

Б. А. Сусь<sup>1</sup>, Б. Б. Сусь<sup>2</sup>, М. І. Кравченко<sup>3</sup><sup>1</sup>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації<sup>2</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка<sup>3</sup>Університет Теннессі, США

e-mail: bogdansus@gmail.com

**ДИФРАКЦІЯ ЯК ТЕМА ФІЗИКИ ДЛЯ РОЗВИТКУ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ СТУДЕНТІВ**

Дифракція світла традиційно розглядається як хвильове явище, так, ніби світлова хвиля поширюється в середовищі. Для пояснення дифракції застосовується принцип Гюйгенса–Френеля, який справедливий для поширення хвиль у середовищі. При цьому вважається, що в дифракції основну роль відіграє відкрита частина хвильової поверхні біля перешкоди. У роботі показується, що оскільки світло – це потік частинок – фотонів, то дифракцію треба розглядати як явище корпускулярне і для його пояснення застосовувати корпускулярний підхід. Показано, що коли перешкода у вигляді щілини, то дифракція відбувається на двох краях щілини, які перевипромінюють світло в область тіні і є когерентними джерелами. У результаті дифракції на двох краях виникає інтерференційна картина з максимумів і мінімумів. Таким чином, критичний аналіз суперечливих трактувань дифракції сприяє розвитку критичного мислення і компетентнісного становлення майбутнього вчителя фізики.

**Ключові слова:** дифракція, принцип Гюйгенса–Френеля, хвильовий підхід, корпускулярний підхід, інтерференційна картина, критичне мислення.

**Формулювання проблеми.** Компетентнісне становлення майбутнього вчителя фізико-технологічного профілю потребує розвитку критичного мислення. Існують традиційні методи розгляду низки проблемних питань фізики, для яких характерна абстрактність чи умовність понять (електричний заряд, електричне поле, магнітне поле). До таких проблемних питань відноситься також дифракція світла, яка традиційно розглядається на основі принципу Гюйгенса як хвильове явище. В статті на основі аналізу експериментальних даних дифракція аналізується з точки зору корпускулярного підходу і показується, що насправді це явище корпускулярне і в дифракції має значення не відкрита частина хвильової поверхні, а гострі краї перешкоди. Критичний аналіз явища сприяє розвитку критичного мислення і компетентнісного становлення майбутнього вчителя.

**Розгляд проблеми.** Дифракція за традиційним визначенням – це заходження хвиль за перешкоду на шляху їх поширення.

Якщо розглядати хвилі на воді, то на краях перешкоди відбувається завихрення і вони стають ніби центрами збурення нових хвиль, які поширюються за перешкоду (рис. 1). Тому дифракцію хвиль як **коливання середовища** слід розглядати як явище хвильове.

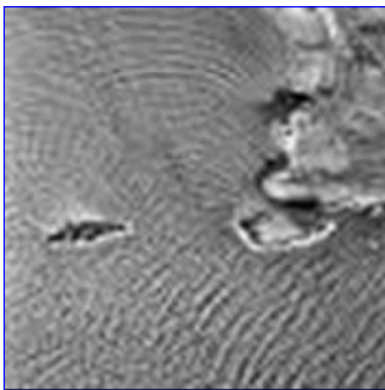


Рис. 1. Дифракція хвиль на воді

Світло також заходить за край перешкоди в область тіні. Слід звернути увагу, що при розгляді питання дифракції світла наголошується, що край перешкоди повинен бути різким, гострим. Це принципово важливо для спостереження дифракції, бо різкі краї перешкоди стають новими точковими чи лінійними джерелами хвиль, від яких світло заходить в область тіні. Проміння, потрапляючи на перешкоду, збуджує атоми і в результаті відбувається перевипромінювання. Так ми спостерігаємо промені, відбиті від поверхні – поверхня блищить.

Від краю перешкоди світло може перевипромінюватися в різні сторони, навіть в область тіні, що легко продемонструвати (рис. 2). Якщо направити лазерний промінь на край леза бритви, то в області тіні з'являється освітлена частина. Це і є дифракція світла.

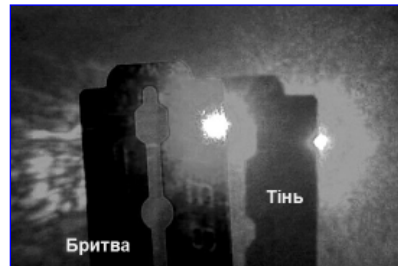


Рис. 2. Дифракція променя лазера на краю бритви

Однак існує особливість **традиційного пояснення** дифракції світла. Вона полягає в тому, що дифракцію світла розглядають на **перешкоді не з одним краєм, а з двома** або більшою кількістю **різких країв**. Саме це породжує проблему у трактуванні, бо розглядається дифракція не на краю перешкоди, а на щілині з **двома краями**. І від кожного краю світло може заходити в область тіні. Аналогічно відбувається дифракція на диску, у якого теж є протилежні краї. Або може бути багато вузьких щілин – так звана дифракційна ґратка. При такому розгляді дифракції світла, коли є два або більше різких країв перешкоди, закладається підміна понять – відбувається змішування різних за фізичним змістом явищ – дифракції і інтерференції, і трактування їх як одного явища. По суті замість явища дифракції насправді розглядається інтерференція від двох або більше дифрагованих променів. Відомі різні способи створення когерентних джерел – бідзеркала Френеля, біпризма Френеля, відбивання променя від тонких плівок та інші. В даному випадку маємо **перевипромінювання** на двох гострих краях перешкоди – і це ще один із способів одержання когерентних джерел.

Але традиційно отримана інтерференційна картина тлумачиться як дифракція. Таке змішування різних фізичних явищ дуже виразно проявляється у Фейнмана: «До цього часу нікому не вдалось задовільно означити різницю між дифракцією і інтерференцією. Справа тут лише в звичці, а істотної фізичної відмінності між цими явищами немає» [1]. Насправді ж різниця між дифракцією і інтерференцією є і вона принципова. Щоб показати це, розглянемо детальніше суть проблеми.

**Що таке «дифракція на щілині»?** Коли розглядається дифракція світлових променів на двох краях щілини, то насправді отримуємо два джерела хвиль, якими стають ці краї. Від одного й другого джерела перевипромінюються хвилі, які заходять за перешкоду в область тіні і на екрані створюють картину із максимумів і мінімумів (рис. 3).

Гострі краї перешкоди  $S_1$  і  $S_2$  діють як когерентні джерела і на екрані в області тіні спостерігається **інтерференційна картина**.

Якщо поміряти ширину щілини  $d$  (відстань між джерелами), відстань від щілини до екрана  $l$  і відстань між двома максимумами  $\Delta$ , то за формулою для інтерференції від двох когерентних джерел можна визначити довжину хвилі світла:  $\lambda = d/l\Delta$  [1], яка в межах похибки співпадає з довжиною хвилі лазера.

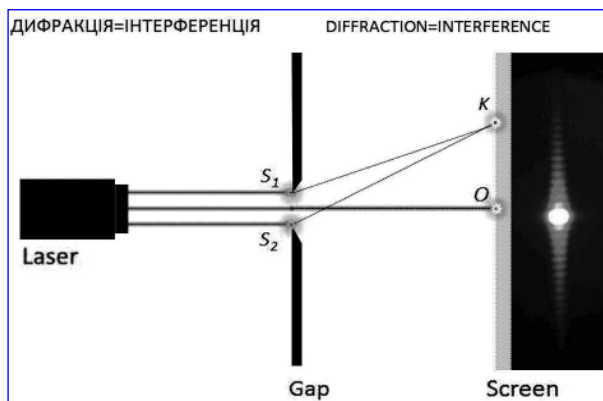


Рис. 3. Дифракція світлового променя на двох краях щілини

Нами такі вимірювання були проведені. Виявилось, що в експерименті при ширині щілини  $d = 0,28$  мм, відстані від щілини до екрана  $l = 100$  см на проміжку  $h = 10,0$  см спостерігалось 36 максимумів (тобто, відстань між двома сусідніми максимумами  $\Delta x \approx 2,8$  мм), розрахована за формулою (1) довжина хвилі  $\lambda = 0,66$  мкм, що в межах похибки вимірювання  $\Delta\lambda = 0,04$  мкм збігається з довжиною хвилі гелій-неонового лазера ( $\lambda = 0,63$  мкм).

Таким чином, дифракція світла на щілині – це **перевипромінювання фотонів як частинок світла на двох гострих краях перешкоди, які можна вважати точковими (лінійними) джерелами**. Випромінювання точкових джерел відбувається як в область тіні, де можна спостерігати інтерференційну картину, так і в зворотну сторону.

На рис. 4 показана інтерференція дифрагованого променя на дифракційній ґратці (ДГ), тобто на структурі з багатьма вузькими щілинами і відповідно з багатьма краями перешкоди, на яких відбувається перевипромінювання в область тіні (екран  $\epsilon_1$ ). На екрані  $\epsilon_1$  за дифракційною ґраткою видно максимуми (+1) і (+2).

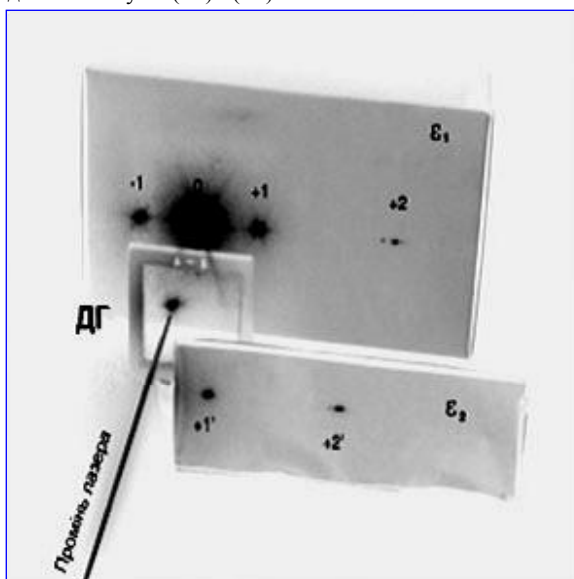


Рис. 4. Інтерференція дифрагованого променя на дифракційній ґратці

Цікаво, що таке перевипромінювання відбувається не тільки в область тіні (екран  $\epsilon_1$ ), але й у зворотну сторону (на екран  $\epsilon_2$ ), де спостерігаються такі ж максимуми першого (+1') і другого (+2') порядків. Це означає, що краї перешкоди справді стають **дифракційними джерелами** випромінювання, які дають **інтерференційну** картину на екрані при накладанні їх променів.

#### Некоректність застосування принципу Гюйгенса-Френеля для світла як хвиль-частинок

Для пояснення явища дифракції традиційно використовується принцип Гюйгенса-Френеля, особливість якого в тому, що хвильова поверхня розбивається на зони, виходя-

чи з умов, що світло від сусідніх зон в точку спостереження приходить з різницею ходу  $\lambda/2$  (рис. 5). Це означає, що сусідні зони знаходяться в протифазі і результат освітлення залежить від кількості відкритих зон.

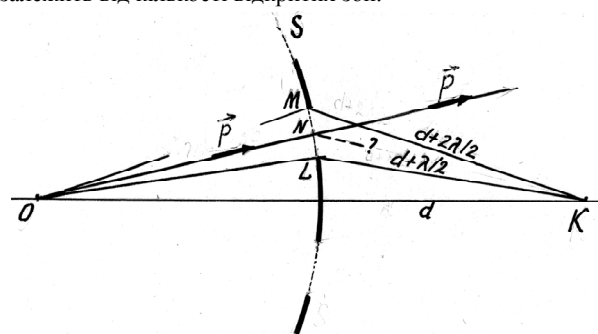


Рис. 5. Принцип Гюйгенса-Френеля не має змісту для хвиль-частинок

Традиційно вважається, що дифракційну картину на екрані створюють вторинні хвилі, які згідно з принципом Гюйгенса йдуть від **відкритої ділянки ML** хвильової поверхні  $S$ . Зауважимо, що **такий підхід прийнятний для хвилі у середовищі, де дійсно кожна точка хвильової поверхні перебуває в коливальному стані і її можна вважати джерелом нових хвиль**. Але принцип Гюйгенса-Френеля не має змісту для хвиль-частинок [2]. Справді, оскільки принцип Гюйгенса передбачає, що кожна точка хвильової поверхні є центром нових хвиль, то це означає, що світло від кожної такої точки відкритої ділянки, наприклад з точки  $N$ , може прийти у точку  $K$  (рис. 5). Однак, з корпускулярних позицій таке неможливе, тому що фотон – це **частинка світла**, для якої існує закон збереження «імпульсу»  $\vec{P}$ , і в точці  $N$  вона (частинка) напрям свого «імпульсу» змінити не може, а значить потрапити в точку  $K$  також не може. Таким чином, зони Френеля не можуть бути тими елементами хвильової поверхні, які випромінюють світло в точку спостереження  $K$ .

Однак **на краях перешкоди** (точки  $L, M$  на рис. 5) **фотон може змінити напрям «імпульсу»**, оскільки світло, збуджує атоми і відбувається перевипромінювання, яке з гострих країв перешкоди можливе у різні сторони, зокрема і в область тіні. Тому тільки з краю перешкоди (а не з точки  $N$ ) світло може потрапити в точку  $K$ .

**Висновки.** Взагалі дифракція може бути як хвильовим явищем, так і корпускулярним. Коли хвиля поширюється в середовищі – дифракцію слід розглядати як явище хвильове. У випадку світла маємо справу з частинками – фотонами, тому дифракція світла – явище корпускулярне і для його спостереження ніяке середовище для поширення світлових хвиль не потрібне. Відповідно й пояснювати **дифракцію світла** потрібно як явище корпускулярне. У випадку щілини дифракція відбувається на двох краях щілини, які перевипромінюють світло в область тіні, в результаті чого виникає **інтерференційна картина** максимумів і мінімумів.

#### Список використаних джерел:

1. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Т. 3. Излучение. Волны. Кванты / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сендс. – М.: Мир, 1965. – С. 61.
2. Савельев И.В. Курс общей физики, т. 2 / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1978. – 480 с.
3. Sus' B.A. Unusual interpretation of traditional physics problems. The third scientific-methodological edition / B.A. Sus', B.B. Sus', O.V. Kravchenko. – Kyiv: PC «Prosvita», 2012. – 121 pages.

Б. А. Сусь<sup>1</sup>, Б. Б. Сусь<sup>2</sup>, М. И. Кравченко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Военный институт телекоммуникаций и информатизации  
<sup>2</sup>Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко  
<sup>3</sup>Университет Теннесси, США

#### ДИФРАКЦІЯ КАК ТЕМА ФИЗИКИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ СТУДЕНТОВ

Дифракция света традиционно рассматривается как волновое явление, как-будто световая волна распространя-

ється в середі. Для пояснення дифракції традиційно використовується принцип Гюйгенса–Френеля, який справедливий для розповсюдження хвиль в середі. При цьому вважається, що в дифракції основну роль грає відкрита частина хвильової поверхні поруч з перешкодою. В роботі показується, що оскільки світ – це потік частинок – фотонів, то дифракцію слід розглядати як явище корпускулярне і для його пояснення застосовувати корпускулярний підхід. Показано, що коли перешкода в формі щілини, то дифракція відбувається з двох країв щілини, які переизлучають світ в область тіні і є когерентними джерелами. В результаті дифракції з двох країв виникає інтерференційна картина максимумів і мінімумів. Таким чином, критичний аналіз суперечливих трактувань дифракції сприяє розвитку критичного мислення і компетентного становлення майбутнього вчителя фізики.

**Ключові слова:** дифракція, принцип Гюйгенса–Френеля, хвильовий підхід, корпускулярний підхід, інтерференційна картина, критичне мислення.

B. A. Sus<sup>\*1</sup>, B. B. Sus<sup>\*2</sup>, M. I. Kravchenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Military Institute of telecommunications and informatization

<sup>2</sup> Taras Shevchenko National University of Kyiv

<sup>3</sup> University of Tennessee, USA

#### DIFFRACTION AS A SUBJECT OF PHYSICS FOR THE DEVELOPMENT OF STUDENTS CRITICAL THINKING

Diffraction of light is traditionally regarded to a wave phenomenon, as if a light wave propagates in a medium. For the explanation of diffraction, the Huygens-Fresnel principle is traditionally used. It is valid only for the propagation of waves in a medium. It is assumed that in the diffraction the main part is played by the covered part of the wave surface near the obstacle. It is shown that since light is a stream of particles – photons, the diffraction should be considered as a corpuscular phenomenon and use the corpuscular approach for its explanation. It is shown that in the obstacle is in the form of a slit, the diffraction occurs at the two edges of the slit, which re-emit light into the shadow region and are original coherent sources. As a result of diffraction at two edges, an interference pattern of maxima and minima appears. A critical analysis of the contradictory interpretations of diffraction promotes the development of critical thinking and the competent formation of the future teacher of physics.

**Key words:** diffraction, the Huygens-Fresnel principle, wave approach, corpuscular approach, an interference pattern, critical thinking.

Отримано: 4.09.2017

УДК 53:37.022

В. В. Фоменко

Львівська академія Національного авіаційного університету

e-mail: vfom@ukr.net

### ОСНОВНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ ФІЗИЧНОГО МИСЛЕННЯ В КУРСІ ЗАГАЛЬНОЇ ФІЗИКИ ДЛЯ НЕФІЗИЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

У статті розглядаються деякі проблеми формування фізичного мислення особистості у фізичній освіті для нефізичних спеціальностей вищих закладів освіти. Провідними рисами фізичного мислення є: раціональність, узагальненість, модельний характер мислення, системність, практична спрямованість. Показано, що найбільшою мірою задачам формування фізичного мислення в курсі загальної фізики відповідає структурна побудова курсу, заснована на навчальних фізичних моделях систем і сформульованих на їхній основі моделях відповідних процесів та явищ, які відбуваються у цих системах. Запропоновано низку компетенцій, формування яких в процесі фізичної освіти позначатиме досягнення відповідного рівня фізичного мислення для фахівців з нефізичних спеціальностей. Це компетенції, пов'язані з умінням вибрати з переліку базисних та часткових фізичних моделей курсу таку модель системи, процесу, явища, яка найбільшою мірою відповідає потребам фізичного аналізу даної фахово-значущої ситуації, коректно сформулювати задачу моделювання, проводити якісний та кількісний аналіз даної фізичної ситуації.

**Ключові слова:** курс загальної фізики, фізичне мислення, навчальні фізичні моделі.

**Постановка проблеми.** Формування фізичного мислення особистості зазвичай декларується як одна з провідних цілей фізичної освіти, у тому числі і для нефізичних спеціальностей вищих навчальних закладів. Можна навіть стверджувати, що для цих спеціальностей досягнення в процесі навчання певного рівня фізичного мислення студентів має бути найважливішим результатом фізичної освіти. І насправді, фізику називають фундаментальною наукою не тільки тому, що її закони мають універсальний характер для усіх реальних природних та штучних систем, а, перш за все, тому, що фізичне мислення особистості, набуто у фізичній освіті є відмінним від повсякденного побутового мислення, і є основою формування технічного, інженерного та інших типів мислення спеціаліста.

У зв'язку з цим постає **низка проблем** до яких, зокрема, відносяться такі:

- зміст та основні риси того типу фізичного мислення, який є необхідним і доцільним для фахівців з нефізичних спеціальностей;
- визначення навчальних фізико-методологічних конструкцій, які належать до курсу загальної фізики, і які найбільшою мірою відповідають задачам формування фізичного мислення фахівця;
- визначення низки компетенцій, формування яких в процесі фізичної освіти фахівців з нефізичних спеціальностей позначатиме досягнення відповідного рівня фізичного мислення.

Зазначене і становить основну проблематику даної роботи.

**Аналіз актуальних досліджень.** Як свідчить аналіз літературних джерел, існує кілька думок стосовно сутності та основних рис фізичного мислення. Так, наприклад, автори роботи [1, с.179] справедливо вважають, що фізичне мислення, яке потрібно розвивати у учнів, повинно містити «способи розумової діяльності учнів у процесі оволодіння методами теоретичного пізнання: ідеалізацією та моделюванням, аналогією, явним експериментом, науковою гіпотезою. Даний стиль мислення учнів передбачає їхню пізнавальну активність, без якої є неможливим ефективний процес навчання».

Б.Б. Губін [2] з загальних гносеологічних позицій розглядає диференціацію математичного та фізичного типів мислення і пов'язує її з різницею у типології задач фізики та математики. Автори роботи [3] відзначають і досліджують характерну рису фізичного мислення, властиву багатьом видатним фізикам – його парадоксальність, під якою вони розуміють «поєднання впевненості у справедливості фундаментальних положень науки і постійного сумніву у вичерпному характері результату їхнього застосування до конкретного явища, який, як ми бачимо, може проявлятися у самих різноманітних формах» [3, с.14-15]. Питанням розвитку парадоксального характеру фізичного мислення у шкільному курсі фізики присвячена робота [4].

Аналіз наведених, а також і інших робіт свідчить, що на сьогодні єдиної думки стосовно змісту, структури та основних рис фізичного мислення не існує. Це, безумовно, пов'язано зі складністю та багатогранністю цієї проблематики. Вочевидь, мислення фізика-професіонала, фізика-виклада-