

**ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА**

**ОСИПЕНКО Сергій Миколайович** – викладач вищої категорії, викладач-методист, аспірант Інституту професійно-технічної освіти НАПН України, директор Державного навчального закладу «Дніпрорудненський професійний ліцей».

**Наукові інтереси:** теоретичні та методичні засади розвитку професійної компетентності учнів закладів професійної освіти, зокрема самостійної компетентності.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**OSYPENKO Serhiy Mykolaiovych** – teacher of the highest category, teacher-methodist, post-graduate student at Institute of Vocational and Technical Education of the National Academy of Pedagogical Sciences of Ukraine.

**Circle of research interests:** theoretical and methodological principles of professional competence, including self-competence, development for students at vocational education institutions.

*Стаття надійшла до редакції 14.11.2019 р.*

УДК 37:535.1

DOI: 10.36550/2415-7988-2019-1-183-201-205

**ФЕДОРЕНКО Владилена Петрівна** –

аспірантка кафедри фізики та методики її викладання  
Центральноукраїнського державного педагогічного університету  
імені Володимира Винниченка  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8134-2437>  
e-mail: vlada.litvinova@ukr.net

**ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ СВІТЛА ЯК ФАКТОР ВПЛИВУ НА ФОРМУВАННЯ  
НАУКОВИХ ТЕОРІЙ ПРИРОДИ СВІТЛА**

**Постановка та обґрунтування актуальності проблеми.** Однією з фундаментальних констант у фізиці є швидкість світла у вакуумі. Її визначення пов'язано з розвитком цілих розділів фізики, а саме – електродинаміки, хвильової оптики, квантової теорії, спеціальної теорії відносності.

Сучасна фізика трактує термін «швидкість світла» в двох концептуально різних значеннях:

1. як фундаментальну фізичну сталу, граничну швидкість передачі сигналу, яка не залежить від вибору системи відліку;

2. як швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль, включно зі світлом, у певному середовищі.

Шлях до розуміння цього факту виявився довжиною в три сторіччя. Близькі експериментальні відкриття з вимірювання швидкості світла у XVII ст. привели до появи корпускулярної та хвильової теорій світла, досліді з рентгенівськими і  $\gamma$ -променями на початку XX ст. – до появи гіпотези про кванти світла, що рухаються зі швидкістю  $c$ . Підсумком розвитку поглядів на природу світла стало уявлення про випромінювання як складний об'єкт, що виявляє корпускулярні властивості при випромінюванні та поглинанні і хвильові властивості – при поширенні в середовищі.

Дослідження і ретельний аналіз історичних експериментів по визначенню фундаментальних фізичних констант дають змогу розвивати нові наукові теорії та погляди на природу фізичних явищ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання інваріантності швидкості світла та методики викладання тем, які вона об'єднує, давно турбує вчених. Так, в роботах О. Спірідонова і К. Томіліна [11; 13] швидкість світла була розглянута як фундаментальна фізична константа; в працях Л. Благодаренко, О. Бугайова [1],

С. Гончаренка [2], С. Каменецького, Є. Коршака, О. Ляшенка [5], М. Мартинока, Л. Непорожньої, В. Розумовського, М. Садового [10; 11], О. Трифонові [14], А. Усової, Ю. Широкова, М. Шута та ін. висвітлено питання навчання фізики в умовах профільної школи, особливості методичних аспектів вивчення квантової оптики; О. Бугайов [1], С. Гончаренко [2], О. Ляшенко [5], А. Глазунов та інші, досліджуючи методику вивчення елементів теорії відносності, зазначали, що ця тема перш за все має сформулювати в учнів уявлення про наукову картину світу.

Проте дослідники недостатньо глибоко торкнулись взаємозв'язку історичного аспекту вимірювання швидкості світла та створення цілісної наукової картини світу.

**Мета статті** – дослідити історію визначення швидкості світла та її вплив на формування наукових теорій природи світла, розкрити суть швидкості світла у вакуумі як фундаментальної фізичної константи, що пов'язує різні розділи фізики і є проявом єдності фізичної картини світу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Одна з характерних рис фізики – кількісний характер її законів: чи говоримо ми про закон Ома або законів Ньютона, закон всесвітнього тяжіння або закон Кулона – завжди виразом закону виявляється математичне співвідношення між фізичними величинами. До багатьох співвідношень, що виражають закони фізики, входять деякі постійні – так звані фізичні константи. Це, наприклад, гравітаційна стала в законі всесвітнього тяжіння, питома теплоємність в рівнянні теплового балансу, швидкість світла в законі Ейнштейна, що зв'язує масу тіла і його повну енергію. Багато фізичних постійних названі так вельми умовно. Дійсно, якщо замість води нагрівається спирт, то у відповідних рівняннях доводиться використовувати

іншу величину теплоємності. Такими "відносними" сталими є коефіцієнт тертя, питомий опір, густина та ін. Але  $\epsilon$  і константи, які не змінюють свого значення в залежності від обставин. Наприклад, гравітаційна стала не залежить від матеріалу взаємодіючих тіл, а швидкість світла у вакуумі – від частоти світлової хвилі. Саме внаслідок своєї універсальності подібні константи названі світовими, або фундаментальними постійними. Величини фундаментальних постійних визначають найважливіші особливості всього фізичного світу – від елементарних частинок до найбільших астрономічних об'єктів [8; 11].

Швидкість світла  $c$  пов'язана з фізичними законами, що відносяться до самих, здавалося б, далеких розділів фізики. Ця постійна входить в перетворення Лоренца в спеціальній теорії відносності, вона пов'язує електричну і магнітну постійні:  $c = 100$ . Формула Ейнштейна  $E = mc^2$  дозволяє розрахувати кількість енергії, що виділяється при ядерних перетвореннях. Така поширеність константи  $c$  служить для сучасної фізики яскравим проявом єдності фізичного світу і правильності шляху, яким розвивається наука про природу. Шлях до розуміння цієї єдності був довгим. З часу першого визначення значення швидкості світла у вакуумі пройшло більше трьохсот років. Іноді за вимірами цієї величини стояли роки цілеспрямованих пошуків, роботи з удосконалення методів вимірювання і наукових приладів, а іноді величина  $c$  виникала в експериментах несподівано, ставлячи перед вченими питання, що стосувалися самих глибин фізичної науки. Вимірювання швидкості світла у вакуумі спростовували і підтверджували фізичні теорії, сприяли прогресу техніки. Без перебільшення можна сказати, що історія визначення швидкості світла являє собою «малу історію фізики» [6; 13].

Особливо цікавим в цьому сенсі є дослід датського фізика Олафа Рьомера. Проаналізувавши результати багаторічних спостережень, датський астроном у вересні 1676 р. виступив перед членами Паризької Академії наук з доповіддю, в якій

передбачив, що затемнення першого супутника Юпітера, яке повинно було б за розрахунками відбутися 9 листопада того ж року в 5 год 25 хв 45 с, в дійсності буде спостерігатися на десять хвилин пізніше. Це запізнення він пояснював скінченністю швидкості поширення світла: на думку Рьомера, світлу необхідно близько 22 хв, щоб пройти відстань, рівну діаметру земної орбіти. Спостереження листопадового затемнення блискуче підтвердило прогноз вченого. До цього видатного історичного моменту швидкість світла вважалась нескінченною.

Звичайно, міркування Рьомера можуть дати лише наближену величину  $c$ : він не врахував зсув Юпітера, що відбувається за час спостережень, припустив, що світлу від супутника при закінченні спостережень потрібно пройти відстань більшу, ніж на початку спостережень, в точності на величину діаметра земної орбіти тощо. Всі перераховані припущення слід мати на увазі, щоб отримати якомога точніше значення  $c$ . Але перед Рьомером таке завдання не стояло. Йому важливо було отримати оцінку швидкості світла за порядком величини і тим самим довести скінченність швидкості світла. У першому повідомленні про своє відкриття він взагалі не навів конкретного значення швидкості світла. Ця обережність була цілком виправдана, оскільки на той час діаметр земної орбіти був визначений лише приблизно. Величина  $c = 214000$  км/с, яку часто приводять як швидкість світла, обчислену Рьомером, є не що інше, як результат пізніших оцінок, виконаних на основі збережених спостережень Рьомера. Не зважаючи на похибку першого визначення значення швидкості світла, головна мета – доказ її скінченності - була досягнута! Рьомер помер 19 вересня 1710 р., так і не дочекавшись підтвердження відкриття, що увіковічило його ім'я.

Ще одним визначальним етапом у вимірюванні швидкості світла став дослід молодого французького фізика Армана Фізо (1819–1896), який працював в паризькій обсерваторії. Особливим дослід Фізо був тим, що проводився не з астрономічними тілами, а в земних умовах (рис. 1).



Рис. 1. Схема досліду Фізо. А – джерело світла,  $m_1$  – напівпрозоре дзеркало,  $m_2$  – плоске дзеркало, а – зубчасте колесо,  $O_1$  –  $O_3$  – об'єктиви,  $O_4$  – окуляр

Параметри установки Фізо такі. Джерело світла і дзеркало  $m_1$  розташовувалися в будинку батька Фізо поблизу Парижа, а дзеркало  $m_2$  – на Монмартрі. Відстань між дзеркалами становила  $l \approx 8,66$  км, колесо мало 720 зубців. Воно оберталося під дією годинникового механізму, який

приводиться в рух вантажем, що опускається. Використовуючи лічильник обертів і хронометр, Фізо виявив, що перше затемнення спостерігається при швидкості обертання колеса  $x = 12,6$  об/с. Час руху світла  $t = 2lc$ , тому  $2lc = 360^\circ 2n\psi$ , де  $\psi = 360^\circ x$ . Звідси,  $2lc = 360^\circ 2n360^\circ$ , і  $c = 4nlx$ .

Підстановка чисельних значень  $n$ ,  $l$  і  $x$  дає  $c=3,14 \cdot 10^8$  м/с, тобто величину, хоча й більшу отриманої з астрономічних спостережень, але близьку до неї. Незважаючи на значну похибку вимірювань, дослід Фізо мав величезне значення - можливість визначення швидкості світла "земними" засобами була доведена, про що після завершення описаних експериментів Фізо доповів в 1849 р.

Як і навіщо вимірювалася швидкість світла? Яке значення цієї величини для фізичної науки? Спробуємо надати відповіді на ці запитання.

Історія розвитку науки знає багато прикладів, коли в якійсь доволі «тихій» області несподівано відбувається буквально «виверження» нових фактів та ідей, які починають утворювати новий сегмент знань. Внаслідок цього відбувається перехід даної області науки до нового етапу розвитку. Але кожна така «несподіваність» має свої глибокі причини.

Такі незвичайні, майже «вулканічні» періоди активності знає й історія оптики. Перший такий період відноситься до другої половини XVII ст. Менше, ніж за п'ятнадцять років були зроблені відкриття, які заклали основи фізичної оптики. Що ж такого незвичайного відбулось в цей період?

1665 р. побачила світ книга Ф. Гримальді з описанням дослідів з дифракції світла; публікується книга Р. Гука, в якій описані кольори тонких плівок – одне із проявів інтерференції світла.

У 1669 р. Е. Бартолін повідомляє про спостереження подвійного променезаломлення в ісландському шпаті.

1672 рік – з'являється мемуар І. Ньютона з описанням його дослідів, що доводять об'єктивний характер кольору.

1676 рік – О. Рьомер доводить скінченність швидкості світла.

1677 рік – Х. Гюйгенс проводить досліди з поляризації світла.

За мізерний за історичними масштабами період обличчя оптики майже повністю перетворилося. Однак, XVII ст. було ознаменоване не лише блискучими експериментальними відкриттями. Це час народження двох теорій світла, в основі яких лежали різні уявлення про його природу [9].

Прихильники однієї – *корпускулярної теорії* – вважали світло частинками особливого походження. Друга – *хвильова теорія* – базувалась на припущенні, що світло – це рух деякої тонкої матерії – ефіру. Створення корпускулярної теорії пов'язують зазвичай з іменем І. Ньютона, хоча в дійсності його уявлення про природу світла та механізми його поширення неможливо однозначно назвати корпускулярними. Зокрема, Ньютон першим звернув увагу на періодичність, що виникає в оптичних явищах. Найбільший внесок в розвиток хвильових уявлень внесли Гук та Гюйгенс.

Однак, не слід думати, що хвильова теорія остаточно сформувалась в той час: Гук та Гюйгенс не могли пояснити ряд оптичних явищ, і, окрім цього, їхні уявлення суттєво відрізнялись від сучасних. Наприклад, Гюйгенс сформулював принцип: будь-яка точка, до якої дійшло світлове

збурення, стає джерелом вторинних хвиль. Однак, на думку Гюйгенса, у збуреннях, які поширюються в ефірі відсутня будь-яка періодичність, тобто в його теорії розглядається поширення не хвиль, а імпульсів. Зрозуміло, що на основі таких припущень неможливо пояснити явища дифракції та інтерференції, обумовлені саме періодичністю хвиль.

Не можна сказати, що в кінці XVII ст. були приведені вирішальні докази на користь однієї з теорій світла. З ряду причин, не остання з яких - авторитет Ньютона, в XVIII ст. більшою популярністю користувалася спрощена (в порівнянні з ньютонівською) корпускулярна теорія. Лише деякі були прихильниками теорії Гука – Гюйгенса, і серед них – Ейлер, Франклін, Ломоносов. Це «століття розуму», як його іноді називають, крім відкриття аберації світла, не збагатило оптику якісно новими уявленнями. В теорії оптичних явищ спостерігався застій.

Новий підйом досліджень в галузі фізичної оптики відноситься до самого початку XIX ст. У цей час з'явилися роботи англійського фізика і лікаря Томаса Юнга (1773–1829), в яких він сформулював принцип інтерференції. З аналізу численних дослідів Юнг зробив висновок, що світлові обурення мають періодичність, що це - хвилі, які, накладаючись, можуть або посилюватися, або взаємно знищуватися. У своїх роботах вчений широко користувався аналогіями між акустичними і оптичними явищами, між світлом і хвилями на воді. Слідом за Юнгом хвильові уявлення про світло розвивав видатний французький вчений Огюстен Френель (1788–1827). Він доповнив принцип Гюйгенса ідеєю інтерференції вторинних хвиль (тепер цей принцип називається принципом Гюйгенса– Френеля), пояснив основні закономірності дифракції та прямолінійність поширення світла у вільному просторі - факт, що служив протягом десятиліть каменем спотикання для прихильників хвильової теорії світла.

Гостра дискусія між прихильниками корпускулярної і хвильової теорій виникла з питань, пов'язаних з поляризацією світла. Хоча Френель і висунув ідею про поперечність світлових хвиль, вона не вважалася досить переконливою, оскільки для її пояснення пружному ефіру – переноснику світлових збурень – необхідно було приписати парадоксальні властивості: він повинен бути дуже твердим і в той же час не чинити опору рухові тіл.

В цілому, однак, хвильова теорія поступово завойовувала визнання фізиків. Витончена з математичної точки зору корпускулярна теорія відомих французьких вчених Ж.Б. Біо і С.Д. Пуассона виглядала дуже штучно в порівнянні з теорією Френеля. Проте, для остаточної перемоги хвильових уявлень необхідно було провести такий дослід, результати якого могли бути пояснені тільки на їх основі. Такі принципові експерименти фізики називають вирішальними (*experimentum crucis*). В якості вирішального розглядався дослід, який

полягав у порівнянні швидкостей світла в речовинах з різними коефіцієнтами заломлення.

Пояснення явища заломлення світла з позицій нової теорії частково нагадує пояснення Декарта. Частинка світла, падаючи на границю поділу з менш щільного середовища, не змінює компоненту швидкості, паралельну цій границі. У той же час нормальна компонента швидкості частинки зростає: тільки так можна пояснити експериментальний факт – при переході світла, наприклад, з повітря в скло або воду кут падіння виявляється більше кута заломлення. Зауважимо, що подібна точка зору не така вже й безглузда. Аналогом описаного ефекту може бути проходження зарядженої частинки, наприклад, електрона, через тонкий сітчастий конденсатор, заряджений таким чином, що електрон, потрапляючи в область між обкладками конденсатора, прискорюється. Подібність законів руху заряджених частинок із законами геометричної оптики дозволило в ХХ ст. створити новий науковий напрям – *електронну оптику*.

Найважливіший постулат нової теорії був такий, що швидкість світла в речовині тим більша, чим більший коефіцієнт заломлення, що характеризує речовину. Хвильова теорія з часів Гюйгенса стверджувала протилежне. З цього закону випливає, що відносний коефіцієнт заломлення дорівнює оберненому відношенню швидкостей світла в цих середовищах:

$$n_2 = \frac{n_1}{v_2} = \frac{v_1}{v_2},$$

тобто якщо  $n_2 > n_1$ , то  $v_2 < v_1$ .

Таким чином, вимір швидкості світла в різних середовищах задовольняло найважливіший вимозі, висунутій до вирішального досліду: вибір на користь тієї чи іншої теорії міг бути зроблений навіть при чисто якісній постановці досліду. Якщо швидкість світла в повітрі виявиться більшою, ніж, наприклад, у воді, то слід визнати справедливості хвильової теорії, якщо результат досліду буде зворотним – перемога за корпускулярною теорією.

Ідея зрозуміла, але так само очевидні й труднощі, що стоять на шляху її реалізації. Основна проблема полягає в тому, що дослід треба проводити на Землі, астрономія тут не допоможе. Отже, відстані, які повинно проходити світло під час досліду, не можуть перевищувати декількох кілометрів. Значить, потрібно розробити метод реєстрації процесів, що протікають за нікчемні частки секунди: якщо довжина шляху світла  $l = 30$  км, то час його руху  $t = 10^{-4}$  с. В наші дні такі проміжки часу здаються фізикам величезними, але в першій половині ХІХ ст. їх вимірювання становило серйозну технічну задачу.

Рубіж ХІХ і ХХ ст. ознаменувався не тільки безліччю цікавих експериментальних відкриттів. У першому десятилітті ХХ в. була висунута нова гіпотеза про природу світла - ідея про кванти світла (фотони). Відповідно до цієї теорії світло являє собою потік часток – фотонів, що рухаються зі швидкістю  $c$  і володіють енергією  $h\nu$  ( $h$  – універсальна постійна – постійна Планка,  $\nu$  –

частота світла). Виявилось, що квантові властивості світла виявляються тим сильніше, чим більша частота фотона. Досліди з рентгенівськими і  $\gamma$ -променями дали найважливіші свідчення на користь квантової теорії випромінювання. Підсумком розвитку поглядів на природу світла і електромагнітного випромінювання в цілому стало уявлення про випромінювання як складний об'єкт, що володіє як хвильовими, так і квантовими властивостями [1].

Ланцюг подій, пов'язаних з історією швидкості світла, проходить через багато розділів фізики. Астрономічні спостереження Рьомера і Брэдлея довели граничність швидкості поширення світла, а оцінки, виконані на основі цих спостережень, познайомили вчених з новими, воістину космічними масштабами величин. Перші «земні» досліди з визначення швидкості світла вирішили півтора вікову суперечку між прихильниками корпускулярної і хвильової теорії світла на користь останньої. Досліди з вимірювання електродинамічної постійної дали в руки фізиків важливе свідчення про зв'язок між оптичними та електромагнітними явищами. Вимірювання швидкості світла в речовині сприяли зміцненню позицій загальної теорії хвильових процесів, в якій принциповими виявляються поняття про фазову і групову швидкості світла. Досліди в області оптики рухомих тіл зіграли важливу роль в зміні поглядів на властивості простору і часу, сприяли зміцненню позицій спеціальної теорії відносності. Вимірювання швидкості поширення електромагнітних хвиль різних діапазонів дали важливе підтвердження правильності наших фундаментальних уявлень про навколишній світ. Нарешті, останні вимірювання величини  $c$  змушують фізиків по-новому підійти до проблеми метрології, без якої наукове вивчення природи неможливо. Отже, астрономія, оптика, електромагнетизм, СТВ, метрологія. І це далеко не повний перелік областей, які зачіпає, здавалося б, настільки приватна проблема, як визначення швидкості світла.

**Висновки та перспективи подальших розвідок напреду.** І все ж сказати, що питання про те, чи є швидкість світла у вакуумі граничною швидкістю поширення сигналів остаточно вирішене, мабуть, не можна. Останні п'ятдесят років на сторінках наукових журналів йде обговорення проблеми, що стосується існування частинок, які рухаються з надсвітловою швидкістю. Найбільшою популярністю користуються гіпотетичні частинки з уявною масою, яким американський фізик Дж. Фейнберг дав назву «тахіони». Проведена велика теоретична робота з аналізу наслідків «тахіонної гіпотези». Зроблені спроби пояснити результати ряду експериментів існуванням «надсвітлових» частинок. Однак, доводиться констатувати, що на сьогоднішній день реальність цих об'єктів не доведена. З іншого боку, ніхто поки не спростував ідею про тахіони.

Кінця проблемам, пов'язаним з «найбільшою швидкістю», не видно. Багато з питань, про які йшла мова в статті, ще не отримали остаточної відповіді. А це значить, що вони залишаються актуальними в наші дні і вимагають ретельного вивчення і аналізу.

**СПИСОК ДЖЕРЕЛ**

1. Бугайов О.І. Квантова фізика / О.І. Бугайов, Л.Г. Горбунцова, В.І. Савченко // Дидакт. матеріал. – К.: Рад. шк., 1988. – 87 с.
2. Величко С.П. Вивчення основ квантової фізики / С.П. Величко, Л.Д. Костенко // Посібник для студентів ВНЗ. – Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка, 2002. – 274 с.
3. Гончаренко С.У. Формування наукового світогляду учнів під час вивчення фізики / С.У. Гончаренко. – К.: Рад. шк., 1990. – 208 с.
4. д'Інверно Р. Представляємо відносність Ейнштейна. Oxford University Press. – 1992. – С. 19–20.
5. Куликовський С. Теорія відносності / С. Куликовський // Фізика та астрономія в школі. – 2007. – № 1. – С. 44–48.
6. Ляшенко О.І. Формування фізичного знання в учнів середньої школи: Логіко-дидактичні основи / О.І. Ляшенко. – К.: Генеза, 1996. – 128 с.
7. Мендельсон К.К. (2006). Історія с. Американський фізичний журнал 74 (11): 995–997.
8. Ньютон І. Оптика, или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света / И. Ньютон // Пер. с англ. С.И. Вавилов. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. – 365 с.
9. Окунь Л.Б. Фундаментальные константы физики / Л.Б. Окунь // Успехи физических наук. – 1991. – Т. 161, №9. – С. 177–194.
10. Садовий М.І. Історія фізики з перших етапів становлення до початку ХХІ століття: [навч. посібн. для студ. ф.-м. фак. вищ. пед. навч. закл.] / М.І. Садовий, О.М. Трифонова. – Кіровоград: ПП «ЦОП «Авангард», 2013. – [2-ге вид. переробл. та доп.] – 436 с.
11. Спиридонов О.П. Фундаментальные физические постоянные / Олег Павлович Спиридонов. – М.: Высшая школа, 1991. – 238 с.
12. Стейчел Дж. Дж. (2002). Ейнштейн від "В" до "Z" - Том 9 досліджень Ейнштейна. Спрингер. с. 226. ISBN 0-8176-4143-2.
13. Томилиן К.А. Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах / Константин Александрович Томилиן. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 368 с.
14. Трифонова О.М. Структурно-логічний підхід до удосконалення викладання фізики атома і атомного ядра / О.М. Трифонова // Наукові записки. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2014. – Вип. 60. – С. 225–230.
15. Харріс Дж. У. (2002). Довідник з фізики. Спрингер. с. 499.

**REFERENCES**

1. Bugaev, O.I. (1988 ) *Kvantova fizyka* [Quantum physics]. Kyiv.
2. Velichko S.P. (2002) *Vyvchennia osnov kvantovoi fizyky* [The study of the fundamentals of quantum physics]
3. Goncharenko, S.U. (1990) *Formuvannia naukovoho svitohliadu uchniv pid chas vyvchennia fizyky* [Formation of scientific worldview of students during the study of physics]. Kyiv.
4. d'Inverno, R (1992). *Predstavliaiemo vidnosnist Einsteina* [Introducing Einstein's Relativity. Oxford].
5. Kulikovskiy, S. (2007) *Teoriia vidnosnosti* [The theory of relativity].
6. Lyashenko, O.I. (1996) *Formuvannia fizychnoho znannia v uchniv serednoi shkoly: Lohiko-dydaktychni osnovy* [Formation of physical knowledge in high school students]. Kyiv.
7. Mendelson, KS (2006). *Istoriia c.* [The story of c].
8. Newton, I. (1954) *Optyka, yly traktat ob otrazheniyakh, prelomleniyakh, yzghybaniyakh y tsvetakh sveta* [Optics, or a treatise on reflections, refractions, bends, and colors of light]. Moscow.
9. Ocun, L.B. (1991) *Fundamentalnye konstanty fizyky* [Fundamental constants of physics].
10. Sadoviy, M.I. Tryfonova, O.M. (2013) *Istoriia fizyky z pershykh etapiv stanovlennia do pochatku 21 stolittia* [History of physics from the first stages of formation to the beginning of the XXI century]. Kirovograd.
11. Spiridonov O.P. (1991). *Fundamentalnye fizycheskye postoiannye* [Fundamental physical constants].
12. Stachel, JJ (2002). *Einshtein vid "B" do "Z" - Tom 9 doslidzhen Einsteina. Sprynher* [Einstein from «B» to «Z» – Volume 9 of Einstein studies. Springer]
13. Tomilin K.A. (2006) *Fundamentalnye fizycheskye postoiannye v ystorycheskom y metodolohycheskom aspektakh* [Fundamental physical constants in historical and methodological aspect]. Moscow.
14. Tryfonova O.M. (2014) *Strukturno-lohichnyi pidkhid do udoskonalennia vykladannia fizyky atoma i atomnoho yadra* [Structural-logical approach to improving the teaching of the physics of the atom and the atomic nucleus]. Kirovograd.
15. Harris, JW (2002). *Dovidnyk z fizyky.* [Handbook of Physics].

**ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА**

**ФЕДОРЕНКО** Владилена Петрівна – викладач вищої категорії циклової комісії фізико-математичних дисциплін Криворізького медичного коледжу.

**Наукові інтереси:** дидактика фізики та біофізики; навчання майбутніх медиків.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**FEDORENKO** Vladylena Petrivna – the highest categorys' teacher of physical and mathematical disciplines' cyclic commission of Kryvyj Rih Medical College.

**Circle of research interests:** didactics of physics and biophysics; training of future physicians.

*Стаття надійшла до редакції 10.11.2019 р.*