

Філософію написано в цій величній Книзі (я маю на увазі Всесвіт), яка завжди відкрита нашому погляду, але читати її може лише той, хто спочатку освоїв мову та навчиться розуміти знаки, якими її написано. Написано ж її мовою математики, і знаки її — трикутники, кола та інші геометричні фігури, без яких не можна зрозуміти жодного зі слів, що стоять у ній, а не розуміючи їхнього сенсу, залишається лише блукати в темному лабіринті.

Г. Галілей. «Пробірних справ майстер». 1623

DOI:<https://doi.org/10.15407/rpra28.01.080>  
УДК 537.86

П.М. Мележик<sup>1</sup>, А.О. Кириленко<sup>1</sup>, О.О. Костенко<sup>1,2</sup>, С.О. Масалов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України  
вул. Акад. Проскури, 12, Харків, 61085, Україна  
E-mail: alexei.kostenko@gmail.com

<sup>2</sup> Радіоастрономічний інститут НАН України  
вул. Мистецтв, 4, Харків, 61002, Україна

## ШКОЛА В.П. ШЕСТОПАЛОВА. ВІД КВАЗІСТАТИКИ ДО КВАЗІОПТИКИ (до 100-річчя від дня народження)

---

Цю статтю присвячено пам'яті видатного вченого в галузі радіофізики та електроніки, теоретичної та математичної фізики, доктора фізико-математичних наук, професора, академіка НАН України, засновника харківської наукової школи дифракції та дифракційної електроніки, директора Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України Віктора Петровича Шестопалова з нагоди його 100-річного ювілею.

**Ключові слова:** Віктор Петрович Шестопалов; дифракція; метод задачі Рімана–Гільберта; спектральна теорія; генератор дифракційного випромінювання.

23 січня 2023 р. виповнилося 100 років від дня народження видатного вченого та організатора науки, лауреата Державних премій СРСР і УРСР, Заслуженого діяча науки України, крупного спеціаліста в галузі радіофізики та електроніки, теоретичної та математичної фізики, доктора фізико-математичних наук, академіка НАН Украї-

ни Віктора Петровича Шестопалова — ВПШ (так із повагою його називали учні та колеги). Відомий радіофізик-теоретик, професор Б.З. Каценеленбаум дуже ёмно та точно охарактеризував В.П. Шестопалова як вченого та керівника [1]: «В.П. належав до вчених, які опанували дві професії — наукового працівника (тобто створює

---

Ц и т у в а н н я: Мележик П.М., Кириленко А.О., Костенко О.О., Масалов С.О. Школа В.П. Шестопалова. Від квазістатистики до квазіоптики (до 100-річчя від дня народження). *Радіофізика і радіоастрономія*. 2023. Т. 28. № 1. С. 80–92. <https://doi.org/10.15407/rpra28.01.080>

C i t a t i o n: Melezhik, P.M., Kirilenko, A.A., Kostenko, O.O., Masalov, S.O., 2023. V.P. Shestopalov and his scientific school: From quasistatics to quasiotics (to mark V.P.'s birth centenary) *Radio Physics and Radio Astronomy*, 28(1), pp. 80–92. <https://doi.org/10.15407/rpra28.01.080>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2023. Статтю опубліковано відповідно до умов відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

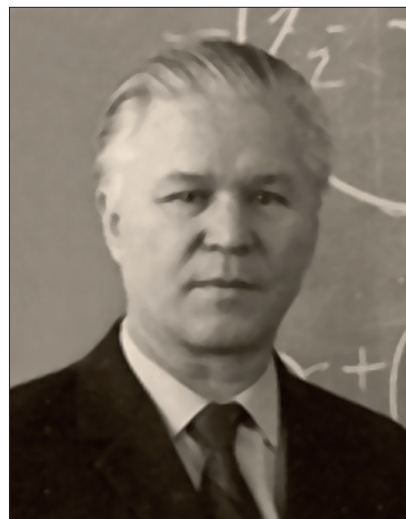
© Publisher PH "Akadempriodyka" of the NAS of Ukraine, 2023. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

наукову продукцію) й організатора наукової роботи (тобто створює умови, що дозволяють іншим створювати наукову продукцію). Володіння цими професіями потребує як високого наукового потенціалу, так і високих моральних якостей. Такі люди — золотий фонд науки».

В.П. Шестопалов народився у м. Слов'янськ Донецької області в сім'ї робітника. У 1940 р., після закінчення середньої школи, він вступає на фізико-математичний факультет Горьківського університету, але вже в грудні цього ж року переводиться до Харківського державного університету ім. О.М. Горького. Війна з гітлерівською Німеччиною перериває навчання, він іде на фронт добровольцем, бере участь у боях за визволення України, Румунії, Угорщини, Чехословаччини, його внесок у нашу спільну Перемогу відзначено низкою державних нагород. Після демобілізації в 1945 р. Віктор Петрович продовжує навчання на фізико-математичному факультеті Харківського університету й у 1949 р. отримує диплом за спеціальністю «теоретична фізика». Випускникам 1949 р. було в кого вчитися. У той час на фізмати лекції читалися відомими вченими — академіками АН УРСР і АН СРСР О.В. Погореловим і В.О. Марченком, академіками АН УРСР К.Д. Синельниковим, А.К. Вальтером, М.П. Барабашовим, А.О. Слуцкіним, О.І. Ахієзером, І.М. Ліфшицем, членами-кореспондентами АН УРСР Н.І. Ахієзером, Є.С. Боровиком, професорами А.К. Сушкевичем, О.Я. Повзнером, Г.І. Дрінфельдом, В.Л. Германом, В.К. Балтагою, Д.З. Гордєвським, Б.Я. Левіним і багатьма іншими.

У стінах Харківського університету ВПШ поринув у атмосферу високої Науки. У 1948 р. студентом 4-го курсу він виконав свою першу наукову роботу [1] під керівництвом професора О.І. Ахієзера — видатного фізика-теоретика, академіка АН України, одного з творців харківської школи теоретичної фізики.

Після закінчення університету він розпочав наукову кар'єру в Харківському державному інституті мір і вимірювальних приладів і водночас вів викладацьку роботу в педагогічному інституті та в університеті. У 1953 р. під керівництвом професора В.Л. Германа захистив кандидатську дисертацію на тему «Деякі питання нелінійної теорії ламінарного примежового шару», а у 1963 р. — докторську — «Дифракція та поширення елек-



В.П. Шестопалов

тромагнітних хвиль у періодичних структурах».

У 1972 р. Віктора Петровича було обрано членом-кореспондентом АН УРСР, а у 1979 р. — академіком АН УРСР.

Вже в 1950-ті роки виявилися видатні науково-організаційні здібності В.П. Шестопалова. З 1950 по 1958 рр. він працював у Харківському педагогічному інституті, де у 1953 р. створив кафедру математичного аналізу та теоретичної механіки, у період 1958—1964 рр. завідував кафедрою радіофізики в Харківському державному університеті ім. О.М. Горького, а у 1964 р. організував аналогічну кафедру в Харківському інституті радіоелектроніки.

З ініціативи академіка АН УРСР О.Я. Усикова, першого директора Інституту радіофізики та електроніки АН УРСР (ІРЕ АН УРСР, нині ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України), Віктор Петрович очолив новий для інституту відділ теоретичної електроніки, в 1971 р. його призначили заступником директора з наукової роботи, а в 1973 р. — директором [2].

На початку наукової діяльності інтереси ВПШ були пов'язані з роботами в галузі механіки суцільних середовищ. Потім його увагу привернули дослідження з вивчення закономірностей поширення електромагнітних хвиль у різних хвилевідних сповільнюючих системах, які становлять основу багатьох електронних пристроїв, прискорювачів елементарних частинок та ін. Одночасно він зайнявся новою великою проблемою — розробкою та реалізацією математично строгих

методів числового й аналітичного розв'язання задач теорії дифракції електромагнітних хвиль. Зокрема, під його керівництвом і за безпосередньою участю було отримано багато фундаментальних результатів, що становлять у сукупності основу трьох нових наукових напрямів – математичної теорії дифракції хвиль, теорії резонансного розсіяння хвиль і дифракційної електроніки. Внесок ВПШ у становлення та розвиток цих напрямів відображений у 19-ти монографіях, більш ніж 500-х статтях і в 150-ти винаходах.

У 1960-ті роки в теорії дифракції склалася ситуація, коли при побудові розв'язків багатьох нових задач розсіяння виявилася неможливою заміна складної структури поля найпростішою, як це має місце в довгохвильовому або короткохвильовому наближенні. У разі коли розміри перешкод і довжина хвилі виявляються одного порядку, розв'язувати крайові електродинамічні задачі необхідно в математично строгой постановці — центр тяжіння теоретичних досліджень переміщується від евристичних і асимптотичних методів до методів математичної фізики.

Загального методу строгого і, водночас, ефективного розв'язання дифракційних задач для всіх форм поверхонь, що використовуються практично, немає. Розроблений у 1930-ті роки метод Вінера–Хопфа–Фока охоплює лише гранично тонкі екрани, що простягаються на нескінченність в одному з напрямків. Для великого класу практично важливих дифракційних задач З.С. Аграновичем, В.О. Марченком і В.П. Шестопаловим у 1960 р. був розроблений, а в 1961 р. опублікований новий математично обґрунтований метод [3], який спочатку отримав назву «метод АМШ» за першими буквами прізвищ співавторів. Але потім, за порадою авторитетного математика О.Г. Свешникова, цей підхід отримав назву «метод задачі Рімана–Гільберта», яка досить повно відображає основну математичну ідею, запропоновану авторами. Саме під цією назвою й увійшов в історію розвинений підхід у безлічі наступних публікацій. Суть методу така: лінійний оператор, що відповідає системі функціональних рівнянь, до якої зазвичай зводиться крайова задача теорії дифракції, певним чином розбивається на дві частини, одна з яких — статична — потім обертається. Виявилось можливим провести це обернення в явному вигляді, зводячи його до за-

дачі відновлення аналітичної в площині комплексної змінної функції за відомими крайовими значеннями її на дузі одиничного кола (задача Рімана–Гільберта). У результаті невідомі коефіцієнти Фур'є дифракційного поля визначаються з нескінченних систем лінійних алгебраїчних рівнянь, що добре збігаються, обчислення яких для довільних значень параметрів задачі можливе на ЕОМ методом усічення з будь-яким ступенем точності. У цілому ряду граничних випадків можна проводити повне аналітичне дослідження розв'язків з оцінкою похибки. У цьому сенсі розв'язок початкової крайової задачі є строгим.

Публікація [3] стала однією з головних точок зростання як харківської школи теоретичної радіофізики, так і прикладної обчислювальної математики загалом. У ній побудовано найвищою мірою ефективно та чисельно стійке моделювання процесу дифракції плоскої гармонійної електромагнітної хвилі на плоскій стрічковій металевій ґратці. Ця модель виявилася здатною видавати достовірні результати в широкому діапазоні частотних і геометричних параметрів. Значення цієї публікації вийшло далеко за межі лише вирішення нехай важливої та актуальної на той момент задачі. Ця робота започаткувала нову філософію побудови чисельних методів розв'язання широкого класу прикладних завдань математичної фізики.

Нині метод задачі Рімана–Гільберта визнано увійшов до арсеналу «технічних засобів» математичної теорії дифракції — є сотні робіт, де з його допомогою досліджуються різні питання теорії дифракції та поширення хвиль. Розвиток і застосування цього методу у вирішенні актуальних задач теорії дифракції багато в чому належить Віктору Петровичу та його учням, а значна частина цієї роботи була узагальнена у монографії, виданій у 1971 р. [4].

До початку 1970-х років належать праці ВПШ і його учнів щодо подальшого розвитку сучасних методів математичної теорії дифракції та розв'язання багатьох прикладних задач. Як і класичний метод Вінера–Хопфа–Фока, метод задачі Рімана–Гільберта має певну сферу застосування. Зокрема, він ефективний у разі періодичних ґраток із нескінченно тонких стрічкових елементів. У середині 1960-х років група харківських учених (Л.М. Литвиненко, С.О. Масалов, В.Г. Сологуб та

ін.) на чолі з В.П. Шестопаловим розпочала плідну роботу щодо створення інших методів, які дають можливість досліджувати періодичні ґратки з об'ємних елементів різної конфігурації. Цю роботу підсумовано в 1973 р. у монографіях [5, 6], де значною мірою вирішено проблему створення математичних методів, ефективних у резонансному діапазоні. У цих двох монографіях вперше у світовій науковій літературі показано строгу теорію дифракції хвиль на ґратках. Подальший розвиток методів, що розглядаються, наведено в монографіях [6–8] та статті [9]. Ідейна сторона використовуваних математичних підходів заснована на методі часткового обернення оператора і полягає у виділенні та явному оберненні «сингулярної» частини пов'язаних із задачами матричних (або інтегральних) операторів.

На базі побудованого ВПШ та його учнями апарату проаналізовано широкий спектр актуальних для сучасної теоретичної та прикладної радіофізики дифракційних задач. Встановлено нові фізичні закономірності, пов'язані з явищами повного проходження та повного резонансного відбиття плоских хвиль; з аномаліями Вуда й аномаліями, обумовленими збоєм періоду ґратки; з асиметрією розсіяних полів і дзеркальними резонансами; з явищами, спричиненими впливом на розсіяне поле частково неоднорідного заповнення середовища, а також явищем дифракційної взаємодії між різними частковими областями.

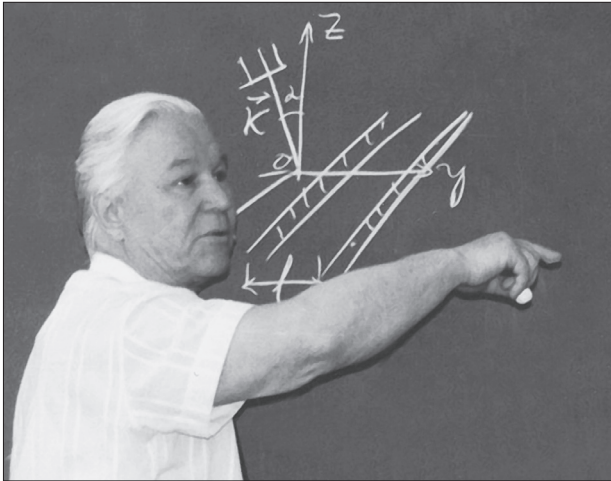
У зв'язку з цим Б.З. Каценеленбаум писав [1]: *«В.П. був одним із перших учених, які застосували до задач дифракції апарат, заснований на аналітичних властивостях функцій комплексної змінної. Отримані ним результати теорії ґраток він протягом багатьох років розвивав і поглиблював, створивши, зрештою, практично повну теорію періодичних структур. Уміння створювати повну картину цілого класу явищ свідчить про велике почуття відповідальності за справу, за яку взявся, про бажання та здатність довести цю справу до логічного завершення».*

З ім'ям В.П. Шестопалова пов'язаний широкий розвиток багатьох нових напрямів у математичній теорії дифракції, теоретичної та прикладної радіофізики, в електроніці. Йому належать піонерські роботи з дифракції хвиль на плоских стрічкових ґратках з довільним коефіцієнтом

заповнення (виконані спільно з В.О. Марченком, Г.М. Гестріним, Л.М. Литвиненком, К.В. Масловим), на ґратках із металевих і діелектричних брусів прямокутного та круглого профілів (тут його співавторами були С.О. Масалов, В.Г. Сологуб, В.О. Павлюк, Г.Г. Половников, В.Ф. Кравченко, В.В. Хорошун), на ємнісних та індуктивних стрічкових діафрагмах і ґратках у прямокутних багатомодових хвилеводах (співавтори — А.І. Адоніна, В.В. Щербак, Л.І. Білоусова), на стрічкових ґратках типу «жалюзі», ешелетах і гребінках (виконані спільно з В.Є. Будановим, А.О. Кириленком, С.О. Масаловим, Л.А. Рудем, Ю.К. Сіренком); роботи зі збудження та поширення хвиль у циліндричному хвилеводі з поздовжньою щілиною (співавтори — В.М. Кошпарьонов, П.М. Мележик, Е.І. Велієв, О.Й. Носич, Г.І. Хлопов, С.Д. Андренко, Г.І. Комар, В.В. Крижановський, О.Є. Свеженцев), у кільцевих і спіральних хвилеводах; роботи з теоретичного та експериментального вивчення відкритих резонаторів (спільно з А.О. Петрушиним, І.М. Балаклицьким, О.О. Вертієм, В.М. Деркачем, І.В. Іванченком, Н.О. Попенко, І.К. Кузьмичовим), із дослідження нелінійних явищ в об'ємному напівпровіднику з надґратками в міліметровому діапазоні хвиль (співавтори — О.О. Костенко, Г. І. Хлопов). Всі зазначені структури є моделями пристроїв, що широко використовуються в антенній і хвилевідній техніках, в оптичних і квазіоптичних пристроях, у квантовій радіофізиці, генераторах НВЧ, акустиці тощо [10–15].

Область застосування розвинених математичних методів пізніше вдалося значно розширити. Їх було використано для аналізу властивостей обмежених екранів із плоскою або осьюовою симетрією (спільно з В.Г. Сологубом), для вивчення задач розсіяння хвиль на кусково-лінійних зламах осі тракту прямокутного хвилеводу та на стрибкоподібних неоднорідностях у круглих хвилеводах (спільно з А.О. Кириленком, Л.А. Рудем, В.Р. Литвиновим, Н.П. Яшиною), для дослідження незамкнутих сферичних екранів (спільно з А.М. Радінім, В.О. Резуненком, С.С. Виноградовим, Ю.О. Тучкіним, І.А. Вязьмітиновим, Ю.В. Свищевим). За цикл робіт «Теорія резонансного розсіювання хвиль та її застосування в радіофізиці» учні та колеги ВПШ — А.А. Кирилен-





ВПШ — вчитель і педагог

ко, С.О. Масалов, Ю.К. Сіренко, В.Г. Сологуб, Л.А. Рудь, С.Л. Просвірнін, М.А. Хижняк, Б.З. Каценеленбаум, О.М. Сівов та М.М. Войтович — у 1989 р. удостоєні Державної премії УРСР.

У 1980—1990-х роках В.П. Шестопапов разом зі своїми учнями (П.М. Мележиком, А.Ю. Поєдинчуком, В.М. Кошпарьонком, Ю.К. Сіренко, А.О. Кириленком, Л.А. Рудем, І.Є. Почаніною, Ю.О. Тучкіним, В.В. Яциком, Н.П. Яшиною, Б.Г. Тисицом та ін.) побудували на основі нових математичних підходів спектральну теорію відкритих електродинамічних структур, що досліджує просторово-частотні трансформації електромагнітного поля в таких структурах, що збуджуються різними способами та різними джерелами [16]. Цим колективом вивчено аналітичну природу морсовських критичних точок дисперсійних рівнянь, побудовано строгу теорію явища міжтипового зв'язку власних коливань і власних хвиль у відкритих резонаторах і відкритих хвилеводах, передбачено, виявлено та досліджено фундаментальні фізичні процеси, що виникають у різних відкритих структурах [17]. Розв'язання лінійних спектральних задач і вивчення морсовських критичних точок дисперсійних рівнянь підштовхнуло ВПШ в останні роки його життя до вирішення проблем нестационарної нелінійної динаміки сильно диспергуючих середовищ — у цьому напрямі ним було запропоновано якісно нові підходи та намічено цікаві перспективи [18—20].

Поява першої роботи методом АМШ співпала з використанням перших ЕОМ і дозволила впер-

ше побачити точні амплітудно-частотні характеристики цілої групи розсіювачів у широкому частотному діапазоні від квазістатисти до квазіоптики. У міру поширення загальної ідеї аналітичної регуляризації на нові, ширші класи структур колектив молодих учених, що надихався ВПШ, дійшов до можливості точного аналізу багатомодових матриць розсіювання більшості ключових елементів НВЧ систем. Підхід, названий «методом напівобертання», став використовуватися після алгебризації задачі проєкційними методами. Це дало перші розв'язки практично важливих некоординатних задач, таких як розсіювання хвиль на ешелетних ґратках (С.О. Масалов, А.О. Кириленко, В.Є. Буданов) або розрахунок зламів хвилеводу (А.О. Кириленко, Л.А. Рудь, В.І. Ткаченко) [21]. Тут, як і в багатьох інших застосуваннях, як головна частина матричного оператора обертався оператор із різницеvim ядром у знаменнику, що виникає в багатьох задачах, пов'язаних із модифікацією простих структур, котрі дозволяють розв'язок методом Вінера-Хопфа.

Нині вже можна сказати, що методи, які дозволили вивчати хвильові явища на точних моделях навіть із використанням перших малопотужних ЕОМ, започаткували «обчислювальну електродинаміку».

Практично одночасно з першими роботами в області чисельно-аналітичних методів з'явилися «метод узагальнених матриць розсіювання» Р. Міттри та метод «матричних операторів» (В.В. Щербак). Завдяки цьому стало можливим використання високоточних багатомодових матриць розсіювання хвилевідних та ґраткових об'єктів для розрахунку складних вузлів композиційно-складних пристроїв. Поєднання цього підходу з точними даними методу напівобертання виявилось особливо плідним завдяки високій точності останніх. Сформувався набір «ключових геометричних елементів», які є фрагментами багатьох мікрохвильових пристроїв, і це дозволило побудувати системи загального електродинамічного моделювання (*MWD — microwave desktop*), які на порядок швидші, ніж комерційні пакети. У результаті було створено цілий ланцюжок проблемно-орієнтованих пакетів для синтезу мікрохвильових пристроїв від фільтрів і мультиплексорів до різноманітних поляриза-

торів (А.О. Кириленко, Л.А. Рудь, В.І. Ткаченко, С.Л. Сенкевич) [22].

Математичні основи теорії дифракції, які розроблялися в школі ВПШ, послужили основою для її подальшого розвитку, здійсненого в працях його учнів і продовженого після його відходу [23–28]. Так у продовженні розвитку та узагальнення математичних методів побудованої теорії дифракції метод напівобертання та метод аналітичної регуляризації в роботі [24] описано мовою псевдодиференціальних операторів, що істотно полегшує розуміння та застосування цих методів. І, що найбільш суттєво, такий підхід дає прозорий теоретико-функціональний опис цих методів, включаючи просту картину як подібності, так і принципової їхньої відмінності, описує необхідні умови для можливості їхнього застосування як для задач дифракції, так і для асоційованих з ними спектральних задач.

Розв'язання нестационарних задач розсіяння електромагнітних хвиль отримало успішний та інтенсивний розвиток останніми роками. Ці роботи є плідним доповненням й узагальненням розвинених математичних методів і відкривають нові перспективи розуміння фізичних процесів та моделювання нових електродинамічних пристроїв і узагальнені в монографії [25], в якій для великого класу відкритих резонансних електродинамічних структур здійснено математичне моделювання та фізичний аналіз перехідних і процесів, що встановилися, які формують, направляють, розсіюють і випромінюють імпульсні та монохроматичні електромагнітні хвилі.

Строгі математичні методи стали підґрунтям для розв'язання деяких класів обернених задач і задач діагностики в неоднорідних шаруватих середовищах і періодичних структурах із нових штучних матеріалів [27, 28].

Накопичені великі теоретичні знання про властивості полів, розсіяних різними перешкодами, послужили надійною основою початку низки важливих прикладних досліджень. Серед них насамперед слід відзначити цикл робіт зі створення та впровадження комплексу квазіоптичних радіовимірювальних пристроїв міліметрових і субміліметрових хвиль, за який групу співробітників ІРЕ (В.П. Шестопалов, Є.М. Кулешов, М.С. Яновський, Д.Д. Литвинов, В.Д. Щербов, С.О. Масалов, Б.М. Князьков, А.І. Горошко,

О.С. Циганков) було удостоєно в 1972 р. Державної премії УРСР.

Істотний внесок зробив ВПШ (спільно з С.Д. Андренком, Ю.Б. Сидоренком, С.А. Проваповим, С.А. Шилом, А.П. Євдокимовим, В.В. Крижановським, О.Є. Свеженцевим) у вивчення явища перетворення неоднорідних поверхневих хвиль в об'ємні, що спостерігається при дифракції власних хвиль діелектричного хвилеводу на ґратках чи інших періодичних розсіювачах [10, 11]. Антени дифракційного випромінювання, засновані на використанні цього явища, сьогодні успішно використовуються в створених в ІРЕ радіолокаторах огляду льотного поля аеропортів і радіосистем міліметрового діапазону для отримання радіометричних зображень різних об'єктів [29]. Останні захищені патентами України (автори В.О. Комяк, С.А. Шило, Ю.Б. Сидоренко). Світовий рівень цих патентів підтверджено у 2010 р. продажем вперше в історії Інституту виняткової ліцензії на їхнє використання фірми *Radiophysic solution* (Велика Британія).

Віктор Петрович — один із перших фізиків-теоретиків, увагу якого на початку 1960-х років привернув ефект дифракційного випромінювання, яке виникає, зокрема, під час руху заряджених частинок над дифракційними ґратками. Початкові дослідження цього ефекту, що стосуються 1950-х років, проводилися на основі моделі миготливого диполя та мали евристичний характер. Вони давали якісний опис явища, що узгоджується з експериментом в оптичному діапазоні хвиль, і пророкували сильне спадання інтенсивності випромінювання зі збільшенням довжини хвилі. Насправді модель миготливого диполя неправильно відбиває енергетику процесу, для її адекватного опису знадобилися нові теоретичні моделі та математично строгі методи теорії дифракції хвиль на періодичних структурах.

Роботи в цьому напрямку були розпочаті одночасно і незалежно радіофізиками Москви та Харкова. Співробітники Фізичного інституту ім. П.Н. Лебедева АН СРСР Б.М. Болотовський і Г.В. Воскресенський вивчили ефект дифракційного випромінювання електронів, що пролітають поблизу таких періодичних структур, для яких може бути отримано розв'язок за допомогою методу факторизації. Застосування нових математичних методів, розвинених школою

В.П. Шестопалова, дозволило харків'янам отримати розв'язки низки задач про дифракційне випромінювання для структур, що застосовуються на практиці та перспективних для освоєння міліметрових і субміліметрових діапазонів (О.О. Третьяков, Е.І. Черняков). Вони дозволили правильно визначити потрібний профіль ґраток, кутові характеристики випромінювання, його спектральний склад. Але найголовніше, що показали дослідження, — це висока ефективність дифракційного випромінювання у міліметровому та субміліметровому діапазонах, а отже, і перспективність його використання [30, 31].

По суті, ці дослідження започаткували новий напрямок у фізиці та техніці міліметрових хвиль, що дістав назву дифракційної електроніки, і відкрили основу для формування концепції нового генератора радіохвиль.

Іншим важливим моментом у створенні генератора нового типу стала ідея про організацію позитивного зворотного зв'язку за допомогою відкритого резонатора, який на той час знайшов застосування в оптичних лазерах. Так народилася принципово нова схема приладу, пізніше названого генератором дифракційного випромінювання (ГДВ). Він був створений на стику, здавалося б, далеких областей науки — математичної теорії дифракції, вакуумної електроніки НВЧ і квантової електроніки. Зараз його повною мірою називають лазером на вільних електронах. Більш того, ГДВ виявився єдиним приладом, до якого цей термін може застосовуватися без жодних застережень на «ступінь вільності електронів», оскільки лише в ньому для виникнення випромінювання об'ємних хвиль виявляється досить рівномірного та прямолінійного руху електронів. Актуальною стала задача втілення розробленої принципової схеми приладу у фізично працездатній конструкції нового генератора радіохвиль.

Історія роботи над ГДВ підтвердила тезу про те, що «немає нічого практичнішого за хорошу теорію». Розвиваючи строгі математичні методи, ВПШ і його співробітники отримали основні дані для розробки та побудови серії потужних генераторів. Вже при перших дослідженнях приладу, здійснених у Харкові у 1963—1967 роках [32, 33], було досягнуто вихідну потужність в короткохвильовій частині міліметрового діапазону понад 1 Вт у безперервному режимі генерування,

що на три порядки перевищувало середню вихідну потужність оротрона. Так сталося справжнє народження нового генератора радіохвиль. У короткий термін параметри ГДВ було суттєво покращено: збільшено вихідну потужність, зменшено рівень шумів, покращено спектральні властивості. Навіть перші зразки генератора мали таку сукупність позитивних якостей вихідного сигналу, яких і сьогодні не було досягнуто генераторами інших класів.

Удосконалення приладу проводилося з урахуванням комплексних досліджень всіх елементів і вузлів його конструкції. Розвивалися теоретичні та експериментальні методи аналізу відкритих резонансних систем, дифракційних періодичних структур. Були розроблені лінійна та нелінійна теорії ГДВ, які суттєво спираються на його резонансні властивості та дозволяють розрахувати генератор як автоколивальну систему (К.О. Лукін) [34]. За їхньою допомогою досліджено фізичні закономірності, що спостерігаються в експерименті, у тому числі механізм збудження та механізм енергообміну між пучком електронів і полем відкритого резонатора. Створено експериментальний метод візуалізації резонансних квазіоптичних пучків для вивчення складних відкритих електродинамічних систем. Застосування голографічних принципів для вивчення міліметрових хвиль привело до створення голографії резонансних полів, що вперше дозволило отримати експериментальні дані про просторову, фазову та поляризаційну структури полів відкритих резонаторів. Під безпосереднім керівництвом В.П. Шестопалова вперше було виконано дослідження розподілу електромагнітного поля у відкритій резонансній системі діючого ГДВ [35] і особливості збудження стохастичних коливань у ГДВ — лазері на вільних електронах із багаторазовим прольотом електронного потоку через простір взаємодії [36]. У діапазоні частот 25...100 ГГц було розроблено серію таких потужних генераторів безперервної та імпульсної дії з підвищеним ККД за рахунок використання періодичної структури у вигляді здвоєної гребінки. Планомірно вивчено ефект перетворення поверхневих хвиль у об'ємні на різних дифракційних структурах, а це забезпечило розробку експериментальної безвакуумної моделі ГДВ (М.М. Суслов, В.Є. Буданов). Тут слід зазначити,

що у той час у Харкові було захищено 8 докторських дисертацій з вакуумних генераторних приладів міліметрового діапазону (О.О. Третяков, І.М. Балаклицький, Б.П. Єфімов, К.О. Лукін, Д.М. Ваврів, О.О. Шматько, О.І. Цвик, Г.С. Воробйов).

У ході досліджень створено десятки нових конструкцій і модифікацій ГДВ [34], що сприяло значному покращенню його характеристик (О.О. Третяков, Б.К. Скринник, І.М. Балаклицький, В.К. Корнеєнков, О.І. Цвик, В.С. Мирошниченко, В.Д. Єрьомка, В.Г. Курін, І.Д. Ревін, К.О. Лукін, Г.С. Воробйов, Г.П. Єрмак, М.М. Сулов, Є.Є. Мороз, А.О. Петрушин, Г.І. Хлопов, О.О. Вертій, О.Б. Сенкевич, Е.І. Черняков, Ю.В. Майстренко, Є.В. Білоусов, В.Г. Корж, Н.О. Попенко, І.В. Іванченко, С.М. Кучеренко, Д.І. Чистюхін). Сучасні дослідження у сфері дифракційної електроніки реалізували на практиці задуми та прогнози В.П. Шестопалова і стосуються покращення вихідних параметрів ГДВ. Так, для розширення безперервної смуги однододового перестроювання за частотою вперше запропоновано та досліджено ГДВ з асиметричними відкритими резонансними системами, досліджено роботу цих приладів із перестроюванням частоти на міжтиповому коливанні, що збуджується у відкритій резонансній системі зі зв'язаними модами [37]. Для просування ГДВ в терагерцовий діапазон частот розроблено відкриті резонансні системи з супергауссовим розподілом електромагнітного поля, вивчено особливості їхньої роботи на більш високих просторових гармоніках періодичних структур і досліджено особливості збудження коливань у них із багатокаскадним простором взаємодії [38]. Сьогодні створені ГДВ перекривають весь міліметровий і субміліметровий діапазон хвиль. Їх широко використовують у багатьох лабораторіях різних країн світу, а в деяких застосуваннях вони просто незамінні. Наявність такого генератора з унікальними характеристиками вихідного сигналу дозволяє створювати принципово нові системи та пристрої.

За створення нових джерел електромагнітних коливань, антенних систем і хвилевідних ліній передачі Віктору Петровичу в 1988 р. присуджено Державну премію СРСР.

На основі високостабільних ГДВ в ІРЕ побудовано низку радіофізичних комплексів, серед

яких — унікальний експериментальний комплекс «БУРАН» (Великий український спектрометр АН — нині Національне надбання України) для вивчення процесів динамічної поляризації атомних ядер із накачуванням міліметровими хвилями (С.І. Тарапов, О.О. Вертій, В.М. Деркач, І.В. Іванченко, Н.О. Попенко) [14]. Розробка когерентних вимірювальних радіолокаційних комплексів короткохвильової частини міліметрового діапазону з використанням ГДВ дозволила провести унікальні дослідження умов поширення радіохвиль цього діапазону та вивчити особливості сигналів, відбитих від різних наземних об'єктів (В.Б. Разказовський, Г.П. Кулемін, Г.І. Хлопов, В.С. Коростелев), а також створити декілька РЛС для контролю параметрів технологічних процесів (Г.І. Хлопов, О.О. Костенко, Г.П. Єрмак) [34].

У 1970-ті та 1980-ті рр. в ІРЕ під керівництвом В.П. Шестопалова та А.І. Калмикова активно розвивається новий науковий напрямок — радіофізичні дослідження поверхні Землі з космосу. Створюється система, що не має на той час аналогів у світі, для всепогодного моніторингу в поточному часі поверхні Землі з використанням багаточастотних активних (радіолокаційних) і пасивних (радіометричних) засобів дистанційного зондування. Ця система успішно експлуатується на супутниках серії «Космос-1500», «Океан», «Січ». Розроблені та реалізовані в приладах і пристроях різного призначення радіофізичні методи виявилися ефективними для діагностики стану льодових покривів, визначення швидкості океанського вітру, спостереження за тайфунами, визначення вологості ґрунтів, моніторингу лісових пожеж тощо [39].

За великий особистий внесок під час проведення відповідних робіт В.П. Шестопалов у 1987 р. був нагороджений орденом Леніна, а в 1986 р. Федерацією космонавтики СРСР — медаллю імені видатного ракетобудівника академіка М.К. Янгеля. За створення ефективних методів дистанційного зондування та їхню реалізацію співробітниками ІРЕ А.І. Калмиков, В.Б. Єфімов, В.О. Комяк, Ю.В. Захаров, В.І. Зельдіс, В.В. Іголкін, О.С. Курекін, О.П. Пічугін, П.М. Торчун, В.М. Цимбал у 1987 р. стали лауреатами Державної премії УРСР. Групі молодих співробітників ІРЕ — А.С. Гавриленку, С.А. Шилу, С.А. Провалову, Ю.А. Кулешо-



ву, С.Є. Яцевичу, Г.Б. Торопову, А.Б. Фетисову — у 1985 р. було вручено премію Ленінського комсомолу в галузі науки і техніки.

Науковий стиль ВПШ відрізнявся тісним єднанням фундаментальних теоретичних досліджень складних крайових задач математичної фізики з тонкими фізичними експериментами, які потім переростали в конструювання, що завершувалися, як правило, створенням і практичним використанням розроблених пристроїв. Ефективне застосування відкритих структур потребує всебічного експериментального дослідження, оскільки практично ці структури навантажено додатковими елементами та його теоретичний аналіз дуже складний. Під керівництвом ВПШ розроблено оригінальні експериментальні методи визначення характеристик таких структур — метод візуалізації полів, голографічний метод, метод резонансної квазіоптичної поляриметрії.

Слід також дати високу оцінку циклу робіт, виконаних у 1960—1970-х роках В.Б. Казанським, М.М. Колчигіним, Л.М. Литвиненком щодо створення високоміцних радіопрозорих антенних укріплень. Систематичні дослідження закономірностей розсіяння електромагнітного поля на композиційних структурах дали можливість у 1970—1990-ті роки у двох циклах робіт С.О. Масалова та М.М. Колчигіна побудувати фізичні основи діапазонних технологій типу «Стелс» і розпочати роботи зі створення антирадарних безвідбивних покриттів. У результаті у 2005 р. М.М. Колчигін став Лауреатом Державної премії України, а С.О. Масалов за заслуги перед космонавтикою нагороджений медаллю Ю.О. Гагаріна.

Віктор Петрович був надзвичайно різностороннім і талановитим ученим. До останніх днів свого життя він провадив активну наукову роботу, його завжди хвилювали фундаментальні проблеми сучасної науки. За останні три роки життя ним опубліковані три монографії та понад десять статей. Ці роботи присвячено таким, здавалося б, далеким один від одного питанням, як «Про можливу картину будови та еволюції Всесвіту», «Фрактали в теорії дифракції», «Про еволюцію біологічних середовищ, що самоорганізуються» [40—42]. Однак ці дослідження були об'єднані його єдиною ідеєю — спільністю властивостей характеристичних рівнянь, які описують об'єкти дослідження поблизу їхніх критичних точок, що

давало можливість передбачити поведінку самої системи за малих змін її параметрів.

ВПШ завжди притягував до себе талановиту молодь, віддавав роботі з нею більшу частину свого часу, працював із фізиками та математиками, теоретиками й експериментаторами, інженерами та конструкторами. Він майже з першого погляду вловлював, хто перед ним, які його переваги та недоліки і тут же формулював завдання для становлення самосвідомості, саморозуміння, самоповаги. Більшість учнів домагалися свого шляхом частих, вельми корисних у науковому плані контактів, а деяким початківцям було досить однієї-двох розмов для постановки актуального завдання. Створивши кандидатську, пізнавши свій потенціал, учні перетворювалися на колеги ВЧИТЕЛЯ. Наступний крок у житті — або з ним, або самому щось творити в Науці, або будувати свій маленький «свічковий завод».

Захоплення, повна віддача в Науці притаманні ВПШ. Звідки це? Частково від Бога, частково від школи, університету, учителів. Віктор Петрович був тісно пов'язаний понад 50 років із Харківським держуніверситетом. Для нього, наскільки ми знаємо, вчителями, прикладом були О.І. Ахієзер, В.Л. Герман, В.О. Марченко. Прекрасні вчителі (метри — було на кого рівнятися), поряд плеяда великих учених математиків і фізиків (було в кого вчитися і з ким змагатися), сотні талановитих студентів і аспірантів (було кого вчити, виховувати і з ким далі працювати), величезна кількість фундаментальних і прикладних задач (бери будь-яку, отримуй результат і тим радує себе та суспільство) — все це сприяло повному розкриттю таланту ВПШ.

Віктор Петрович зробив величезний внесок у науку. Його спільний з учнями вплив на сучасну радіофізику можна порівняти з впливом робіт таких великих учених, як В.А. Фок (метод Вінера-Хопфа-Фока, асимптотики в задачі дифракції на сфері), Г.Д. Малюженець (розвинув метод Зоммерфельда для задачі дифракції на півплощині стосовно задачі для клину), Л.А. Вайнштейн (теорія дифракції — метод факторизації, роботи з електроніки). Для ВПШ можна написати — теорія резонансного розсіяння хвиль і метод аналітичної регуляризації плюс дифракційна електроніка.

Паралельно з науковою роботою завжди у ВПШ тривала організаторська діяльність. Про-

тягом 20 років він очолював ІРЕ НАН України, виявляючи талант керівника, стратега та невтомного трудівника. 15 років Віктор Петрович був головою Північно-Східного наукового центру АН УРСР, обирався членом Президії АН УРСР, був головою наукової ради АН УРСР з проблеми «Фізика і техніка мм і субмм хвиль». Його заслуги відзначено багатьма державними нагородами.

ВПШ мав яскраво виражене педагогічне обдарування. Понад 40 років він віддав викладацькій роботі, науковому керівництву аспірантами та докторантами, виховав плеяду талановитих учнів (25 докторів та понад 100 кандидатів наук), які гідно продовжують його справу, створив харківські школи математичної теорії дифракції хвиль, теорії резонансного розсіювання та дифракційної електроніки. Результати наукових праць В.П. Шестопалова та його учнів знайшли відбиток в сотнях наукових статей, більш ніж 150-ти винаходах, підсумовані в 19-ти монографіях [1], втілені у різних пристроях і системах НВЧ-діапазону.

ВПШ працював багато і без зупинок: у будні — в ІРЕ, а в дні «відпочинку» — вдома, у поїздках, у лікарні, на дачі і навіть на улюбленій риболовлі. Ми дивувалися, як його поранене серце фронтовика витримувало колосальні навантаження. Він міг би прожити довше, якби не взяв на себе таку величезну, непосильну для інших ношу дослідницької, організаторської та педагогічної роботи. У Науці він був максималістом і вимагав того

ж від нас. Все своє життя ВПШ віддав Науці, добуванню нових знань, розробці ефективних підходів до розв'язання актуальних теоретичних і прикладних задач теорії дифракції, електроніки, математичної фізики та фізики нелінійних явищ. Весь життєвий шлях Віктора Петровича Шестопалова — шлях самовідданого, беззастережного та безоглядного служіння Науці — був і буде прикладом для нас, для всіх, хто знав і любив його.

І трохи особистого — від учнів про ШЕФа...

Ніхто з нас ніколи і нікого іншого не зможе і не назве цим ім'ям... Час іде, і нас, безпосередніх учнів, з кожним роком все менше... І тепер наше завдання — зберегти та передати далі ту пристрасть до здобуття знань, поваги до істини і віру в правду та справедливість науки, якою з нами так щедро поділився наш ШЕФ, перетворив на єдиновірців, виховав світогляд, який вимагає постійної роботи розуму та душі.

У нас це, як і пам'ять про нашого Вчителя, назавжди.

У цій статті авторами були використані публікації про життя та творчу діяльність Віктора Петровича Шестопалова, архівні документи, а також спогади та матеріали, які підготували та надали його учні та колеги, а саме: Е.І. Велієв, В.М. Деркач, І.В. Іванченко, К.О. Лукін, В.С. Мирошниченко, А.Ю. Поєдинчук, Н.О. Попенко, І.Є. Почаніна, Л.А. Рудь, Ю.К. Сіренко, С.І. Тарапов, Ю.О. Тучкін, Н.П. Яшина.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Академик Виктор Петрович Шестопалов. *Служение науке*. Под ред. П.Н. Мележика, С.А. Масалова, Ю.К. Сиренко. Харьков: ИПП «Контраст», 2012. 424 с.
2. *Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины. 50 лет*. Отв. ред. В.М. Яковенко. Харьков: Ин-т радиофизики и электроники НАН Украины, 2005. 611 с.
3. Агранович З.С., Марченко В.А., Шестопалов В.П. Дифракция электромагнитных волн на плоских металлических решетках. *Журн. техн. физики*. 1962. Т. 32, № 4. С. 381–394.
4. Шестопалов В.П. *Метод задачи Римана–Гильберта в теории дифракции и распространения электромагнитных волн*. Харьков: Изд-во Харьк. ун-та, 1971. 400 с.
5. Шестопалов В.П., Литвиненко Л.Н., Масалов С.А., Сологуб В.Г. *Дифракция волн на решетках*. Харьков: Изд-во Харьк. ун-та, 1973. 278 с.
6. Шестопалов В.П. *Сумматорные уравнения в современной теории дифракции*. Киев: Наук. думка, 1983. 252 с.
7. Шестопалов В.П., Кириленко А.А., Масалов С.А. *Матричные уравнения типа свертки в теории дифракции*. Киев: Наук. думка, 1984. 296 с.
8. Литвиненко Л.Н., Просвирнин С.Л. *Спектральные операторы рассеяния в задачах дифракции волн на плоских экранах*. Киев: Наук. думка, 1984. 240 с.
9. Масалов С.А., Щербак В.В. Методы школы В.П. Шестопалова в теории дифракции. *Радиофизика и электроника*: сб. науч. тр. Ин-т радиофизики и электроники НАН Украины. Харьков, 2000. Т. 5, № 2. С. 13–34.
10. Шестопалов В.П. *Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники*. Т. 1. Открытие структуры. Киев: Наук. думка, 1985. 216 с.

11. Шестопапов В.П. *Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники*. Т. 2. Источники. Элементная база. Радиосистемы. Киев: Наук. думка, 1985. 256 с.
12. Шестопапов В.П., Кириленко А.А., Масалов С.А., Сиренко Ю.К. *Резонансное рассеяние волн*. Т. 1. Дифракционные решетки. Киев: Наук. думка, 1986. 216 с.
13. Шестопапов В.П., Кириленко А.А., Рудь Л.А. *Резонансное рассеяние волн*. Т. 2. Волноводные неоднородности. Киев: Наук. думка, 1986. 232 с.
14. Вертий А.А., Карнаухов И.М., Шестопапов В.П. *Поляризация атомных ядер миллиметровыми волнами*. Киев: Наук. думка, 1990. 232 с.
15. Костенко А.А., Кузнецов О.А., Толмасов В.А., Филатов О.Н., Хлопов Г.И., Шестопапов В.П. Нелинейные явления в объемном полупроводнике со сверхрешеткой в миллиметровом диапазоне волн. *Докл. АН СССР*. 1983. Т. 271, № 6. С. 1360—1362.
16. Шестопапов В.П. *Спектральная теория и возбуждение открытых структур*. Киев: Наук. думка, 1987. 252 с.
17. Шестопапов В.П. *Морсовские критические точки дисперсионных уравнений*. Киев: Наук. думка, 1992. 240 с.
18. Шестопапов В.П. Теорія дифракції та деякі проблеми нелінійної фізики. *Укр. фіз. журн.* 1998. Т. 43. № 11. С. 1381—1392.
19. Шестопапов В.П., Яцик В.В. Уравнения дисперсии и пространственно-временной эволюции поля квазиоднородной электродинамической структуры вблизи морсовской критической точки. *Радиотехника и электроника*. 2000. Т. 45. № 2. С. 157—164.
20. Шестопапов В.П. Нелинейные эволюционные уравнения граничных сред. *Доп. НАН України*. 2000. № 3. С. 89—93.
21. Kirilenko A.A., Rud' L.A., Tkachenko V.I. Semi-inversion method for an accurate analysis of rectangular waveguide H-plane angular discontinuities. *Radio Sci.* Vol. 31, Iss. 5. 1996. P. 1271—1280.
22. Kirilenko A., Rud L., Tkachenko V. CAD of evanescent-mode bandpass filters based on the short ridged waveguide sections. *Int. J. RF Microw. Comput.-Aided Eng.* 2001. Vol. 11, Iss. 6. P. 354—365
23. Sirenko Yu., Yashina N. and Ström S. *Transient electromagnetic processes in periodic and waveguide resonators: mathematical models, algorithms and treatment of numerical results*. Springer-Verlag, Ser. Springer Series in Optical Sciences. 2006. Vol. 122. 362 p.
24. Tuchkin Yu.A. On the analytical regularization method in scattering and diffraction. Kobayashi K., Smith P.D. Eds. *Advances in Mathematical Methods for Electromagnetics*. London, UK: Institution of Engineering and Technology Publ., 2020. Chap. 13. P. 303—328.
25. Sirenko Yu.K., Ström S. eds. *Modern Theory of Gratings. Resonant Scattering: Analysis Techniques and Phenomena*. Springer-Verlag, 2010. Ser. Springer Series in Optical Sciences. Vol. 153. 386 p.
26. Vinogradov S.S., Smith P.D., Vinogradova E.D. *Canonical problems in scattering and potential theory*. Pt. 1. Canonical structures in potential theory. 2001. 392 p. Pt. 2. Acoustic and electromagnetic diffraction by canonical structures. 2002. 520 p. (Chapman & Hall/CRC monographs and surveys in pure and applied mathematics; Vol. 127). Chapman and Hall/CRC.
27. Sirenko Yu., Melezhik P., Poyedinchuk A., Sautbekov S., Shmat'ko A., Sirenko K., Vertiy A., Yashina N. Radiation of electromagnetic waves induced by electron beam passage over artificial material periodic interfaces. Brewer N. ed. *An Essential Guide to Electrodynamics*. New York, USA: Nova Science Publ., 2019. Chap. 5. P. 169—206.
28. Melezhik P., Poyedinchuk A., Sirenko, Yu., Yashina N. Diffraction boundary value problems for electromagnetic theory of inhomogeneous multilayered media. Riccati equation method. M. Avci ed. *A Closer Look at Boundary Value Problems*. New York, USA: Nova Science Publ., 2020. Chap. 4. P. 125—182.
29. Melezhik P., Razskazovskiy V., Reznichenko N., Zuykov V., Varavin A., Sidorenko Y., Provalov S., Yanovsky F. High-efficiency millimeter-wave coherent radar for airport surface movement monitoring and control. *Aviation*. 2011. Vol. 15, Iss. 2. P. 38—43.
30. Третьяков О.А., Третьякова С.С., Шестопапов В.П. Излучение электромагнитных волн электронным потоком, движущимся над дифракционной решеткой. *Радиотехника и электроника*. 1965. Т. 10, № 7. С. 1233—1243.
31. Третьяков О.А., Черняков Э.И., Шестопапов В.П. К теории эффекта Смита—Парселла. *Изв. вузов. Радиофизика*. 1966. Т. 9, № 2. С. 341—351.
32. Балаклицкий И.М., Скрынник Б.К., Третьяков О.А., Шестопапов В.П. Генератор дифракционного излучения волн миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. *Укр. физ. журн.* 1969. Т. 14, № 4. С. 539—552.
33. Балаклицкий И.М., Скрынник Б.К., Цвык А.И., Шестопапов В.П. К вопросу о возможности создания импульсных генераторов дифракционного излучения. *Изв. вузов. Радиофизика*. 1975. Т. 18, № 10. С. 1129—1136.
34. Шестопапов В.П. (отв. ред.), Вертий А.А., Ермак Г.П., Скрынник Б.К., Хлопов Г.И., Цвык А.И. *Генераторы дифракционного излучения*. Киев: Наук. думка, 1991. 320 с.
35. Корнеенков В.К., Мирошниченко В.С., Шестопапов В.П. Изучение распределения полей в открытом резонаторе действующего генератора дифракционного излучения. *Изв. вузов. Сер. Радиофизика*. 1985. Т. 28, № 12. С. 1576—1581.
36. Корнеенков В.К., Мирошниченко В.С., Цвык А.И., Шестопапов В.П. О возбуждении стохастических колебаний в генераторе дифракционного излучения — лазере на свободных электронах. *Докл. АН УССР. Сер. А*. 1982. № 5. С. 59—61.
37. Kovalov I.O., Miroshnichenko V.S., Senkevich Y.B. Diffraction Radiation Oscillator with Frequency Tuning on Mutual Coupled Modes in an Open Resonant System. *Prog. Electromagn. Res. C (PIER C)*. 2018. Vol. 87. P. 1—11.
38. Miroshnichenko V.S., Senkevich E.B., Pivovarova A.G., Yudin D.V. Mode excitation in a generator of diffraction radiation with a multistage interaction space. *Radiophys. Quantum Electron.* 2010. Vol. 53, Iss. 3. P. 182—190.
39. *Радиолокационные методы и средства оперативного дистанционного зондирования Земли с аэрокосмических носителей*. Под ред. С.Н. Конохова, В.И. Драновского, В.Н. Цимбала. Киев: Джулия принт, 2007. 439 с.
40. Шестопапов В.П. О возможной картине строения и эволюции Вселенной. *Докл. НАН України*. 2000. № 1. С. 65—69.

41. Шестопалов В.П. Фракталы в теории дифракции. Докл. НАН Украины. 1999. № 3. С. 96–100.
42. Шестопалов В.П. О возможном сценарии пространственно-временной эволюции самоорганизующихся биофизических сред. Биофизика. 2001. Т. 46. Вып. 2. С. 359–368.

Стаття надійшла 11.11.2022

## REFERENCES

- Melezhik, P.N., Masalov, S.A., Sirenko, Yu.K. eds., 2012. *Academician Viktor Petrovich Shestopalov. Service to Science*. Kharkiv, Ukraine: IPP Kontrast Publ. (in Russian).
- Yakovenko, V.M. ed., 2005. *A.Ya. Usikov Institute for Radio Physics and Electronics of the National Academy of Sciences of Ukraine. The 50-th anniversary*. Kharkiv, Ukraine: A.Ya. Usikov IRE NAS of Ukraine Publ. (in Russian).
- Agranovich, Z.S., Marchenko, V.A., Shestopalov, V.P., 1962. Diffraction of a plane electromagnetic wave from plane metallic gratings. *Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki*, **32**(4), pp 381–394 (in Russian).
- Shestopalov, V.P., 1971. *The Riemann-Hilbert Problem Method in Diffraction Theory and Electromagnetic Wave Propagation*. Kharkiv, Ukraine: Kharkiv University Publ. (in Russian).
- Shestopalov, V.P., Litvinenko, L.N., Masalov, S.A., Sologub, V.G., 1973. *Diffraction of Waves by Gratings*. Kharkiv, Ukraine: Kharkiv University Publ. (in Russian).
- Shestopalov, V.P., 1983. *Summator Equations in Contemporary Diffraction Theory*. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka Publ. (in Russian).
- Shestopalov, V.P., Kirilenko, A.A., Masalov, S.A., 1984. *Matrix Convolution-Type Equations in the Diffraction Theory*. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka Publ. (in Russian).
- Litvinenko, L.N., Prosvirnin, S.L., 1984. *Spectral Scattering Operators in the Problems of Wave Diffraction by Plane Screens*. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka Publ. (in Russian).
- Masalov, S.A., Shcherbak, V.V., 2000. Methods of V.P. Shestopalov's School in the Theory of Wave Diffraction. In: V.M. Yakovenko ed., 2000. *Radiofizika i elektronika*. Kharkov: IRE NAS of Ukraine Publ. **5**(2), pp. 13–34 (in Russian).
- Shestopalov, V.P., 1997. *Physical Foundations of Millimeter and Submillimeter Wave Technologies*. Vol. 1. Open Structures. Utrecht, the Netherlands and Tokyo, Japan: CRC Press.
- Shestopalov, V.P., 1997. *Physical Foundations of Millimeter and Submillimeter Wave Technique*. Vol. 2. Sources. Element Base. Radio Systems: Novel Scientific Trends. Utrecht, the Netherlands and Tokyo, Japan: CRC Press.
- Shestopalov, V.P., Kirilenko, A.A., Masalov, S.A., Sirenko, Yu.K., 1986. *Resonant Scattering of Waves*. Vol. 1. Diffraction Gratings. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka Publ. (in Russian).
- Shestopalov, V.P., Kirilenko, A.A., Rud', L.A., 1986. *Resonant Scattering of Waves*. Vol. 2. Waveguide Inhomogeneities. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka Publ. (in Russian).
- Vertiy, A.A., Karnaukhov, I.M., Shestopalov, V.P., 1990. *Polarization of atomic nuclei using millimeter waves*. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka Publ. (in Russian).
- Kostenko, A.A., Kuznetsov, O.A., Tolomasov, V.A., Filatov, O.N., Khlopov, G.I., Shestopalov, V.P., 1983. Nonlinear effects in the millimeter wavelength range in bulk semiconductors with a superlattice. *Doklady AN USSR*, **271**(6), pp. 1360–1362 (in Russian).
- Shestopalov, V.P., 1987. *Spectral Theory and Excitation of Open Structures*. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka Publ. (in Russian).
- Shestopalov, V.P., 1992. *Morse's Critical Points of Secular Equations*. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka Publ. (in Russian).
- Shestopalov, V.P., 1998. Diffraction theory and problems of nonlinear physics. *Ukr. J. Phys.*, **43**(11), pp. 1381–1392 (in Ukrainian).
- Shestopalov, V.P., Yatsik, V.V., 2000. Equations of dispersion and spatial-temporal field evolution in a quasi-homogeneous electrodynamic structure, close to Morse's critical point. *J. Commun. Technol.*, **45**(2), pp. 157–164 (in Russian).
- Shestopalov, V.P., 2000. Nonlinear evolutionary field equations for bounded media. *Reports of the NAS of Ukraine*, **3**, pp. 89–93 (in Russian).
- Kirilenko, A.A., Rud', L.A., Tkachenko, V.I., 1996. Semi-inversion method for an accurate analysis of rectangular waveguide H-plane angular discontinuities. *Radio Sci.*, **31**(5), pp. 1271–1280.
- Kirilenko, A., Rud', L., Tkachenko, V., 2001. CAD of evanescent-mode bandpass filters based on the short ridged waveguide sections. *Int. J. RF Microw. Comput.-Aided Eng.*, **11**(6), pp. 354–365.
- Sirenko, Yu., Yashina, N., and Ström, S., 2006. *Transient electromagnetic processes in periodic and waveguide resonators: mathematical models, algorithms and treatment of numerical results*. Springer-Verlag, Ser. Springer Series in Optical Sciences. Vol. 122. 362 p.
- Tuchkin, Yu.A., 2020. On the analytical regularization method in scattering and diffraction. In: Kobayashi, K., Smith, P.D. eds., 2020. *Advances in Mathematical Methods for Electromagnetics*. London, UK: Institution of Engineering and Technology Publ. Chap. 13. P. 303–328.
- Sirenko, Yu.K., Ström, S. eds., 2010. *Modern Theory of Gratings. Resonant Scattering: Analysis Techniques and Phenomena*. Springer-Verlag, Ser. Springer Series in Optical Sciences. Vol. 153. 386 p.
- Vinogradov, S.S., Smith, P.D., Vinogradova, E.D., 2001–2002. *Canonical problems in scattering and potential theory*. Pt. 1. Canonical structures in potential theory. 2001. 392 p. Pt. 2. Acoustic and electromagnetic diffraction by canonical structures. 2002. 520 p. (Chapman & Hall/CRC monographs and surveys in pure and applied mathematics; Vol. 127). Chapman and Hall/CRC.
- Sirenko, Yu., Melezhik, P., Poyedinchuk, A., Sautbekov, S., Shmat'ko, A., Sirenko, K., Vertiy, A., Yashina, N., 2019. Radiation of electromagnetic waves induced by electron beam passage over artificial material periodic interfaces. In: Brewer N. ed., 2019. *An Essential Guide to Electrodynamics*. New York, USA: Nova Science Publ. Chap. 5. P. 169–206.



28. Melezhhik, P., Poyedinchuk, A., Sirenko, Yu., Yashina, N., 2020. Diffraction boundary value problems for electromagnetic theory of inhomogeneous multilayered media. Riccati equation method. In: Avci M. ed., 2020. *A Closer Look at Boundary Value Problems*. New York, USA: Nova Science Publ., Chap. 4. P. 125–182.
29. Melezhhik, P., Razskazovskiy, V., Reznichenko, N., Zuykov, V., Varavin, A., Sidorenko, Y., Provalov, S., Yanovsky, F., 2011. High-efficiency millimeter-wave coherent radar for airport surface movement monitoring and control. *Aviation*, **15**(2), pp. 38–43.
30. Tret'yakov, O.A., Tret'yakova, S.S., Shestopalov, V.P., 1965. Emission of electromagnetic waves by an electron beam moving above a diffraction grating. *J. Commun. Technol. Electron.*, **10**(7), pp. 1233–1243 (in Russian).
31. Tret'yakov, O.A., Chernyakov, E.I., Shestopalov, V.P., 1966. Theory of the Smith-Purcell effect. *Radiophys. Quantum Electron.*, **9**(2), pp. 341–351.
32. Balaklitskiy, I.M., Skrynnik, B.K., Tret'yakov, O.A., Shestopalov, V.P., 1969. Millimeter and submillimeter wave diffraction-radiation generator. *Ukr. J. Phys.*, **14**(4), pp. 539–552 (in Russian).
33. Balaklitskii, I.M., Skrynnik, B.K., Tsvyk, A.I., and Shestopalov, V.P., 1975. Possibility of developing diffraction-radiation pulsed generators. *Radiophys. Quantum Electron.*, **18**(10), pp. 1129–1136.
34. Shestopalov, V.P. ed., Vertiy, A.A., Ermak, G.P., Skrynnik, B.K., Khlopov, G.I., Tsvyk, A.I., 1991. *Diffraction-radiation generators*. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka Publ., 320 c.
35. Korneenkov, V.K., Miroshnichenko, V.S., and Shestopalov, V.P., 1985. Field Distributions in the Open Cavity of a diffraction-radiation generator. *Radiophys. Quantum Electron.*, **28**(12), pp. 1096–1100.
36. Korneenkov, V.K., Miroshnichenko, V.S., Tsvyk, A.I., Shestopalov, V.P., 1982. On the stochastic oscillations excited in the diffraction-radiation generator (free electrons laser). *Doklady AN USSR*, **5**, pp. 59–61 (in Russian).
37. Kovalyov, I.O., Miroshnichenko, V.S., Senkevich, Y.B., 2018. Diffraction Radiation Oscillator with Frequency Tuning on Mutual Coupled Modes in an Open Resonant System. *Prog. Electromagn. Res. C (PIER C)*, **87**, pp. 1–11.
38. Miroshnichenko, V.S., Senkevich, E.B., Pivovarova, A.G., Yudintsev, D.V., 2010. Mode excitation in a generator of diffraction radiation with a multistage interaction space. *Radiophys. Quantum Electron.*, **53**(3), pp. 182–190.
39. Konyukhov, S.N., Dranovsky, V.I., and Tsymbal, V.N. eds., 2007. *Radar technologies and means for real-time remote sensing of the Earth from aerial and space carriers*. Kyiv, Ukraine: Julia Print Publ. (in Russian).
40. Shestopalov, V.P., 2000. On one probable pattern of the structure and evolution of our Universe. *Reports of the NAS of Ukraine*, **1**, pp. 65–69 (in Russian).
41. Shestopalov, V.P., 1999. Fractals and diffraction theory. *Reports of the NAS of Ukraine*, **3**, pp. 96–100 (in Russian).
42. Shestopalov, V.P., 2001. On a possible scenario of space and time evolution of self-organizing biophysical structures. *Biophysics*, **46**(2), pp. 359–368 (in Russian).

Received 11.11.2022

P.M. Melezhhik<sup>1</sup>, A.A. Kirilenko<sup>1</sup>, O.O. Kostenko<sup>1,2</sup>, S.O. Masalov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics

National Academy of Sciences of Ukraine

12, Acad. Proskury St., Kharkiv, 61085, Ukraine

E-mail: alexei.kostenko@gmail.com

<sup>2</sup>Institute of Radio Astronomy, National Academy of Sciences of Ukraine

4, Mystetstv St., Kharkiv, 61002, Ukraine

V.P. SHESTOPALOV AND HIS SCIENTIFIC SCHOOL:

FROM QUASISTATICS TO QUASIOPTICS

(to mark V.P.'s birth centenary)

The paper is dedicated to the memory of V.P. Shestopalov, an outstanding scientist known for his great contributions to radio physics, electronics, theoretical and mathematical physics. While being a holder of many formal academic degrees and titles, like PhD, DSc (Phys.-Math.), Professor, and Fellow Member of the Academy of Sciences, he was particularly honored as the founder of a scientific school vigorously developing diffraction theory and diffractive electronics. That school has been associated with the O.Ya. Usikov Institute for Radio Physics and Electronics where Dr. Shestopalov was Director till 1993. Today, we are marking the 100-th anniversary of Victor P. Shestopalov.

**Keywords:** Victor P. Shestopalov; diffraction; Riemann–Hilbert problem; spectral theory; diffraction-radiation generator.