

І.В. КОРСУН

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
(Вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль 46027; e-mail: korsun_igor@i.ua)

УДК 539

ВНЕСОК УКРАЇНСЬКИХ НАУКОВЦІВ У РОЗВИТОК ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ

Метою статті є довести важливість робіт українських науковців для розвитку електродинаміки. Фізичні теорії електропровідності, доменної структури феромагнетиків, фотоелектрорушійної сили у напівпровідниках, мікроскопічна теорія надпровідності, ефект Шубнікова–де Гааза, магнітоакустичний резонанс, винахід електротрамваю, трансляція рухомого зображення у прямому ефірі, радіокерування об'єктами на відстані, дугове електрозварювання металів – приклади досягнень українських вчених в області електродинаміки. Більшість українських науковців створили власні наукові школи, роботи яких є визнаними у світі. Вчені займалися не лише науковою і викладацькою діяльністю, але й популяризацією науки, реформуванням системи освіти, громадською роботою.

Ключові слова: українські вчені, електродинаміка, закони електричного струму, магнетизм, електротехніка, радіотехніка.

1. Вступ

Україна є країною з високим рівнем розвитку науки. Одним із дієвих шляхів підвищення пізнаваності України у світі є поширення знань про українських вчених. Тому важливо, щоб в сучасних умовах демонструвались світовій спільноті здобутки українських науковців, виконані ними у різні історичні періоди.

У 1941 р. академік АН УРСР В.Є. Лашкарьов (1903–1974) вперше експериментально довів існування p - n -переходу [1, 2]. Це було зроблено за кілька років до опублікованих робіт вчених США Дж. Бардіна [3], В. Браттейна [4] та В. Шоклі [5]. В.Є. Лашкарьов пояснив механізм інжекції, на основі якого діють напівпровідникові діоди і транзистори. Під час Другої світової війни український вчений сконструював купроксний діод, який використовували у польових радіостанціях. На початку 50-х років минулого століття під керівництвом В.Є. Лашкарьова в Інституті фізики (ІФ) АН УРСР було налагоджено виробництво

точкових транзисторів. Сьогодні внесок українських вчених у становлення фізики напівпровідників ґрунтовно досліджено у ряді робіт [6–8]. На сторінках “Українського фізичного журналу” перекладено на англійську мову і перевидано працю В.Є. Лашкарьова [9]. Але Нобелівської премії з фізики “за дослідження напівпровідників і відкриття транзисторного ефекту” у 1956 р. були удостоєні лише американські вчені...

Важливість кожної наукової роботи визначається тим, яке значення вона мала для розвитку певної галузі науки. Виходячи з цього твердження, проаналізуємо внесок українських вчених у становлення електродинаміки і покажемо важливість наукових здобутків українських вчених для розвитку даної області фізики.

2. Закони електричного струму

У 1864 р. майбутній професор Університету імені Святого Володимира (м. Київ) М.П. Авенаріус (1835–1895) захистив магістерську роботу на тему “Про термоелектрику” [10], де сформулював закон залежності термоелектрорушійної сили від темпе-

ратури. Вченому у 1866 р. було присуджено докторський ступінь за працю “Про електричні різниці металів при різних температурах”. Авенаріус [11, 12] виходив із припущення, що існуюча між двома металами контактна різниця потенціалів e залежить від температури t згідно параболічного закону:

$$e = a + bt + ct^2, \quad (1)$$

де a , b , c – коефіцієнти

Припускаючи, що термоелектрорушійна сила зумовлена тільки контактними різницями потенціалів на двох спаях при температурах t_1 і t_2 , вчений отримав формулу:

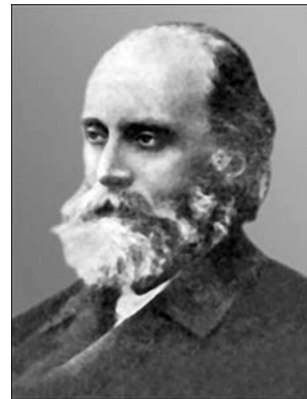
$$e = b(t_1 - t_2) + c(t_1^2 - t_2^2). \quad (2)$$

Якщо вважати, що температура $t_2 = 0^\circ\text{C}$, то (2) можна переписати:

$$e = bt_1 + ct_1^2. \quad (3)$$

Формула (3) для багатьох термоелектричних “пар” із достатньою точністю виражає закон для термоелектричної сили. У деяких іноземних підручниках закон Авенаріуса необґрунтовано називають формулою Тета [13, 14]. Сьогодні закон Авенаріуса використовують для калібрування термопар [15]. Таким чином, український вчений М.П. Авенаріус довів, що контактна різниця потенціалів є функцією від температури і було знайдено необхідні дані для обчислень числових значень різниці потенціалів для багатьох пар металів.

Майбутній ректор Імператорського Новоросійського університету (м. Одеса) Ф.Н. Шведов (1840–1905) у магістерській дисертації “Про значення непровідників в електростатиці” [16] вивчав явище нагрівання в електричній іскрі. У докторській дисертації “Про закони перетворення електрики у тепло” [17] вчений експериментально дослідив закони для обчислення кількості тепла, яке виділяється під час електричного розряду. Після захисту докторської дисертації Ф.Н. Шведов розпочав викладацьку роботу на кафедрі фізики і фізичної географії Імператорського Новоросійського університету. Вченого призначили завідуючим фізичним кабінетом, який він повністю переобладнав і розширив [18]. Ф.Н. Шведов наголошував, що фізика не може мати розвиток без експерименту, а тому започаткував лабораторні роботи, а



М.П. АВЕНАРИУС



Ф.Н. ШВЕДОВ

читання своїх лекцій супроводжував демонстрацією дослідів за допомогою заводського і саморобного обладнання. Його лекції були популярними серед студентів через простоту викладу матеріалу та оригінальність. Вчений часто виступав із науково-популярними лекціями і був відомим популяризатором науки [19]. Шведов вважав, що наука відіграє важливу роль у розвитку суспільства, а тому виступав проти формального викладання фізики у середній школі. Вчений є автором посібника з методики викладання фізики [20].

У 1885 р. український вчений М.М. Бенардос (1842–1905) отримав патент у ряді європейських країн (Франції, Бельгії, Англії, Швеції, Німеччині) на власний метод дугового електричного зварювання металів. Електрична дуга виникала між вугільним електродом та металевим предметом, який зварювався. Винахідник запропонував методи контактного точкового і повного зварювання металів. Способом Бенардоса можна було різати



М.М. БЕНАРДОС



К.К. ХРЕНОВ

метал. Вчений винайшов деякі системи автоматів для зварювання вугільними і металевими електродами. Для швидшого впровадження способу електрозварювання у промисловість Бенардос створив спеціальний тип акумуляторів для живлення електричної дуги. М.М. Бенардос вказав на можливість використання електричного зварювання під водою [21].

У 1932 р. вперше у світі К.К. Хренов (1894–1984) експериментально продемонстрував можливість стійкого горіння у воді зварювальної дуги, що дало змогу вченому розробити методи підводного електричного зварювання і різки металів [22]. Зварювання металу під водою проводилося такими самими способами як і у повітрі. Якість підводного зварювання є досить високою і практично не поступається якості зварювання у повітрі.

Під час Другої світової війни спосіб підводного електричного зварювання металів, розроблений К.К. Хреновим, широко застосовувався для ліквідації пошкоджень кораблів і підводних човнів. Це дало змогу у короткий час відновлювати їх боєздатність, оскільки судна ремонтували у відкритому морі. Вчений працював у Інституті електрозварювання АН УРСР (1945–1948), Інституті будівельної механіки АН УРСР (1948–1952), Інституті електротехніки АН УРСР (з 1952), професор Київського політехнічного інституту (1947–1958), Інституті електрозварювання АН УРСР ім. Є.О. Патона (з 1963).

У 1940 р. вчені Інституту електрозварювання АН УРСР під керівництвом Є.О. Патона (1870–1953) розробили метод швидкісного зварювання під флюсом [23]. Метод українських вчених дав змогу відмовитись від ручного зварювання і перейти до механізованого. За допомогою автоматичного зварювання під флюсом було налагоджено поточне механізоване виробництво бронекорпусів танків. Довоєнний і воєнний періоди діяльності Інституту, якому в 1945 р. було присвоєно ім'я Є.О. Патона, можна розглядати як становлення нової наукової школи (В.В. Шеверницький, О.А. Казимиров, Г.В. Раєвський, А.М. Макара, Б.Є. Патон, Б.І. Медовар, Д.М. Рабкін, І.І. Фрумін). Є.О. Патон досягнув значних успіхів у області будівництва мостів та зварювання металів. Іменем Є.О. Патона названо побудований під його керівництвом перший у світі суцільнозварний міст через Дніпро у м. Київ.

У роботах П.Г. Борзяка (1903–2000) та його співробітників, виконаних в ІФ АН УРСР, було досліджено фізичну природу різних фотокатодів. Члени-кореспонденти АН УРСР П.Г. Борзяк і Н.Д. Моргуліс разом з Б.І. Дятловицькою вперше отримали такі характеристики фотокатодів, як їх оптичні константи та глибину виходу з них фотоелектронів. П.Г. Борзяк виконав ґрунтовні дослідження явища вентильного фотоефекту при низьких температурах [24], отримавши у дослідях з катодними фотоелементами максимальне значення фотоелектрорушійної сили (0,68 В).

Вчений відкрив екситонне поглинання світла напівпровідниковими стибій-цезійовими і олов'яно-цезійовими плівками, фотоелектронну емісію, пов'язану з цими явищами. Виконав значимі роботи з електронної емісії у напівпровідниках, вперше

отримавши емісію гарячих електронів з холодних кристалів і плівок деяких напівпровідників, зробив новий тип високочутливих електронноемісійних індикаторів інфрачервоного випромінювання, так званих фотопольових катодів. П.Г. Борзяк, О.Г. Сарбей та Р.Д. Федорович відкрили (1963) явище електронної емісії в тонких диспергованих металевих плівках, яке було зареєстровано Комітетом у справах відкриттів і винаходів при Раді Міністрів СРСР як відкриття (диплом №31 від 14 грудня 1963 р.).

3. Магнетизм

Досліджуючи Курську магнітну аномалію, український винахідник М.Д. Пильчиков (1857–1908) вірно вказав на те, що магнітні аномалії зумовлені покладами залізної руди. Результати цих досліджень послугували основою для написання магістерської дисертації на тему “Матеріали до питання про місцеві аномалії земного магнетизму” [25], яку він захистив у 1887 р. у Петербурзькому університеті. Після затвердження ступеня магістра з фізики та фізичної географії М. Пильчиков був відряджений до Франції на два роки для наукового стажування, де досліджував явище електролізу [26, 27].

Д.А. Рожанський (1882–1936) є основоположником вчення про магнетизм в Україні [28]. Протягом 1911–1921 рр. вчений викладав у Харківському університеті (з 1914 р. професор і завідуючий кафедрою фізики і фізичної географії). Працюючи у Харківському університеті, Рожанський написав одну із своїх фундаментальних праць [29], у якій на високому науковому рівні виклав фізичні основи радіотехніки.

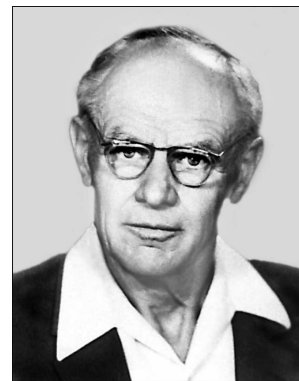
У 1911 р. Д.А. Рожанський запрошує до Харківського університету Д.С. Штейнберга (1874–1934) для розвитку науково-дослідницької роботи в університеті.

Працюючи в Харківському університеті, Д.С. Штейнберг досліджував зміну електропровідності кристалів молибдену під дією світла та створив в університеті кафедру магнітних вимірювань. Вчений виконав ряд важливих робіт із дослідження магнітних властивостей феромагнітних порошків [30, 31]. Було доведено, що коерцитивна сила збільшується із зменшенням розмірів окремих зерен.

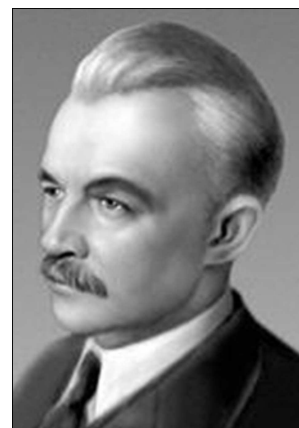
Вперше у Російській імперії Д.С. Штейнберг у фізичній лабораторії Харківського університе-



Є.О. ПАТОН



П.Г. БОРЗЯК

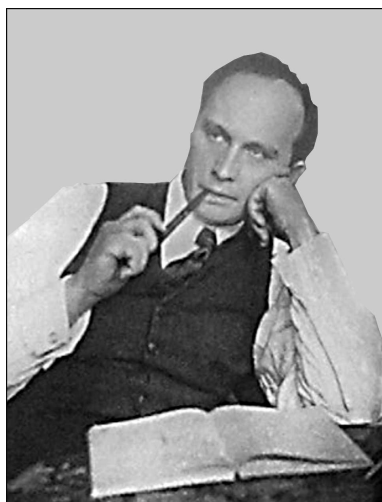


Д.А. РОЖАНСЬКИЙ

ту сконструював кишеньковий магнітометр [32]. Дію магнітометра було перевірено поблизу м. Зміїв (Харківська губернія). Результати, отримані професором Штейнбергом разом із співробітниками, широко використовувалися іншими дослідни-



Д.С. ШТЕЙНБЕРГ



Л.В. ШУБНІКОВ

ками у подальшому. У 1931 р. в Українському фізико-технічному інституті (УФТІ) під керівництвом Д.С. Штейнберга була створена перша в Україні магнітна лабораторія.

Протягом 1926–1930 років український фізик Л.В. Шубніков (1901–1937) працював у Лейденській кріогенній лабораторії (Нідерланди). Вченому вдалося отримати надзвичайно чисті монокристали бісмуту для проведення точних вимірювань електропровідності при низьких температурах у зовнішньому магнітному полі. Дослідження цього питання у той час проводилися виключно на кристалічних бісмутових зразках, отриманих із великого кристала шляхом механічної обробки. Оскільки зразки часто пошкоджувалися при механічній

обробці, то отримані результати не узгоджувалися між собою. Удосконаливши метод П.Л. Капиці вирощування монокристалів бісмуту з розплаву, Л.В. Шубнікову і нідерландському фізику В. де Гаазу вдалося отримати кристали бісмуту з малою концентрацією домішок. У 1930 р. вчені відкрили осциляції магнітоопору плівок бісмуту при низьких температурах [33]. Це є перший відкритий квантовий ефект у твердих тілах, названий пізніше ефектом Шубнікова–де Гааза. Відкриття українського вченого знайшло практичне використання, зокрема, для дослідження енергетичного спектра металів і напівпровідників [34]. Працюючи в УФТІ, Л.В. Шубніков ґрунтовно дослідив магнітні властивості надпровідників. Він експериментально відкрив явище антиферомагнетизму [35]. Життєві і творчі плани вченого перервав протиправний арешт і розстріл у 1937 р. Останні роботи Л.В. Шубнікова були опубліковані у 1938–1939 рр. без зазначення його прізвища. У своїй Нобелівській лекції з фізики А.А. Абрикосов наголосив, що саме результати Л.В. Шубнікова послугували джерелом для його натхнення [36].

У 1932 р. теоретичний відділ УФТІ очолив Л.Д. Ландау (1908–1968). Працюючи у Харкові, вчений виконав фундаментальні теоретичні роботи світового значення в області магнетизму. Досліджуючи питання залежності магнітної сприйнятливості визначеного класу речовин від величини магнітного поля при низьких температурах, Л.Д. Ландау вперше (1933) ввів поняття про антиферомагнетизм як особливу фазу магнетика, яка відрізняється від парамагнетика своєю симетрією [37]. Відомо, що Л. Неель у роботі, виконаній раніше до досліджень Ландау, передбачив існування антиферомагнетизму [38]. Ландау не був знайомий із роботою французького вченого, а Неель не передбачав, що йдеться про існування окремого стану речовини. Ідея про структуру феромагнетиків, яка складається з елементарних областей, спонтанно намагнічених у різних напрямках, була висловлена П. Вейсом ще у 1907 р. Проте не існувало підходу до кількісної теорії магнітних доменів. Саме Л.Д. Ландау і Є.М. Ліфшиць (1915–1985) показали (1937), що ця теорія має будуватися на основі термодинамічних суджень [39]. Було встановлено макроскопічне рівняння руху вектора намагніченості доменів, за допомогою якого вчені передбачили явище феромагнітного резонансу.

На кафедрі загальної фізики Харківського університету під керівництвом А.С. Мільнера виконувалися дослідження властивостей феритів із кубічною структурою і тонких магнітних плівок. Це дало змогу розробити матеріали, які використовуються у техніці високих і надвисоких частот. У середині 50-х років минулого століття Є.С. Боровик (1915–1966) організував на кафедрі загальної фізики спеціалізацію “фізика магнітних явищ” [40]. Вивчалися питання намагніченості, магнітострикції, магнітної анізотропії, обмінної взаємодії у феритах, феромагнітний і ядерний магнітний резонанси. Працюючи над докторською дисертацією на тему “Гальваномагнітні явища і властивості електронів провідності у металах”, Є.С. Боровик досліджував ефект Холла і магнітоопір металів у сильних магнітних полях. Вивчаючи електропровідність металів при великих густинах струму, вчений експериментально встановив відхилення від закону Ома [41]. Є.С. Боровик разом із А.С. Мільнером видали курс лекцій із магнетизму [42]. Пізніше цей підручник був доповнений і перевиданий [43].

У напрямку теоретичної фізики магнітних явищ значні дослідження виконав академік НАН України В.Г. Бар'яхтар. Вчений вперше описав термодинамічні властивості антиферомагнетиків у сильних магнітних полях, вивчив характер релаксійних явищ магнітного моменту в феромагнетиках і антиферомагнетиках, дослідив високочастотні властивості магнетиків, зокрема подав теорію форми лінії феромагнітного резонансу, пояснив нелінійну залежність температури надпровідного переходу під тиском від зміни топологічної структури поверхні Фермі надпровідного металу [44].

4. Електротехніка

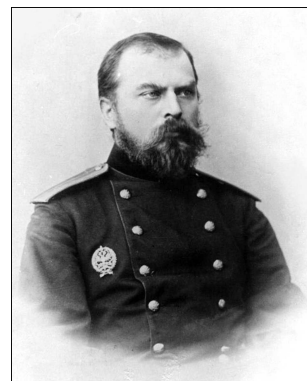
Український інженер Ф.А. Піроцький (1845–1898) є винахідником першого у світі трамваю на електричній тязі [45]. Можливість передачі електроенергії на великі відстані (до 60 км) була продемонстрована французьким інженером М. Депре у 1882 р. Ф.А. Піроцький ще у 1874 р. провів серію експериментів, які продемонстрували можливість передачі електроенергії на відстань 50 м. У наступному році інженер збільшив відстань передачі електроенергії до 1 км, що дало змогу довести можливість передачі електроенергії на значну відстань.



Є.С. БОРОВИК



В.Г. БАР'ЯХТАР

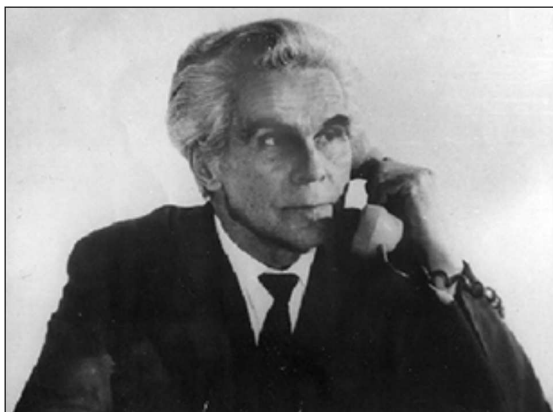


Ф.А. ПРОЦЬКИЙ

Ф.А. Піроцький прийшов до думки використати рейки існуючих залізниць для передачі електроенергії. У 1880 р. Піроцький демонстрував передачу електричного струму по рейках залізниці в Петербурзі. За допомогою постійного струму при на-



А.О. СЛУЦКІН



О.Я. УСИКОВ



Б.П. ГРАБОВСЬКИЙ

прузі 100 В вчений приводив у рух вагон, який був встановлений на рейках. Вагон першого електричного трамваю рухався із швидкістю 10–12 км/год.

У Російській імперії винахід Піроцького зазнав спротиву з боку підприємців, які вклали кошти у розвиток трамваїв на кінній тязі. Але роботи Піроцького викликали інтерес у науковому світі. Перший трамвай на електричній тязі запрацював у Берліні (1881). У Російській імперії перший електричний трамвай запрацював лише у 1892 р. (м. Київ).

Над удосконаленням конструкцій ламп розжарювання працював український вчений І.П. Пулюй (1845–1918), який створив власну технологію виготовлення ниток розжарювання. Вдосконалена нитка розжарювання дала змогу підвищити термін служби ламп і збільшити їх потужність. На цей винахід Пулюй отримав патент. У 1883 р. вченого запрошують на посаду консультанта фабрики зброї у австрійському місті Штайр, де він організовував виробництво ламп розжарювання власної конструкції. Лампи Пулюя демонструвалися на Міжнародній електротехнічній виставці у м. Штайр (1884). Іван Пулюй приймав участь у будівництві першої у Європі (м. Прага) електростанції, яка виробляла змінний струм.

5. Радіотехніка

Український вчений М.Д. Пильчиков вперше у світовій науці здійснив радіокерування об'єктами на відстані. 25 березня 1898 р. він прочитав публічну лекцію у Біржовій залі Одеси, де демонстрував дію годинника, який керувався за допомогою радіохвиль, а також дію радіосемафора і радіомаяка [46]. У своїй лекції вчений також повідомив, що ним розроблено прилад, який забезпечує таку передачу радіотелеграм, при якій вони не можуть бути отримані тільки адресатом. Нікола Тесла вперше продемонстрував дію радіокерованого човна у вересні 1898 р. Під час Другої світової війни у 1943 р. ідеї радіокерування, висунуті М. Пильчиковим, знайшли своє практичне використання при знищенні німецького штабу генерала фон Брауна в окупованому Харкові.

Професори Харківської кафедри А.О. Слуцкін (1891–1950) і Д.С. Штейнберг досліджували нові методи генерування коротких радіохвиль. Вчені вперше у світі (1924) експериментально створили магнетронний генератор коливань надвисокої

частоти [47]. Це був найефективніший на той час генератор надвисоких радіочастот, який в подальшому своєму розвитку став одним з основних елементів сучасної радіолокаційної апаратури.

Під керівництвом академіка АН УРСР А.О. Слупкіна в УФТІ (відділення електромагнітних коливань) розвивалися експериментальні та теоретичні дослідження фізичних процесів, пов'язаних із генеруванням хвиль у магнетронах [48]. Зокрема отримання і дослідження потужних коливань дециметрового діапазону за допомогою розрізних магнетронів. На основі цих досліджень в УФТІ був розроблений перший у колишньому Радянському Союзі діючий макет радіолокатора на хвилі 64 см.

Подальші дослідження отримали розвиток з 1955 р., коли на базі радіофізичних відділень УФТІ утворився Інститут радіофізики і електроніки (ІРЕ) АН УРСР. Тут під керівництвом О.Я. Усикова (1904–1995) було виконано ряд робіт, присвячених вивченню впливу на поширення радіохвиль таких характеристик середовища, як кривизна земної кулі, зміна густини і складу повітря з висотою, рельєф, коливання рослин.

Дослідження поширення радіохвиль над поверхнею розділу двох середовищ привели до відкриття радіоокеанографії – розділу океанографії, який вивчає структуру і параметри морської поверхні за випромінюванням, розсіянням та поглинанням нею радіохвиль. В ІРЕ АН УРСР також вивчалися високочастотні хвильові процеси у металах і напівпровідниках при температурах, близьких до 0 К. Для дослідження радіовипромінювання дискретних космічних джерел, Сонця і галактичного фону на декаметрових і коротших радіохвилях було розроблено спеціальну радіоастрономічну апаратуру групою вчених ІРЕ АН УРСР під керівництвом члена-кореспондента АН УРСР С.Я. Брауде (1911–2003), яка створила каталог радіозірок, карти космічного радіовипромінювання, вивчала будову ряду об'єктів Всесвіту. Було проведено ряд важливих досліджень із виявлення можливостей використання кристалів андалузита з домішками заліза у ролі активної речовини квантових парамагнітних підсилювачів.

Український винахідник Б.П. Грабовський (1901–1966) вперше у світі створив електронну систему безпроводної передачі на відстань рухомого зображення та здійснив практичну трансляцію за цією схемою. Ще у 1921–1923 рр. вчений розробив,

сконструював та виготовив електронну передавальну трубку, потім працював над вдосконаленням телеобладнання. У 1928 р. Б. Грабовський разом з М.Г. Піскуновим та В.І. Поповим отримали патент на електронне телебачення [49].

6. Висновки

Українські вчені є авторами ряду фізичних теорій. Професор Університету св. Володимира Л.Й. Кордиш розробляв теорію електропровідності, у якій електричний струм розглядався як сукупність послідовних процесів іонізації та відновлення атомів провідника. Відкриття ефекту Шубнікова–де Гааза привело до розвитку фізики осциляційних явищ в магнітному полі як кінетичних, так і термодинамічних характеристик металів, сплавів і вироджених напівпровідників різної симетрії, складу, величини і форми поверхні Фермі. Завдяки роботам Л.Д. Ландау і Є.М. Ліфшиця (УФТІ) було створено теорію доменної структури феромагнетика. Н.Д. Моргуліс (ІФ АН УРСР) побудував теорію автоелектронної емісії з напівпровідників, відкрив зростання вторинної емісії з оксидних катодів від температури, разом з П.М. Марчуком відкрив термоемісійний метод перетворення електричної енергії. В.Г. Бар'яхтар, О.І. Ахієзер, С.В. Пелетмінський відкрили явище магнітоакустичного резонансу. В.Є. Лашкарьов (ІФ АН УРСР) є автором теорії фотоелектрорушійної сили у напівпровідниках, дослідив механізми виникнення фотоелектрорушійної сили у закису міді та рекомбінації в селеніді кадмію, показав, що негентильна електроорушійна сила визначається дифузиею неосновних носіїв струму, разом із В.О. Романовим відкрив об'ємно-градієнту фотоелектрорушійну силу у германію. Перший директор Інституту теоретичної фізики АН УРСР М.М. Боголюбов побудував мікроскопічну теорію надпровідності. Є.С. Боровик (УФТІ) ґрунтовно дослідив магнітні властивості гексагональних феритів, отримав ферити з великою енергією анізотропії, великою коерцитивною силою і залишковою індукцією, вперше отримав змішані ферити з нульовою енергією анізотропії, великою початковою сприйнятливістю, дослідив поведінку електронів у металах при сильних електричних і магнітних полях, що дало змогу розробити новий метод одночасного вимірювання ефекту Холла і магнітоопору, експериментально відкрив відхилення від закону Ома у бісмуті при ве-

ликий густині струму. Завдяки роботам В.Г. Бар'яхтара, О.О. Галкіна, С.М. Ковнер, Є.П. Стефановського (Донецький фізико-технічний інститут АН УРСР) було відкрито, експериментально і теоретично вивчено проміжний стан в антиферомагнетиках. Дослідження високої електропровідності графену, виконані в Інституті теоретичної фізики ім. М. Боголюбова та Інституті металофізики ім. Г. Курдюмова, лягли в основу отримання цього нового матеріалу.

Ряд винаходів українських вчених є серед перших у світі. Винахід електротрамваю належить Ф.А. Піроцькому, трансляція у прямому ефірі рухомого зображення – Б.П. Грабовському, радіокерування об'єктами на відстані – М.Д. Пильчикову. М.П. Авенаріус розробив метод підведення змінного електричного струму для освітлення свічок Яблочкова, за що був нагороджений срібною медаллю електричної виставки під час демонстрації у Парижі. Спосіб дугового електрозварювання металів, запропонований М.М. Бенардосом, застосовується у світі для багатьох технологічних операцій: дугового заварювання, приварювання, різання, свердління, плавлення. К.К. Хренов розробив спосіб підводного електричного дугового зварювання і різки металів. Дослідження Є.О. Патона продовжили українські вчені під керівництвом його сина Б.Є. Патона у Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона, що сприяло подальшому прогресу даної галузі. Вперше у світі українські вчені розробили спеціальне обладнання для проведення зварювання у відкритому космосі, яке було успішно використане під час проведення робіт із зварювання, різання, паяння і нанесення покриттів. Результатом робіт співробітників УФТІ (А.О. Слуцкін, О.Я. Усиков, С.Я. Брауде, І.Д. Трутень, І.М. Вигдорчик, І.М. Соркін) є створення першої у СРСР радіолокаційної станції дециметрового діапазону для визначення трьох координат літака, яку успішно використовували при обороні Москви під час Другої світової війни. Засновник наукової школи з напівпровідникового матеріалознавства в Україні К.Д. Товстюк розробив нові типи акумуляторів та конденсаторів, які відрізнялися від хімічних тим, що у них заряджався увесь об'єм, а не лише поверхня. Вчені Інституту теоретичної фізики ім. М. Боголюбова працюють у галузі молекулярної електроніки, маючи на меті мініатюризувати її експериментальну базу.

Вчені займалися не лише науковою і викладацькою діяльністю, але й популяризацією науки, реформуванням системи освіти, громадською роботою. Відомо, що великий інтерес викликали як університетські, так і публічні лекції М.П. Авенаріуса і Ф.Н. Шведова. М.Д. Пильчиков читав публічні лекції у Харкові, Одесі, Херсоні, Миколаєві, Кишиневі. Вчений створив магнітно-метеорологічне відділення і метеорологічну станцію при Харківському університеті та вимірювальну фізичну лабораторію при Новоросійському університеті, власним коштом побудував першу в Україні радіостанцію, сприяв виданню книг українською мовою. В УФТІ Л.В. Шубніков заснував першу в СРСР кріогенну лабораторію. В.Є. Лашкарьов був головним редактором "Українського фізичного журналу". В.Г. Бар'яхтар брав активну участь у роботі з ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи, входячи до складу відповідних рад і груп та перебуваючи на посаді голови комісії з проблем Чорнобиля при Академії наук України.

1. В.Е. Лашкарев. Исследование запорного слоя методом термозонда. *Изв. АН СССР Сер. физ.* **5** (4–5), 442 (1941).
2. В.Е. Лашкарев, К.М. Косоногова. Влияние примесей на вентильный фотоэффект в записи меди. *Изв. АН СССР. Сер. физ.* **5** (4–5), 478 (1941).
3. J. Bardeen. Surface states and rectification at a metal semiconductor contact. *Phys. Rev.* **71**, 717 (1947).
4. W.H. Brattain. *Bell Labs Notebook* No. 18194 (AT&TArchives, Warren, NJ, 1947).
5. W. Shockley. The theory of $p - n$ junctions in semiconductors and $p - n$ junction transistors. *Bell Syst. Tech. J.* **28**, 435 (1949).
6. Б. Малиновський. Відоме і невідоме в історії інформаційних технологій. *Вісн. НАН України* **1**, 40 (2001).
7. М.В. Стріха. Сторіччя науки про напівпровідники: витоки і український внесок. *Укр. фіз. журн.* **59**, № 8, 830 (2014).
8. В.Г. Литовченко. Академік НАН України Вадим Євгенович Лашкарьов видатний фізик ХХ сторіччя, першовідкривач $p - n$ -переходу (до 55-річчя створення Інституту фізики напівпровідників НАН України). *Укр. фіз. журн.* **61** (2), 187 (2016).
9. V.E. Lashkaryov. Investigations of a barrier layer by the thermoprobe method. *Ukr. J. Phys.* **53**, Special Issue, 53 (2008).
10. М. Авенариус. *О термоэлектричестве* (СПб, 1864).
11. М. Авенариус. *Об электрических разностях металлов при различных температурах* (СПб, 1866).
12. М. Авенариус. Об электровозбудительной силе термоэлектрических элементов с точки зрения механической теории тепла (Киевские) *Университетские Известия* **11**, 1 (1870).

13. О. Хвольсон. *Курс физики*. Том третий. Учение о теплоте. Изд. пятое. (Гос. изд., 1923).
14. А.Г. Гольдман. Михаил Петрович Авенариус и киевская школа экспериментальной физики. *УФН* **44**, 586 (1951).
15. А.А. Rudnitskii. *Thermoelectric properties of the noble metals and their alloys* (Atomic energy commission, 1959).
16. Ф.Н. Шведов. *О значении непроводников в электростатике* (СПб.: тип. Якобсона, 1868).
17. Ф.Н. Шведов. *О законах превращения электричества в теплоту* (Одесса, 1870).
18. *Профессори Одесского (Новоросійського) університету*. Біографічний словник. Том 1. Ректори. Вид др., доп. (Астропринт, 2005).
19. Ф.Н. Шведов. *Что такое град?* (СПб.: Демаков, 1881).
20. Ф.Н. Шведов. *Методика физики. Введение* (Центральная тип., 1894).
21. М.М. Матійко, С.І. Іноземцев. *Вклад вітчизняних вчених у науку про електрику* (Рад. шк., 1952).
22. К.К. Хренов. *Подводная электрическая сварка и резка металлов* (Военн. из-во Министерства ВС СССР, 1946).
23. Е.О. Патон. *Скоростная автоматическая сварка под слоем флюса*. 2-е изд. (Машгиз, 1941).
24. П.Г. Борзяк. Фотоелектричні явища в вентильних фотоелементах при низьких температурах. *Вісті АН УРСР* **3**, 19 (1936).
25. М. Пильчиков. *Материалы к вопросу о местных аномалиях земного магнетизма*. Магистерская диссертация (1888).
26. M. Piltschikoff. Sur la phase initiale d'électrolyse. *Comptes Rendus* **108**, 614 (1889).
27. M. Piltschikoff. Sur la polarisation électrolytique par les métaux. *Comptes Rendus* **108**, 898 (1889).
28. Ф.Д. Мирошніченко. *К истории развития учения о магнетизме на Украине*. Вопросы истории физико-математических наук. Материалы Всесоюзной научн. конф. по истории физ.-мат. наук (Тамбов, 1971).
29. Д.А. Рожанский. *Электрические лучи: Учение об электромагнитных колебаниях и волнах* (СПб.: Изд. К.Л. Риккера, 1913).
30. Д.С. Штейнберг. *О намагничении и коэрцитивной силе ферромагнитных порошков* (Физич. лаборатория Императорского Харьковского ун-ва, 1915).
31. Д.С. Штейнберг, В.С. Сурков. Коерцитивна сила мікроскопічних скалок магнетиту. *Учені записки Харківського університету*. Кн. **2–3**, 95 (1935).
32. Д.С. Штейнберг. *Карманный магнетометр Дальблома* (Физич. лаборатория Харьковского университета, 1916).
33. L.W. Schubnikow, W.J. de Haas. Neue Erscheinungen bei der widerstandsänderung von wismuthkristallen im magnetfeld bei der temperatur von flüssigem wasserstoff. *Leiden Comm. Kamerlingh Onnes Lab.* 1930, Nr. 207, 207a, 210a, 210b; *Proc. Amst. Acad. Sci.* **33**, 418 (1930).
34. N.B. Brandt, S.M. Chudinov. Shubnikov-de Haas effect and its application to investigation of the energy spectrum of metals, semimetals, and semiconductors. *Sov. Phys. Usp.* **25**, 518 (1982).
35. О.И. Балабекян. Лев Васильевич Шубников. *УФН* **89**, 321 (1966).
36. А.А. Абрикосов. Сверхпроводники второго рода и вихревая решетка. *УФН* **174**, 1234 (2004).
37. L. Landau. A possible explanation of the field dependence of the susceptibility at low temperatures. *Phys. Z. Sowjetunion* **4**, 675 (1933).
38. Е.М. Лифшиц. Лев Давидович Ландау (1908–1968). *УФН* **97**, 169 (1969).
39. L.D. Landau, E.M. Lifshitz. On the theory of the dispersion of magnetic permeability in ferromagnetic bodies. *Phys. Z. Sowjetunion* **8**, 153 (1935).
40. В.Б. Юферов. Евгений Станиславович Боровик. Вторая криогенная лаборатория УФТИ. *Вопросы атомной науки и техники* **6**, 65 (2004).
41. Е.С. Боровик. Электропроводность металлов при большой плотности тока. *ДАН СССР* **91**, 771 (1953).
42. Е.С. Боровик, А.С. Мильнер. *Лекции по ферромагнетизму* (Изд. ХГУ, 1960).
43. Е.С. Боровик, В.В. Еременко, А.С. Мильнер. *Лекции по магнетизму* (Физматлит, 2005).
44. Г.Г. Кордун. *Радянські фізики* (Вища школа, 1975).
45. Б.Н. Ржонсницький, Ф.А. Піроцький. *Винахідник трамвая* (Держтехвидав України, 1951).
46. И.Л. Полякова, Е.А. Попова-Кьяндская. Николай Дмитриевич Пильчиков. *УФН* **53**, 121 (1954).
47. А.А. Слуцкий, Д.С. Штейнберг. Получение колебаний в катодных лампах при помощи магнитного поля. *Журнал Русского физико-химического общества. Серия физическая* **58**, вып. 2, 395 (1926).
48. Г.Г. Кордун. *О развитии радиофизики и электроники на Украине. Вопросы истории физики: Материалы первой украинской межвузовской конференции по истории физики* (Симферополь, 1968).
49. Патент на изобретение № 5592, КЛАСС 21a1, 32. 30 июня 1928 г. г. Ленинград "Описание аппарата для электрической телескопии к патенту В.И. Попова, Б.П. Грабовского и Н.Г. Пискунова, заявленному 9 ноября 1925 года (заявочное свидетельство № 4899)".

Одержано 15.07.19

I. V. Korsun

CONTRIBUTION OF UKRAINIAN SCIENTISTS
TO THE DEVELOPMENT OF ELECTRODYNAMICS

S u m m a r y

The aim of the paper is to prove the importance of the works performed by Ukrainian scientists for the development of electrodynamics. Some examples of achievements made by Ukrainian scientists in this scientific area include physical theories in such directions as the electrical conductivity, domain structure of ferromagnets, photoelectromotive force in semiconductors, microscopic theory of superconductivity, Shubnikov-de Haas effect, magneto-acoustic resonance, invention of an electric tram, live broadcast of the moving-image signal, distant control of objects by means of radio signals, and arc welding of metals. Most Ukrainian scientists have founded their own scientific schools, which works are recognized throughout the world. They were not only engaged in the scientific and lecturing activities, but also in the popularization of science, reformation of the education system, and social activity.