили електронні лампи, тим гостріше починали проявлятися деякі принципові недоліки, властиві їм. Так, ще в період другої світової війни проявилася недостатня надійність військової радіоапаратури, причому основна маса відмов була пов'язана з несправністю радіоламп, а поширення радіомовних приймачів і телевізорів розкрило інший серйозний недолік радіоламп – їх низьку економічність. Розвиток електронних обчислювальних машин, що включали в себе тисячі радіоламп, висував жорсткі вимоги як до надійності та терміну служби ламп, так і до економічності живлення та їх мінімальних розмірів [1].

Ще в 1940-х рр. спостерігалось прагнення в ряді випадків перекласти деякі функції радіоламп на прилади інших класів: замість детекторних і змішувальних ламп починали застосовуватися кремнієві та германієві діоди з постійною робочою точкою, які прийшли на зміну міднозакисним випрямлячам. Кенотрони починали замінюватися селеновими випрямлячами. Це були непоодинокі випадки таких замінів – вчені та «технарі-практики» розуміли, що необхідні нові рішення. І хоча вакуумні радіолампи ще й досі використовуються в деякій техніці, однак з кінця 1940-х рр. достатньо швидкими темпами починає розвиватись напівпровідникова електроніка...

Висновки та перспективи подальших розвідок. Дослідження дозволяє логічно висновити наступне.

1. Розвиток вакуумної електроніки протягом перших 40-ка років ХХ століття став першим науково обґрунтованим та практично реалізованим історичним етапом розвитку електроніки загалом.

2. Внесок вчених-фізиків, життя та наукова діяльність яких була пов'язана з Україною, у розвиток вакуумної електроніки полягав у розв'язанні таких теоретичних та практичних проблем – створення нелінійної теорії коливань, розробка радіоінтерференційних методів визначення швидкості поширення

радіохвиль та вимірювання відстаней, винайдення нових методів збудження електричних коливальних параметричних генераторів (Л.І. Мандельштам), теоретико-практичні розробки проблем радіопеленгації, електронних підсилювальних і генераторних ламп, організація їх виробництва, дослідження й розробки нових лампових схем для прийому й передачі (М.Д. Папалескі), дослідження в області анізотропних середовищ (І.Є. Тамм). Наукові розробки цих вчених та їх колективів заклали надійний фундамент виробництва вакуумних електронних приладів та їх застосування споживачами.

3. Продовження розвідок ми бачимо у дослідженні внеску вітчизняних основоположників вчення про напівпровідники та розвитку технології напівпровідників.

Список використаних джерел та літератури

1. Бурлянд В.А. Отечественная радиотехника в датах: Краткая хронология. М.: ЦБНТИ, 1957. 126 с.
2. «Выведешь формулу – не расстреляю»: зигзаги биографии Игоря Тамма. URL: <https://strana-rosatom.ru/2020/07/10/26182/>
3. Вчені вузів Одеси. Бібліографічний довідник. Вип.1: Природничі науки. 1865–1945. ч. 4. Фізика. Астрономи. /упоряд. І.Е Рікун. Одеса: ОДНБ імені М.Горького, 2003. 174 с.
4. Гершунский Б.С. Основы электроники и микроэлектроники. Київ, Вища школа, 1989. 423 с.
5. Елементи та компоненти електронних пристроїв: підручник для студентів ВНЗ, які навчаються за напрямом «Радіоелектронні апарати». Матвійків М.Д., Вус Б.С., Матвійків О.М. Львів, Вид-во Львів. політехніки, 2015. 496 с.
6. Елементна база електронних апаратів. Частина 1. Фізичні основи електронної техніки: навчальний посібник. Філінюк М.А., Лазарєв О.О., Войцеховська О.В., Фурса С.Є. та ін. Вінниця, ВНТУ, 2015. 100 с.
7. Жежерин Г.П. Академик Николай Дмитриевич Папалекси. К 60-летию со дня рождения. *Электричество*. 1941. № 3. С. 43–44.
8. История радиосвязи в экспозиции Центрального музея связи имени А.С. Попова: Каталог (фотоальбом)/ редкол. Н.А. Борисова и др. СПб: Центральный музей связи имени А.С. Попова, 2008. 188 с.
9. Келдыш Л.В. Таммовские состояния и физика поверхности твердого тела. (К 90-летию со дня рождения И.Е. Тамма). *Природа*. 1985. № 9. С. 17–33
10. Леонид Исаакович Мандельштам. URL: <http://library.istu.edu/hoe/personalia /mandelstam.pdf>.

11. Ли де Форест. URL: <http://istorja.ru/forums/topic/1647-li-de-forest/>.
12. Малютин А.Е., Филиппов И.В. История электроники. Москва, Электронный учебник, 2006. 213 с.
13. Они оставили след в истории Одессы. URL: <http://odessa-memory.info/index.php?id=283>
14. Основи електроніки та мікропроцесорної техніки: Навчальний посібник для студентів усіх неелектротехнічних спеціальностей. Болюх В.Ф., Данько В.Г.; за ред. Данька В.Г. Київ, Освіта України, 2011. 260 с.
15. Памяти Николая Дмитриевича Папалекси. *Изв. АН СРСР. Сер. Физическая*, 1948. т. 12. № 1. С. 3–5.
16. Пестриков В. От катодной трубки – к катодному реле. URL: <https://www.computer-museum.ru/connect/triod.htm>.
17. Пестриков В.М. Внутри пустота, а какие чудеса! *Радиолюбби*. 1998. №4. С.2-3.
18. Разве можно придумать такое – Игорь Тамм в системе покоя. URL: <https://maksina.livejournal.com/805195.html>
19. Родионов В.М. Зарождение радиотехники. – М., Наука, 1985. С. 87-89.
20. Симонов Н. Несостоявшаяся информационная революция. Условия и тенденции развития в СССР электронной промышленности и средств массовой коммуникации. Часть I. 1940–1960 год. URL: <https://www.litmir.me/br/?b=586166&p=1>.
21. Стахів П.Г., Коруд В.І., Гамола О.Є. Основи електроніки з елементами мікроелектроніки. Львів, Магнолія Плюс, 2006. 225 с.
22. Фейнберг Е.Л. Игорь Евгеньевич Тамм. *Успехи физических наук*. 1995. Т.165. № 7. С. 811–828.
23. Храмов Ю.А. Физики: Биографический справочник. – К.: Наукова думка, 1977. – 512 с.
24. Храмов Ю.А. История физики / Ю.А. Храмов; НАН Украины, Центр исследований научно-технического потенциала и истории науки им. Г.М. Доброва, Укр. о-во историков науки; Ин-т гуманитар. исследований. – Киев: Феникс, 2006. – 1175 с.
25. Чачин П. 140 лет со дня рождения Леонида Исааковича Мандельштама. URL: <https://www.computer-museum.ru/articles/yubilei/2561/>
26. Чачин П. Леонид Исаакович Мандельштам. URL: <https://www.computer-museum.ru/connect/mandelsh.htm>.

References

1. Burlyand V.A. (1957). Otechestvennaya radiotekhnika v datakh: Kratkaya khronologiya [Domestic radio engineering in dates: Brief chronology]. М.: TsBNTI, 126 s. [in Russian].
2. «Vyvedesh' formulu – ne rasstrelyayu»: zigzagi biografii Igorya Tamma ["If you deduce the formula, I won't shoot": zigzags of the biography of Igor Tamm]. URL: <https://strana-rosatom.ru/2020/07/10/26182/> [in Russian].

3. (2003). Vcheni vuziv Odesy. Bibliografichniy dovidnyk. Vyp.1: Pryrodnychi nauky. 1865–1945. ch. 4. Fyzyky. Astronomy. /uporiad. I.E Rikun [Scientists of Odessa universities. Bibliographic reference book. Issue 1: Natural sciences. 1865–1945. Part 4. Physics. Astronomers. / compiler IE Rikun]. Odessa: The M. Horkiy Odessa National Scientific Library. 174 s. [in Ukrainian]

4. Gershunskiy B.S. (1989). Osnovy elektroniki i mikroelektroniki [The fundamentals of Electronics and Microelectronics]. Kyiv, Vishcha shkola. 423 s. [in Russian].

5. (2015). Elementy ta komponenty elektronnykh prystroiv: pidruchnyk dlia studentiv VNZ, yaki navchaiutsia za napriamom «Radioelektronni aparaty» [The elements and components of electronic devices: a textbook for university students studying in the field of "Electronic devices"]. Matviikiv M.D., Vus B.S., Matviikiv O.M. Lviv, Lviv Publishing House. Polytechnic. 496 s. [in Ukrainian]

6. Elementna baza elektronnykh aparativ. Chastyna 1. Fyzychni osnovy elektronnoi tekhniky: navchalnyi posibnyk [The element base of the electronic devices. Part 1. Physical foundations of electronic technology: a textbook]. Filyniuk M.A., Lazariiev O.O., Voitsekhovska O.V., Fursa S.Ye. ta in. Vinnytsia, VNTU, 2015. 100 s. [in Ukrainian]

7. Zhezherin G.P. (1941. № 3). Akademik Nikolay Dmitrievich Papaleksi. K 60-letiyu so dnya rozhdeniya [An academician Nikolai Dmitrievich Papaleksi. On the 60th anniversary of his birth]. Elektrichestvo – Electricity. S. 43–44. [in Russian].

8. (2008). Ictoriya radiosvyazi v ekspozitsii Tsentral'nogo muzeya svyazi imeni A.S. Popova: Katalog (fotoal'bom) / redkol. N.A. Borisova i dr. [History of radio communications in the exposition of the A.S. Popov Central Museum of Communications: A Catalog (photo album) / editorial board of N.A. Borisov and others]. St. Petersburg, The A.S. Popov Central Museum of Communications. 188 s. [in Russian].

9. Keldysh L.V. (1985. № 9). Tammovskie sostoyaniya i fizika poverkhnosti tverdogo tela. (K 90-letiyu so dnya rozhdeniya I.E. Tamma) [The Tamm states and solid surface physics. (To the 90th anniversary of the birth of I.Ye. Tamm)]. *Priroda*. [Nature]. S. 17–33 [in Russian].

10. Leonid Isaakovich Mandel'shtam. URL: <http://library.istu.edu/hoe/personalia/mandelstam.pdf>. [in Russian].

11. Li de Forest. URL: <http://istorja.ru/forums/topic/1647-li-de-forest/> [in Russian].

12. Malyutin A.E., Filippov I.V. (2006). Istoriya elektroniki [History of Electronics]. Moskva, Electronic textbook. 213 s. [in Russian].

13. Oni ostavili sled v istorii Odessy [They left a mark in the history of Odessa]. URL: <http://odessa-memory.info/index.php?id=283> [in Russian].

14. Boliukh V.F., Danko V.H.; red. Danka V.H. (2011). Osnovy elektroniky ta mikroprotsesornoj tekhniky: Navchalnyi posibnyk dlia studentiv usikh neelektrotekhnichnykh spetsialnostei [The fundamentals of electronics and microprocessor technology: A textbook for students of all non-electrical specialties]. Kyiv, Education of Ukraine. 260 c. [in Ukrainian].

15. (1948). Pamyati Nikolaya Dmitrievicha Papaleksi [In memory of Nikolai Dmitrievich Papaleksi]. *Izv. AN SRSR. Ser. Fizicheskaya. [Izvestiya AN SRSR. Ser. Physicali].* t. 12. № 1. S. 3–5. [in Russian].
16. Pestrikov V. Ot katodnoy trubki – k katodnomu rele [From a cathode tube to a cathode relay]. URL: <https://www.computer-museum.ru/connect/triod.htm>. [in Russian].
17. Pestrikov V.M. (1998. №4). Vnutri pustota, a kakie chudesa! [Emptiness inside, and what miracles!] *Radiokhobbi. [Radio hobby].* S. 2–3. [in Russian].
18. Razve mozhno pridumat' takoe – Igor' Tamm v sisteme pokoya [Is it possible to think of such a thing – Igor Tamm in the rest system]. URL: <https://maksina.livejournal.com/805195.html> [in Russian].
19. Rodionov V.M. (1985). Zarozhdenie radiotekhniki [The origin of radio engineering]. M., Science. S. 87–89. [in Russian].
20. Simonov N. Nesostoyavshayasya informatsionnaya revolyutsiya. Usloviya i tendentsii razvitiya v SSSR elektronnoy promyshlennosti i sredstv massovoy kommunikatsii. Chast' I. 1940–1960 god [Failed information revolution. The conditions and development trends of the electronic industry and mass media in the USSR. Part I. 1940-1960]. URL: <https://www.litmir.me/br/?b=586166&p=1> [in Russian].
21. Stakhiv P.H., Korud V.I., Hamola O.Ye. (2006). Osnovy elektroniky z elementamy mikroelektroniky [The fundamentals of electronics with elements of microelectronics]. Lviv, Magnolia Plus. 225 s. [in Ukrainian]
22. Feynberg E.L. (1995). Igor' Evgen'yevich Tamm [Igor Evgenievich Tamm]. *Uspekhi fizicheskikh nauk. [Advances in physical sciences].* T.165. № 7. S. 811–828. [in Russian].
23. Hramov Yu.A. (1977). Fiziki: Biograficheskij spravochnik [Physicists: A Biographical Reference]. K., Scientific thought. 512 s. [in Russian].
24. Hramov Yu.A. (2006). Istoriya fiziki [History of Physics]. NAN Ukrainy, Centr issledovanij nauchno-tekhnicheskogo potenciala i istorii nauki im. G.M. Dobrova, Ukr. o-vo istorikov nauki; In-t gumanit. Issledovanij [NAS of Ukraine, Center for Research of Scientific and Technical Potential and History of Science named after G.M. Dobrova, Ukrainian Society of Historians of Science; Institute for Humanitarian Studies]. K., Feniks. 1175 s. [in Russian].
25. Chachin P. 140 let so dnya rozhdeniya Leonida Isaakovicha Mandel'shtama [140th anniversary of the birth of Leonid Isaakovich Mandelstam]. URL: <https://www.computer-museum.ru/articles/yubilei/2561/> [in Russian].
26. Chachin P. Leonid Isaakovich Mandel'shtam [Leonid Isaakovich Mandelstam]. URL: <https://www.computer-museum.ru/connect/mandelsh.htm> [in Russian].

Рецензенти:

Анненкова Н.Г., д.і.н., доцент

Уткін О.І., д.і.н., професор

Надійшла до редакції 23.05.2021 р.