

УДК 53(092)(477.82)

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2025-2-7>

Андрій КЕВШИН

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3581-8852>

SCOPUS AUTHOR ID: 35422272900

Володимир ГАЛЯН

доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0066-7174>

SCOPUS AUTHOR ID: 35422525700

Назар КЕВШИН

здобувач вищої освіти навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-9932-8447>

Галина ХМАРУК

старший лаборант кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-8161-2070>

Бібліографічний опис статті: Кевшин, А., Гальян, В., Кевшин, Н., Хмарук, Г. (2025). Фізика та радіoeлектроніка: від фундаментальних законів до сучасних технологій. *Фізика та освітні технології*, 2, 48–53, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2025-2-7>

ФІЗИКА ТА РАДІОЕЛЕКТРОНІКА: ВІД ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ЗАКОНІВ ДО СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

У статті простежується тісний взаємозв'язок між фізикою як базовою наукою та радіoeлектронікою як її прикладним продовженням. Фізика, досліджуючи властивості матерії, енергії, простору й часу, формує теоретичне підґрунтя для розуміння природних процесів, тоді як радіoeлектроніка використовує ці знання (особливо положення електродинаміки та електроніки) для створення, оптимізації та практичного застосування електронних систем, призначених для передавання, приймання й оброблення інформації.

Радіoeлектроніка нині охоплює майже всі сфери людського життя – від побутових пристроїв (смартфонів, ноутбуків, планшетів) і технологій бездротового зв'язку (Wi-Fi, Bluetooth, мобільні стандарти 3G–5G) до «інтернету речей» (IoT), автономного транспорту, медичних систем діагностики та технічних засобів безпеки. Значна увага приділяється її ролі в космічних технологіях, зокрема у функціонуванні супутникових навігаційних комплексів GPS і Galileo, а також засобів міжпланетного зв'язку.

У роботі детально розглянуто фізичні закономірності, на яких ґрунтується радіoeлектроніка. Підкреслено фундаментальне значення закону Ома, що є основою для розрахунків електричних кіл, та законів Кірхгофа, які описують збереження електричного струму у вузлах і напруг у замкнутих контурах. Ці принципи лежать в основі аналізу й моделювання складних електронних схем, що містять такі компоненти, як транзистори, резистори, діоди чи інтегральні мікросхеми.

Окремий розділ присвячено історичному становленню радіоелектроніки. Відкриття Джеймсом К. Максвеллом електромагнітних хвиль і їх експериментальне підтвердження Генріхом Герцем стали відправною точкою розвитку бездротових технологій. Значний внесок у подальший розвиток галузі зробили відкриття в галузі квантової фізики – роботи М. Планка, А. Ейнштейна, а також модель атома Н. Бора. Їх результати дали поштовх до розуміння зонної будови твердих тіл і створення напівпровідникових приладів – діодів, транзисторів, мікро-схем та процесорів, що сформували основу сучасної цифрової електроніки.

В історичному контексті розглянуто також перші експерименти з бездротового передавання сигналів, здійснені Г. Марконі та О. Поповим, а також розвиток електронних ламп – діода Дж. Флемінга та тріода Л. де Фореста, які стали першими активними елементами електроніки. Переломним моментом став винахід транзистора у 1947 році Дж. Бардінім, В. Браттейном і В. Шоклі, що започаткував еру напівпровідникових технологій і відкрив шлях до мікропроцесорної техніки та інформаційної доби.

Сучасний етап розвитку радіоелектроніки характеризується мініатюризацією компонентів, удосконаленням мікропроцесорів, еволюцією мобільного зв'язку (Wi-Fi, Bluetooth, 5G), які забезпечують високу швидкість передавання даних і мінімальні затримки сигналу. Також розглянуто стратегічну роль радіоелектронних систем у навігаційних і супутникових технологіях, що використовуються в цивільній, науковій та оборонній сферах.

Ключові слова: фізика, радіоелектроніка, транзистор, бездротовий зв'язок, мікропроцесори.

Andriy KEVSHYN

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3581-8852>

SCOPUS AUTHOR ID: 35422272900

Volodymyr HALYAN

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0066-7174>

SCOPUS AUTHOR ID: 35422525700

Nazar KEVSHYN

Student of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-9932-8447>

Galyna KHMARUK

Senior Laboratory Assistant at the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies, Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-8161-2070>

To cite this article: Kevshyn, A., Halyan, V., Kevshyn, N., Khmaruk, G. (2025). Fyzyka ta radioelektronika: vid fundamentalnykh zakoniv do suchasnykh tekhnolohii [Physics and radio electronics: from fundamental laws to modern technologies]. *Physics and Educational Technology*, 2, 48–53, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2025-2-7>

PHYSICS AND RADIO ELECTRONICS: FROM FUNDAMENTAL LAWS TO MODERN TECHNOLOGIES

The article traces the close interconnection between physics as a fundamental science and radio electronics as its applied continuation. Physics, by studying the properties of matter, energy, space, and time, forms the theoretical foundation for understanding natural processes, while radio electronics applies this knowledge (particularly the principles of electrodynamics and electronics) to the creation, optimization, and practical implementation of electronic systems designed for the transmission, reception, and processing of information.

Today, radio electronics encompasses almost all areas of human life – from household devices (smartphones, laptops, tablets) and wireless communication technologies (Wi-Fi, Bluetooth, mobile standards 3G–5G) to the Internet of Things (IoT), autonomous transport, medical diagnostic systems, and security technologies. Special attention is paid to its role in space technologies, particularly in the functioning of satellite navigation systems such as GPS and Galileo, as well as interplanetary communication systems.

The paper provides a detailed analysis of the physical laws on which radio electronics is based. It emphasizes the fundamental importance of Ohm's law, which serves as the foundation for calculating electrical circuits, and Kirchhoff's laws, which describe the conservation of electric current at junctions and voltage in closed loops. These principles underpin the analysis and modeling of complex electronic circuits containing components such as transistors, resistors, diodes, and integrated microchips.

A separate section is devoted to the historical development of radio electronics. The discovery of electromagnetic waves by James C. Maxwell and their experimental confirmation by Heinrich Hertz marked the starting point of wireless technology. Major contributions to the further advancement of the field were made by discoveries in quantum physics – the works of M. Planck, A. Einstein, and N. Bohr's atomic model. Their findings led to an understanding of the band structure of solids and the creation of semiconductor devices – diodes, transistors, microchips, and processors – that formed the basis of modern digital electronics.

The historical overview also covers the first wireless signal transmission experiments conducted by G. Marconi and A. Popov, as well as the development of vacuum tubes – J. Fleming's diode and L. de Forest's triode – which became the first active elements of electronics. A turning point came in 1947 with the invention of the transistor by J. Bardeen, W. Brattain, and W. Shockley, which launched the era of semiconductor technology and paved the way for microprocessor engineering and the information age.

The modern stage of radio electronics is characterized by the miniaturization of components, the improvement of microprocessors, and the evolution of mobile communications (Wi-Fi, Bluetooth, 5G), which ensure high data transmission speeds and minimal signal delays. The paper also highlights the strategic role of radio electronic systems in navigation and satellite technologies used in civilian, scientific, and defense applications.

Key words: physics, radio electronics, transistor, wireless communication, microprocessors.

Актуальність проблеми. Сьогодні електроніка та телекомунікації стрімко розвиваються й стали невід'ємною частиною життя людини. Їх основою є фундаментальні фізичні закономірності, що забезпечують наукове підґрунтя для створення та вдосконалення електронних систем. Знання законів Ома, Кірхгофа й основ квантової фізики дає змогу не лише ефективно використовувати сучасні технології, а й розробляти нові рішення.

Сучасна радіoeлектроніка охоплює все – від побутових пристроїв до супутникових систем, медичного обладнання та інформаційних мереж. Тому взаємозв'язок фізики й радіoeлектроніки має ключове значення для технічного прогресу та формування компетентностей майбутніх інженерів. Стаття підкреслює важливість фундаментальних фізичних знань у розвитку сучасних технологій і їх практичному використанні.

Мета дослідження – розкрити та проаналізувати глибинний взаємозв'язок між фундаментальними фізичними законами та розвитком сучасної радіoeлектроніки, продемонструвавши, як наукові відкриття у фізиці стали рушійною силою для створення та вдосконалення технологій, що формують наше повсякденне життя.

Виклад основного матеріалу. Фізика – одна з основних природничих наук, що вивчає закономірності існування та взаємодії матерії,

енергії, простору й часу. Її мета – пояснити принципи побудови й функціонування Всесвіту – від елементарних частинок до космічних структур. Радіoeлектроніка є прикладною галуззю фізики, що спирається на закони електродинаміки та електроніки (Кевшин, 2022). Вона займається створенням і вдосконаленням електронних систем, які використовують електромагнітні явища для передавання, приймання й обробки сигналів – від простих елементів до складних мікросхем і антенних систем.

Сьогодні радіoeлектроніка пронизує всі сфери життя – від побутових пристроїв до космічних технологій. Смартфони, ноутбуки, планшети та бездротові мережі Wi-Fi, Bluetooth, 3G-5G є результатом її розвитку. Саме вона лежить в основі інтернету речей (IoT), де «розумні» пристрої взаємодіють між собою, автоматизуючи побутові й виробничі процеси. Завдяки цим технологіям функціонують сучасні автомобілі, медичне обладнання та системи безпеки (Zeyu Jin, 2023).

Особливе значення радіoeлектроніка має в аерокосмічній галузі. Саме вона забезпечує роботу супутникових навігаційних систем – таких як GPS і Galileo – а також створення засобів зв'язку, передачі даних та управління космічними апаратами, що досліджують Сонячну систему та дальній космос.

Як прикладна наука і технічна галузь, радіоелектроніка нерозривно пов'язана з фізикою. Без ґрунтового розуміння її законів неможливо ані проектувати, ані підтримувати в робочому стані сучасні електронні пристрої. Одними з ключових фізичних законів, що становлять основу цієї галузі, є закон Ома та закони Кірхгофа, які описують поведінку електричних струмів і напруг у різних типах електронних схем.

Закон Ома встановлює взаємозв'язок між силою струму, напругою та опором у електричному колі. У загальному вигляді він записується як: $U = \frac{I}{R}$, де U – напруга, I – сила струму, R – опір. Цей закон є основою для розрахунку параметрів будь-якого електричного кола та широко використовується в практиці радіоелектроніки.

Для аналізу складніших електричних схем застосовують закони Кірхгофа (Кевшин, 2022). Перший із них, який ще називають *законом збереження струму*, визначає, що сума всіх струмів, що входять у вузол, дорівнює сумі струмів, які виходять із нього: $\sum_{k=1}^m I_k = 0$. При цьому струми, спрямовані до вузла, вважають позитивними, а ті, що відходять від нього, – негативними. Такий підхід дозволяє алгебраїчно підсумовувати всі струми у вузлі, і в результаті їх загальна сума завжди дорівнює нулю, що відповідає принципу збереження електричного заряду.

Другий закон Кірхгофа, або *закон напруг*, звучить так: у замкнутому контурі алгебраїчна сума всіх напруг дорівнює сумі електропршійних сил (ЕРС), наявних у цьому контурі: $\sum_{k=1}^i \pm I_k R_k = \sum_{k=1}^i \pm E_k$. Напря́м обходу контуру визначає, які напруги мають додатний, а які – від'ємний знак.

Можливість бездротової передачі сигналів, що стала основою радіоелектроніки, з'явилася завдяки відкриттю електромагнітних хвиль (Weihong Qian, 2023). У 1860-х роках Джеймс Клерк Максвелл теоретично довів, що змінні електричні та магнітні поля породжують одне одного, утворюючи хвилю, що поширюється у просторі. Його рівняння стали основою єдиної теорії електрики й магнетизму. Це передбачення підтвердив Генріх Герц, який експериментально довів існування електромагнітних хвиль, заклавши фундамент для розвитку радіо, телебачення, радарів і мобільного зв'язку.

Подальший прогрес радіоелектроніки забезпечили відкриття квантової фізики. Теорія квантування Планка, фотоефект Ейнштейна та модель атома Бора пояснили дискретність енергії електронів, що стало основою створення напівпровідників і появи транзисторів, діодів та мікросхем – головних елементів сучасної електроніки.

Історія радіоелектроніки почалася з перших спроб передавання сигналів без дротів. Італійський винахідник Гульєльмо Марконі здійснив перші успішні радіопередачі (Matteo Leone, 2021), заклавши підґрунтя для подальшого розвитку бездротових технологій.

Після перших спроб бездротової передачі сигналів наступним етапом розвитку радіоелектроніки стало створення радіоламп. У 1904 році Джон Флемінг розробив діод, а Лі де Форест через два роки – тріод, здатний підсилювати електричні сигнали. Ці лампи стали першими активними елементами електроніки, що дали змогу генерувати коливання й посилювати слабкі імпульси.

У першій половині XX століття радіолампи були основою електронних пристроїв – радіоприймачів, передавачів, телевізорів і перших обчислювальних машин. Проте вони мали суттєві недоліки: великі розміри, значне енергоспоживання й низьку надійність. Прорив стався у 1947 році, коли в Bell Labs Джон Бардин, Волтер Браттейн і Вільям Шоклі створили транзистор (Rafiq, 2019). Він замінив лампи, ставши меншим, ефективнішим і дешевшим у виробництві.

Поява транзистора започаткувала еру напівпровідникової електроніки. На його основі з'явилися інтегральні схеми та мікропроцесори – основа сучасних комп'ютерів. Згодом вони еволюціонували у потужні багатоядерні системи, що використовуються в науці, промисловості, освіті, бізнесі й побуті. Саме вони дали поштовх до створення смартфонів – пристроїв, які об'єднують функції комп'ютера, засобу зв'язку та мультимедійного центру.

Сучасний радіозв'язок пройшов шлях від телеграфу до високошвидкісних бездротових мереж. Wi-Fi забезпечує стабільний доступ до Інтернету в діапазонах 2,4 і 5 ГГц, використовуючи технологію OFDM для ефектвної передачі даних. Bluetooth, що працює на частоті 2,4 ГГц, дає змогу з'єднувати пристрої

на коротких відстанях, застосовуючи принцип стрибкоподібної зміни частоти, що забезпечує стабільність зв'язку (Grigorios, 2025).

Найновішим етапом еволюції мобільного зв'язку стало п'яте покоління – 5G. Ця технологія забезпечує набагато вищу швидкість обміну даними $\left(\text{до } \vartheta_{\max} \approx 10 \frac{\text{Гбіт}}{\text{с}} \right)$, мінімальну затримку (менше 1 мс) і здатність одночасно підтримувати величезну кількість підключень. Її робота базується на використанні міліметрових хвиль (у діапазоні 24–100 ГГц), багатоканальної передачі MIMO (Multiple Input Multiple Output) та принципі сегментації мережі. Такі можливості відкривають шлях до широкого впровадження Інтернету речей (IoT), автономних транспортних систем, «розумних» міст і сучасних виробничих комплексів.

Радіoeлектроніка відіграє також ключову роль у функціонуванні штучних супутників, які забезпечують зв'язок, метеорологічні спостереження, телебачення та наукові дослідження. Одним із найвідоміших прикладів є GPS-система (Global Positioning System), що дозволяє визначати координати з точністю до кількох метрів (Lin Pan, 2019). Відстань між супутником і приймачем розраховується за формулою $S = c\Delta t$, де S – відстань до супутника, c – швидкість світла у вакуумі; Δt – різниця часу між передачею та прийомом сигналу.

Сьогодні GPS застосовується повсюдно – у навігаційних системах автомобілів, транспортній логістиці, мобільних пристроях і військових технологіях. Зокрема, у сфері оборони радіoeлектроніка є основою роботи радарів, систем розвідки, засобів радіoeлектронної боротьби, управління та зв'язку, без яких неможливо уявити сучасну армію.

Висновки. Радіoeлектроніка є одним із ключових напрямів сучасної техногенної цивілізації. Вона охоплює всі сфери життя – від побутових приладів і засобів зв'язку до космічних систем та оборонних технологій. Її розвиток ґрунтується на фізичних законах, що визначають принципи роботи електронних пристроїв. Від формул Ома й Кірхгофа до відкриття електромагнітних хвиль Максвеллом і Герцем – кожне з цих досягнень стало важливим етапом становлення галузі. Значний внесок зробила й квантова фізика, відкривши шлях до створення напівпровідників і транзисторів – основи сучасної електроніки.

Винахід транзистора започаткував епоху мініатюризації та підвищення ефективності пристроїв, що привело до появи мікропроцесорів – основи комп'ютерів і цифрових систем. Подальший розвиток технологій забезпечив створення смартфонів, мереж Wi-Fi, Bluetooth, 5G і систем GPS, які докорінно змінили способи зв'язку, навігації та автоматизації в повсякденному житті.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кевшин А. Г., Галян В. В. Фізика з основами радіoeлектроніки: конспект лекцій. Луцьк : Вежа-Друк, 2022. 113 с.
2. Zeyu Jin. Analysis of electromagnetic wave applications and development. *Highlights in Science, Engineering and Technology*. 2023. Vol. 68. P. 172–181.
3. Кевшин А., Галян В., Третяк А., Артюх Ю., Шафарчук В., Никифоров О., Куршель Д. Використання практичних та лабораторних занять під час вивчення складних лінійних електричних кіл постійного струму в курсі електротехніки. *Фізика та освітні технології*. 2022. № 1. С. 27–33.
4. Weihong Qian. Physical Interpretation of Electricity and Magnetism and Electromagnetic Induction. *Journal of Applied Mathematics and Physics*. 2023. Vol. 11. P. 2069–2092.
5. Matteo Leone and Nadia Robotti. Guglielmo Marconi, Augusto Righi and the invention of wireless telegraphy. *The European Physical Journal H*. 2021. Vol. 46, № 1. P. 16.
6. Rafiq M. A., Chuanbo Li and Buwen Cheng. Remembering John Bardeen: inventor of transistor. *Journal of Semiconductors*. 2019. Vol. 40, № 2. P. 020301.
7. Grigorios Koulouras, Stylianos Katsoulis and Fotios Zantalis. Evolution of Bluetooth Technology: BLE in the IoT Ecosystem. *Sensors*. 2025. Vol. 25, № 4. P. 996.
8. Sirish Kumar P., Srilatha Indira Dutt V. B. S. The global positioning system: Popular accuracy measures. *Materials today: proceedings*. 2020. Vol. 33, № 7. P. 4797–4801.
9. Lin Pan, Xiaohong Zhang, Xingxing Li, Xin Li, Cuixian Lu, Jingnan Liu, Qianxin Wang. Satellite availability and point positioning accuracy evaluation on a global scale for integration of GPS, GLONASS, BeiDou and Galileo. *Advances in Space Research*. 2019. Vol. 63, № 9. P. 2696–2710.

REFERENCES:

1. Kevshyn, A. H., & Halian, V. V. (2022). *Fizyka z osnovamy radioelektroniky: Konspekt leksii* [Physics with fundamentals of radio electronics: Lecture notes]. Lutsk: Vezha-Druk. [in Ukrainian].
2. Jin, Z. (2023). Analysis of electromagnetic wave applications and development. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 68, 172–181.
3. Kevshyn, A., Halian, V., Tretiak, A., Artiukh, Yu., Shafarchuk, V., Nykyforov, O., & Kurshel, D. (2022). Vykorystannia praktychnykh ta laboratornykh zaniat pid chas vyvchennia skladnykh liniinykh elektrychnykh kil postiinoho strumu v kursi elektrotekhniki [Use of practical and laboratory classes in studying complex linear DC electrical circuits in an electrical engineering course]. *Fizyka ta osviti tekhnolohii*, 1, 27–33. [in Ukrainian].
4. Qian, W. (2023). Physical interpretation of electricity and magnetism and electromagnetic induction. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 11, 2069–2092.
5. Leone, M., & Robotti, N. (2021). Guglielmo Marconi, Augusto Righi and the invention of wireless telegraphy. *The European Physical Journal H*, 46(1), 16.
6. Rafiq, M. A., Li, C., & Cheng, B. (2019). Remembering John Bardeen: Inventor of transistor. *Journal of Semiconductors*, 40(2), 020301.
7. Koulouras, G., Katsoulis, S., & Zantalis, F. (2025). Evolution of Bluetooth technology: BLE in the IoT ecosystem. *Sensors*, 25(4), 996.
8. Kumar, P. S., & Dutt, V. B. S. S. I. (2020). The global positioning system: Popular accuracy measures. *Materials Today: Proceedings*, 33(7), 4797–4801.
9. Pan, L., Zhang, X., Li, X., Li, X., Lu, C., Liu, J., & Wang, Q. (2019). Satellite availability and point positioning accuracy evaluation on a global scale for integration of GPS, GLONASS, BeiDou and Galileo. *Advances in Space Research*, 63(9), 2696–2710.

Дата надходження статті: 25.09.2025

Дата прийняття статті: 13.10.2025

Опубліковано: 30.12.2025