

**Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний педагогічний університет  
імені Володимира Гнатюка**

**Фізико-математичний факультет**

**Кафедра фізики та методики її навчання**

**Кваліфікаційна робота**

**МЕТОДИКА ІНТЕГРАЦІЇ НОВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ ФІЗИКИ ТА  
АСТРОНОМІЇ У ЗМІСТ НАВЧАЛЬНИХ ПРЕДМЕТІВ ЗАКЛАДІВ  
ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ**

**Спеціальність: 014 Середня освіта (за предметними спеціальностями)**

**Освітня програма: Середня освіта (Фізика та астрономія, математика)**

**Здобувача другого (магістерського)  
рівня вищої освіти  
Вознюка Сергія Олексійовича**

**НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:  
кандидат педагогічних наук, доцент  
Корсун Ігор Васильович**

**РЕЦЕНЗЕНТ:  
доктор філософії, викладач кафедри  
змісту і методик навчальних предметів  
Тернопільського обласного  
комунального інституту  
післядипломної педагогічної освіти  
Гайда Василь Ярославович**

**Тернопіль – 2025**

## АНОТАЦІЯ

**Вознюк С. О.** Методика інтеграції новітніх досягнень фізики та астрономії у зміст навчальних предметів закладів загальної середньої освіти. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» зі спеціальності 014 Середня освіта. ТНПУ ім. В. Гнатюка. Тернопіль, 2025. 55с.

Магістерська робота складається із вступу, двох розділів, висновків та списку використаних джерел.

У першому розділі розглянуто психолого-педагогічні аспекти інтеграції та міжпредметних зв'язків у процесі навчання, здійснено огляд та систематизацію новітніх досягнень фізики та астрономії, які мають потенціал для включення у шкільний курс, проаналізовано проблему відбору та структурування наукового змісту для інтеграції у навчальні предмети.

В другому розділі проведено аналіз існуючого стану інтеграції новітніх знань у чинні навчальні програми та підручники, розроблено структуру та зміст методичних рекомендацій щодо інтеграції новітніх досягнень фізики та астрономії у шкільний курс.

**Ключові слова:** інтеграція, міжпредметні зв'язки, фізика, астрономія.

## ABSTRACT

**Voznyuk S. O.** A Methodology for integrating recent advances in Physics and Astronomy into the secondary school curriculum. Qualification thesis for the degree of «Master» in the specialty 014 Secondary Education. TNPU named after V. Hnatiuk. Ternopil, 2025. 55 p.

The master's thesis consists of an introduction, two chapters, conclusions and a list of references.

The first chapter examines the psychological and pedagogical aspects of integration and interdisciplinary connections in the learning process, reviews and systematises the latest achievements in physics and astronomy that have the potential to be included in the school curriculum, and analyses the problem of selecting and structuring scientific content for integration into school subjects.

The second chapter analyses the current state of integration of the latest knowledge into existing curricula and textbooks, and develops the structure and content of methodological recommendations for integrating the latest achievements in physics and astronomy into the school curriculum.

**Keywords:** integration, interdisciplinary connections, physics, astronomy.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>                                                                                                                    | <b>4</b>  |
| <b>РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНТЕГРАЦІЇ НОВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ ФІЗИКИ ТА АСТРОНОМІЇ У ШКІЛЬНУ ОСВІТУ .....</b>                         | <b>7</b>  |
| <b>1.1. ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ АСПЕКТИ ІНТЕГРАЦІЇ ТА МІЖПРЕДМЕТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ У ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ .....</b>                              | <b>7</b>  |
| <b>1.2. ОГЛЯД ТА СИСТЕМАТИЗАЦІЯ НОВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ ФІЗИКИ ТА АСТРОНОМІЇ, ЯКІ МАЮТЬ ПОТЕНЦІАЛ ДЛЯ ВКЛЮЧЕННЯ У ШКІЛЬНИЙ КУРС .....</b> | <b>12</b> |
| <b>1.3. ПРОБЛЕМА ВІДБОРУ ТА СТРУКТУРУВАННЯ НАУКОВОГО ЗМІСТУ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ У НАВЧАЛЬНІ ПРЕДМЕТИ.....</b>                             | <b>15</b> |
| <b>ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1 .....</b>                                                                                                   | <b>21</b> |
| <b>РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ІНТЕГРАЦІЇ НОВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ ФІЗИКИ ТА АСТРОНОМІЇ ....</b>                          | <b>23</b> |
| <b>2.1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО СТАНУ ІНТЕГРАЦІЇ НОВІТНІХ ЗНАНЬ У ЧИННІ НАВЧАЛЬНІ ПРОГРАМИ ТА ПІДРУЧНИКИ.....</b>                           | <b>23</b> |
| <b>2.2. СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ МЕТОДИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ІНТЕГРАЦІЇ НОВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ ФІЗИКИ ТА АСТРОНОМІЇ У ШКІЛЬНИЙ КУРС .....</b> | <b>29</b> |
| <b>2.3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДИКИ ІНТЕГРАЦІЇ НОВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ ФІЗИКИ ТА АСТРОНОМІЇ.....</b>                 | <b>47</b> |
| <b>ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2 .....</b>                                                                                                   | <b>50</b> |
| <b>ВИСНОВКИ .....</b>                                                                                                                | <b>51</b> |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>                                                                                              | <b>53</b> |

## ВСТУП

**Актуальність.** Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена низкою чинників, а також потребою в оновленні дидактичного інструментарію вчителя.

По-перше, виклик науково-технічного прогресу та формування наукового світогляду. Сучасна наука генерує знання з безпрецедентною швидкістю. Відкриття гравітаційних хвиль, фотографування чорної діри, прогрес у сфері термоядерного синтезу та квантових обчислень вимагають від системи освіти негайного реагування. Існуючий критичний розрив між актуальним станом науки та змістом шкільних програм призводить до архаїзації знань, що викладаються. Необхідність формування в учнів цілісної, динамічної картини світу та розуміння ролі науки у технологічному розвитку суспільства робить інтеграцію новітніх досягнень пріоритетним завданням [9].

По-друге, трансформація освітнього середовища відповідно до компетентнісного підходу. Це вимагає від викладання фізики та астрономії не лише передачі теоретичних знань, але й розвитку здатності застосовувати їх у нестандартних ситуаціях, критично оцінювати інформацію та формувати власну наукову позицію. Інтеграція новітніх досягнень через навчальні кейси та проблемні ситуації є найефективнішим інструментом для розвитку цих ключових компетентностей.

По-третє, практична реалізація STEM-освіти. Впровадження STEM-підходу є стратегічним напрямом розвитку української освіти. Фізика й астрономія, як фундаментальні науки, становлять ядро STEM-компетентностей. Новітні досягнення слугують ідеальною основою для міждисциплінарних STEM-проектів, які моделюють реальні наукові завдання. Необхідність розробки чітких, структурованих методичних рекомендацій щодо застосування STEM-технологій при інтеграції нових знань є нагальною.

По-четверте, наявність методичної прогалини. Незважаючи на загальне визнання важливості оновлення змісту, у педагогічній практиці відчувається

дефіцит конкретного, апробованого методичного інструментарію. Чинні навчальні програми містять лише загальні вказівки, а вчителі не завжди мають доступ до фахових рекомендацій, які б чітко визначали: який саме науковий матеріал варто включити? на якому етапі уроку це доцільно зробити? які дидактичні засоби застосувати для його спрощення та візуалізації?

Саме тому **метою дослідження** є: розробка, теоретичне обґрунтування та експериментальна перевірка ефективності методики інтеграції новітніх досягнень фізики та астрономії у зміст навчальних предметів закладів загальної середньої освіти та формулювання на її основі методичних рекомендацій.

Для досягнення мети дослідження необхідно було виконати наступні **завдання**:

1. Проаналізувати стан проблеми інтеграції новітніх знань у педагогічній теорії та практиці.
2. Визначити ключові новітні досягнення фізики та астрономії, релевантні для включення у шкільний курс.
3. Обґрунтувати педагогічні умови та принципи інтеграції.
4. Розробити методику інтеграції (форми, методи, засоби) та критерії її ефективності.
5. Експериментально перевірити ефективність розробленої методики та на основі отриманих результатів сформулювати методичні рекомендації для вчителів закладів загальної середньої освіти.

**Об'єкт дослідження** – процес інтеграції новітніх досягнень фізики та астрономії у зміст навчання в закладах загальної середньої освіти.

**Предмет дослідження** – методика інтеграції новітніх досягнень фізики та астрономії у навчальний процес закладів загальної середньої освіти.

**Теоретичне значення** полягає в уточненні понять «інтеграція новітніх досягнень» [7] та «науковий світогляд» [3] в умовах компетентнісного підходу, систематизації змісту новітніх досягнень фізики та астрономії

відповідно до їхнього дидактичного потенціалу та рівня сприйняття учнями закладів загальної середньої освіти та теоретичному обґрунтуванні моделі методики інтеграції новітніх знань, що включає принципи, педагогічні умови та послідовність дій вчителя.

**Практичне значення:** можливість використання розроблених методичних рекомендацій у роботі вчителів та у процесі підготовки майбутніх фахівців.

**Структура кваліфікаційної роботи:** кваліфікаційна робота складається зі вступу, двох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків та списку використаних джерел.

## **РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНТЕГРАЦІЇ НОВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ ФІЗИКИ ТА АСТРОНОМІЇ У ШКІЛЬНУ ОСВІТУ**

### **1.1. ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ АСПЕКТИ ІНТЕГРАЦІЇ ТА МІЖПРЕДМЕТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ У ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ**

Ефективне впровадження новітніх досягнень фізики та астрономії неможливе без ґрунтовного розуміння психологічних механізмів засвоєння інтегрованих знань та відповідних педагогічних принципів їх подання. Міжпредметні зв'язки слугують не просто дидактичною технікою, а фундаментальним засобом формування цілісного наукового світогляду.

Інтеграційний підхід впливає на психічні процеси учнів на кількох рівнях.

*1. Когнітивний аспект (теорія перенесення знань та системне мислення).*

Головний психологічний механізм міжпредметних зв'язків – це трансфер (перенесення) знань і вмінь. Він полягає у здатності учня застосовувати теоретичні знання, отримані в межах одного навчального предмета (наприклад, математичні моделі, векторна алгебра, навички логічного програмування), для розв'язання задач в іншій предметній області (фізика, астрономія). Зарубіжні дослідження, зокрема Дж. Сміта, підкреслюють, що успішний трансфер можливий лише за умови глибокого розуміння концепцій, а не їх поверхневого запам'ятовування [12].

Інтеграція сприяє переходу від специфічного трансферу (застосування знань у схожій ситуації) до далекого трансферу (застосування у принципово новій, міждисциплінарній ситуації), що є ознакою високого рівня розумового розвитку.

Інтеграція дозволяє учням структурувати навчальний матеріал не як розрізнені факти, а у вигляді ширших, взаємопов'язаних ментальних схем (когнітивних карт).

Згідно з теорією когнітивного навантаження, це зменшує надмірне навантаження на робочу пам'ять. Замість того, щоб утримувати в пам'яті кілька ізольованих одиниць інформації, учень оперує однією, але

багатовимірною системою, що спрощує запам'ятовування, оперування та подальше відтворення інформації. Це критично важливо при вивченні складних, абстрактних понять, як-от квантові явища або космологічні моделі.

Інтегративні уроки, що розглядають, наприклад, «темну матерію» одночасно через призму астрофізики, фізики елементарних частинок та інформатики (аналіз даних), розвивають здатність учнів бачити зв'язки між елементами складної системи та прогнозувати їхню взаємодію.

*2. Мотиваційний аспект (формування пізнавальної активності та внутрішньої мотивації).*

Інтеграція, особливо через призму STEM-підходу (наприклад, проєктування космічного апарату чи розробка програми для аналізу екзопланет), дозволяє учням бачити прямий, сучасний зв'язок між вивченими законами та реальними технологічними викликами. Цей зв'язок між «чистою теорією» та «практичною користю» підвищує внутрішню мотивацію та інтерес до навчання. Знання перестають бути абстрактними і стають інструментом для розв'язання актуальних проблем.

Подання інформації з різних ракурсів (фізика, хімія, інформатика) при дослідженні одного об'єкта стимулює учнів до об'єднання інформації з різних предметних областей, критичне осмислення та вибір найбільш релевантних даних, генерування нових, міждисциплінарних рішень.

Успішне розв'язання комплексної, міждисциплінарної проблеми, що інтегрує знання з кількох предметів, підвищує відчуття власної компетентності учня, що, у свою чергу, зміцнює його пізнавальну активність.

Інтеграція в освіті розглядається вітчизняними науковцями як дидактичний принцип (Л. В. Корольова, В. В. Біда) [6], [7] та як засіб удосконалення змісту навчального матеріалу (Н. С. Ничкало) [1, 3].

Ефективність методики інтеграції новітніх досягнень фізики та астрономії визначається дотриманням таких дидактичних принципів:



- Принцип системності та послідовності: вимагає від вчителя не випадкового, а спланованого узгодження тем різних предметів. Інтегрований матеріал має органічно вплітатися у вже існуючу систему знань учня.
- Принцип доступності та науковості (принцип Кульмана): новітні досягнення мають бути подані на рівні, доступному віковій категорії учнів, але без втрати їхньої наукової суті. Складні явища необхідно моделювати та візуалізувати.
- Принцип діяльнісного підходу: реалізація інтеграції через активні форми роботи: дослідницькі проекти, кейс-методи, семінари, а не лише через лекційний виклад. Учень має бути активним суб'єктом пізнання.
- Принцип проблемності: зміст інтегрованих уроків має містити суперечності або відкриті наукові проблеми, що спонукає учнів до пошукової діяльності.
- Принцип прогностичності: інтегрований зміст повинен не лише інформувати про минулі відкриття, але й орієнтувати учнів на майбутнє застосування знань.

Українська методика виділяє класифікацію міжпредметних зв'язків за різними критеріями [7], які забезпечують гнучкість у побудові інтегрованого навчального процесу (табл. 1.1).

*Таблиця 1.1.*

#### Класифікація міжпредметних зв'язків

| Критерій класифікації | Тип зв'язку   | Функція у навчальному процесі                                                          | Приклад інтеграції                               |
|-----------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| За змістом            | Фактологічні  | Використання одних і тих самих фактів або об'єктів (наприклад, радіоактивні елементи). | Фізика (радіоактивність) – Хімія (будова ядра).  |
|                       | Концептуальні | Використання спільних понять, законів, теорій (наприклад, закон збереження енергії).   | Фізика – Астрономія (енергія зірок) – Математика |

|                        |                         |                                                                                                          |                                                                                           |
|------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| За способом реалізації |                         |                                                                                                          | (диференціальні рівняння).                                                                |
|                        | Філософські             | Формування єдиного наукового світогляду (наприклад, відносність, принцип доповнюваності).                | Фізика (квантова механіка) – Філософія.                                                   |
|                        | Послідовні (Однобічні)  | Використання знань одного предмета як основи для вивчення іншого.                                        | Вивчення функції (математика) → застосування її у фізиці (залежність швидкості від часу). |
|                        | Синхронні (Двосторонні) | Паралельне або скоординоване вивчення тем у різних предметах.                                            | Бінарний урок «Ефект Доплера: від астрономії до медицини».                                |
|                        | Інтегровані             | Створення нового, цілісного курсу або уроку, де межі між предметами стираються (наприклад, модулі STEM). | Кейс-завдання з проєктування приладу для вимірювання гравітаційних хвиль.                 |

Таким чином, у контексті інтеграції новітніх досягнень фізики та астрономії найважливішими є концептуальні та інтегровані зв'язки, оскільки вони дозволяють учням не просто переносити факти, а застосовувати фундаментальні наукові методи до актуальних проблем.

В Україні педагогічні дослідження зосереджені на розробці методик, що гармонійно поєднують теоретичний і прикладний аспекти природничих наук. Центральним завданням є реалізація концепції «Нова українська школа» (НУШ), де міжпредметні зв'язки є основою формування ключових компетентностей, зокрема природничої та інженерно-технологічної.

Акцент зміщується з накопичення знань на здатність їх застосовувати. Інтеграція новітніх досягнень (наприклад, практичне використання лазерів чи елементів квантової механіки) розглядається як інструмент формування практичних навичок.

В.В. Біда наголошує на важливості не лише горизонтальних (між класами), але й вертикальних (між предметами) зв'язків для створення «системи опорних знань».

Значна увага приділяється підвищенню кваліфікації вчителів через післядипломну освіту, що має забезпечити їхню готовність до впровадження інноваційного змісту та інтегративних форм роботи.

За кордоном домінує концепція STEM- та STEAM-освіти, яка є фактично інтегративною за своєю суттю, але розвивається у напрямку поглибленої взаємодії.

Трансдисциплінарний підхід [3] – це найвищий рівень інтеграції, коли межі дисциплін повністю стираються, і навчання відбувається через розв’язання реальної глобальної проблеми, що виходить за рамки стандартного навчального плану. Наприклад, вивчення проблеми зміни клімату або колонізації Марса інтегрує фізику, астрономію, хімію, біологію та етику.

Навчання на основі проєктів (Project-Based Learning, PBL) – у США та Європі PBL є основним методом реалізації інтеграції. Він передбачає, що учні протягом тривалого часу працюють над комплексним, реалістичним питанням або проблемою. Наприклад, вивчення термоядерного синтезу як новітнього досягнення інтегрує: фізику плазми, хімію матеріалів, інформатику для моделювання процесів та інженерію для проєктування реактора. Це формує в учнів інженерне мислення.

Зарубіжна практика інтеграції [4] ґрунтується на ідеях конструктивізму, де учень активно «будує» свої знання, поєднуючи нову інформацію (наприклад, про гравітаційні хвилі) з раніше засвоєними поняттями (про хвилі та сили). Це стимулює розвиток зони найближчого розвитку учня, дозволяючи йому освоювати складніший матеріал за допомогою більш підготовлених однолітків або вчителя.

Психолого-педагогічні аспекти доводять, що інтеграція новітніх досягнень фізики та астрономії є не додатковим навантаженням, а необхідною умовою для підвищення якості навчання, розвитку системного мислення,

збільшення мотивації та формування ключових компетентностей у сучасних учнів.

## **1.2. ОГЛЯД ТА СИСТЕМАТИЗАЦІЯ НОВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ ФІЗИКИ ТА АСТРОНОМІЇ, ЯКІ МАЮТЬ ПОТЕНЦІАЛ ДЛЯ ВКЛЮЧЕННЯ У ШКІЛЬНИЙ КУРС**

Включення новітніх наукових фактів є обов'язковою умовою для забезпечення науковості та актуальності шкільної освіти. Систематизація цих досягнень дозволяє визначити їхній дидактичний потенціал, узгодити зі змістом чинних програм і розробити ефективні методичні прийоми їхнього впровадження.

### *1. Квантові технології, матеріалознавство та фізика високих енергій.*

Ці напрями є основою сучасних технологічних революцій і можуть бути інтегровані у розділи шкільного курсу, присвячені будові речовини, хвильовій оптиці та енергії.

#### *1.1. Квантові технології та обчислення (інформатика, фізика).*

Новітні досягнення у сфері квантової механіки трансформуються в технології, які мають потужний міжпредметний потенціал [13].

- Квантові обчислення (Qubit, суперпозиція): введення поняття кубіта (квантового біта) та принципів суперпозиції і заплутаності дозволяє учням усвідомити обмеження класичної фізики та основи майбутніх обчислювальних систем. Інтеграція можлива на стику фізики (квантові явища) та інформатики (алгоритми, логічні операції).
- Квантова криптографія та сенсори: принцип, заснований на тому, що будь-яка спроба вимірювання квантового стану руйнує його, може бути використаний для ілюстрації принципів квантової безпеки передачі даних (квантова комунікація). Розгляд квантових сенсорів (наприклад, для надточного вимірювання магнітних полів) ілюструє застосування квантових ефектів у прикладній сфері.

### *1.2. Фізика високих енергій та фундаментальні відкриття (фізика, інженерія).*

Інтеграція цих тем забезпечує формування цілісної картини світу на мікрорівні та підтверджує взаємозв'язок науки й інженерії.

- Відкриття бозона Гігса (LHC, 2012): доведення існування «частинки Бога» та підтвердження Стандартної моделі фізики елементарних частинок. Це відкриття може бути інтегроване у розділ «Атомна та ядерна фізика» для розширення уявлень про будову матерії та поля, які надають частинкам маси.
- Контрольований термоядерний синтез (ITER, JET): обговорення досліджень із досягнення стабільної реакції термоядерного синтезу як екологічної альтернативи атомній енергетиці. Ця тема ідеально поєднує фізику плазми, термодинаміку, електромагнетизм та інженерію матеріалів. Це актуальна проблема для розділу «Енергетика».
- Гравітаційні хвилі (LIGO/VIRGO, 2015): експериментальне підтвердження загальної теорії відносності Ейнштейна. Це явище, викликане злиттям бінарних чорних дір або нейтронних зір, вносить корективи у розділ «Механіка» (сила тяжіння) та «Оптика» (хвильові процеси). Учні розуміють, що простір-час є динамічним і може деформуватися. Злиття нейтронних зір також є джерелом синтезу важких елементів у Всесвіті.

### *1.3. Матеріалознавство (фізика, хімія).*

- Графен та нанотехнології: вивчення унікальних фізичних, механічних та електричних властивостей двовимірних матеріалів (графен, фулерени). Це ідеальний матеріал для інтеграції з хімією (будова молекул) та інформатикою (мікроелектроніка) [14], [20], [23].
- Високотемпературна надпровідність: обговорення пошуку матеріалів, які проводять електричний струм без опору за температур, вищих за

абсолютний нуль, як основи для майбутніх енергетичних систем і магнітного транспорту.

## *2. Сучасна космологія та астрофізика.*

Ці досягнення забезпечують формування наукового світогляду та є найбільш візуально привабливими, що підвищує мотивацію учнів до вивчення природничих наук.

### *2.1. Структура Всесвіту та еволюція (астрономія, фізика).*

- Темна матерія та темна енергія: інтеграція цих понять є критичною для розуміння сучасної космологічної моделі, згідно з якою лише близько 5% Всесвіту складається зі «звичайної» матерії. Обговорення прискореного розширення Всесвіту (Нобелівська премія 2011 р.) дозволяє поглибити знання у розділі «Динаміка» та «Закон Хаббла».
- Теорія інфляції та Великий вибух: сучасна модель, яка пояснює однорідність та ізотропність Всесвіту. Поглиблює знання учнів про перші моменти після Великого вибуху, пов'язуючи це з поняттям реліктового випромінювання.

### *2.2. Дослідження екзопланет та пошук життя (астрономія, біологія).*

- Методи виявлення: інтеграція методів пошуку (транзитний, доплерівський методи) на стику фізики (оптика, ефект Доплера) та астрономії.
- Зони населеності (Habitable Zones): обговорення критеріїв придатності екзопланет для життя (наявність води у рідкому стані, оптимальна температура, стабільність орбіти) – прямий міжпредметний зв'язок з біологією та хімією.

### *2.3. Космічні телескопи нового покоління (астрономія, ІКТ).*

- Космічний телескоп James Webb (JWST): це досягнення, засноване на передових інженерних та оптичних рішеннях, є ілюстрацією інтеграції технологій. Можливості JWST бачити у ближньому та середньому інфрачервоному діапазоні дозволяють вивчати

формування перших зір і галактик у ранньому Всесвіті, народження зір у газопилових туманностях, невидимих в оптичному діапазоні, виявляти біосигнатури (водяна пара, метан, кисень).

Огляд новітніх досягнень фізики та астрономії підтверджує критичну необхідність їхньої інтеграції у зміст шкільної освіти для забезпечення її актуальності та науковості. Систематизація матеріалу виявила ключові напрями, які мають найбільший дидактичний потенціал: квантові технології (обчислення, сенсори), фундаментальні відкриття фізики високих енергій (бозон Гігса, гравітаційні хвилі), матеріалознавство (графен) та сучасна космологія (темна матерія, космічний телескоп JWST).

Ці досягнення, окрім оновлення знань, посилюють міжпредметні зв'язки (фізика – інформатика – астрономія – хімія – біологія) і сприяють формуванню в учнів цілісної картини світу, розвитку критичного мислення та розуміння ролі науки у технологічному прогресі. Подальша робота, спираючись на визначені критерії відбору, має бути зосереджена на розробці конкретних методичних прийомів та дидактичних матеріалів для ефективної імплементації цих новітніх фактів у навчальний процес.

### **1.3. ПРОБЛЕМА ВІДБОРУ ТА СТРУКТУРУВАННЯ НАУКОВОГО ЗМІСТУ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ У НАВЧАЛЬНІ ПРЕДМЕТИ**

Процес оновлення змісту шкільної освіти в умовах прискореного науково-технічного прогресу є складним дидактичним завданням. Воно полягає не лише у виявленні новітніх наукових фактів, а й у їхній трансформації з наукової мови (мови відкриттів) на педагогічну (мову навчання). Цей процес вимагає розробки чітких критеріїв відбору та ефективних методів структурування, щоб уникнути перевантаження навчальних програм.

Вибухове зростання обсягу наукової інформації вимагає суворої фільтрації матеріалу. В науковій педагогіці виділяють кілька ключових критеріїв, що регулюють включення нових тем:

*1. Критерій наукової значущості (фундаментальності).*

Цей критерій передбачає, що відібраний матеріал повинен мати епохальне значення, змінювати наукову парадигму або бути основою для майбутніх технологічних революцій. До нього належать:

- Підтвердженість – науковий факт має бути експериментально підтвердженим і визнаним світовою науковою спільнотою (наприклад, відкриття гравітаційних хвиль чи бозона Гігса).

Часова стабільність – перевага надається відкриттям, які демонструють високу стійкість у часі та не є швидкоплинними гіпотезами.

*2. Критерій дидактичної релевантності. [2, 8, 10]*

Матеріал повинен відповідати меті формування наукового світогляду та освітнім завданням. Включення матеріалу повинно сприяти реалізації ключових освітніх цілей, таких як розвиток критичного мислення, навичок розв’язання проблем та міждисциплінарних зв’язків (табл. 1.2). Тема має бути тісно пов’язана з життям, сучасними технологіями та глобальними викликами (наприклад, теми квантових обчислень та термоядерного синтезу).

*Таблиця 1.2.*

**Критерій дидактичної релевантності**

| <b>Підкритерій</b>                | <b>Опис</b>                                                                                                       |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Формування наукового світогляду   | Зміст повинен демонструвати динаміку науки, її незавершеність та методологію (гіпотеза → експеримент → висновок). |
| Зв’язок із навичками XXI століття | Матеріал має стимулювати розвиток критичного мислення, медіаграмотності та розв’язання неструктурованих проблем.  |
| Соціально-практична актуальність  | Пряма кореляція матеріалу з глобальними викликами (клімат, пандемії, енергетика) та сучасними технологіями.       |



### 3. Критерій когнітивної доступності та адаптивності.

Найскладніший критерій, оскільки новітні відкриття часто базуються на високому рівні абстракції та складному математичному апараті. Зміст повинен бути трансформований (дидактично спрощений) до рівня сприйняття учнів без втрати суті. Прикладом є пояснення квантової заплутаності через спрощені аналогії, а не через математичний формалізм. Перевага надається темам, які можуть бути ефективно візуалізовані або змодельовані (наприклад, спостереження телескопа JWST чи моделі чорних дір).

### 4. Критерій міжпредметного та інтеграційного потенціалу.

Включення наукового змісту повинно посилювати горизонтальні зв'язки між навчальними предметами (табл. 1.3). Досягнення має лежати на межі кількох дисциплін (наприклад, графен інтегрує фізику, хімію та матеріалознавство; екзопланети – астрономію, фізику та біологію). Матеріал повинен мати потенціал для використання у STEM-проєктах, лабораторних роботах чи дослідницьких завданнях.

Таблиця 1.3.

Критерій міжпредметного та інтеграційного потенціалу

| Підкритерій                                | Опис                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Дотичність дисциплін (Interdisciplinarity) | Матеріал повинен бути точкою перетину, що дозволяє одночасно залучити знання з різних предметів.                                      |
| Технологічна застосовність                 | Матеріал має давати учням розуміння, як фундаментальні знання трансформуються в прикладні технології та інновації.                    |
| Можливість проєктної роботи (STEM/STEAM)   | Здатність матеріалу стати основою для повноцінного довготривалого проєкту, який вимагає застосування знань, а не лише їх відтворення. |

Після відбору матеріал необхідно правильно вбудувати у чинну структуру навчальної програми, щоб це виглядало органічно і не призводило до хронометражного колапсу. Виділяють три основні методи: концептуальне структурування, дидактичні стратегії та організаційні форми.

Концептуальні підходи до структурування змісту визначають, як саме новий матеріал розташовується в навчальному плані (табл. 1.4).

Таблиця 1.4.

## Концептуальні підходи до структурування змісту

| Підхід                     | Суть                                                                                                                                            | Переваги                                                                               |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Модульний                  | Створення самодостатніх, короткострокових навчальних одиниць (модулів), які можуть бути додані або видалені з програми без порушення її основи. | Висока оперативність (швидке реагування на відкриття), гнучкість у часі викладання.    |
| Спіральний навчальний план | Багаторазове повернення до ключових концепцій протягом різних років навчання, але щоразу на більш глибокому рівні складності.                   | Забезпечує міцне засвоєння складних ідей, уникає миттєвого перевантаження учнів.       |
| Інтеграційна наступність   | Новітнє відкриття подається як логічне розв'язання проблеми, що виникла в межах старої, класичної моделі чи теорії.                             | Демонструє еволюцію науки, створює природний місток між класичними та новими знаннями. |

Методи інтеграції в навчальний процес (дидактичні стратегії) стосуються безпосередньої взаємодії вчителя та учнів зі змістом, фокусуючись на міждисциплінарності та активному навчанні (табл. 1.5).

Таблиця 1.5.

## Методи інтеграції в навчальний процес

| Метод                             | Суть                                                                                                                             | Що розвиває                                                                                |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Міждисциплінарна інтеграція       | Зміст викладається як спільна комплексна проблема, що вимагає знань із 2-4 дисциплін (STEM/STEAM-підхід).                        | Системне мислення, навички командної роботи, розуміння практичної цінності наукових знань. |
| Проектне та дослідницьке навчання | Учень отримує завдання розв'язати реальну проблему, самостійно використовуючи актуальні наукові дані та методології.             | Навички дослідження, критичний аналіз інформації, імітація наукової діяльності.            |
| Метод тематичного «якоря»         | Резонансне, новітнє відкриття («якір») використовується для повторення, поглиблення та закріплення цілої низки класичних понять. | Критичне мислення, переосмислення відомого матеріалу, зв'язок теорії та практики.          |

Ключові організаційні форми визначають, як організовано навчальний час, простір та ресурси для максимально ефективного засвоєння нового матеріалу (табл. 1.6).

Таблиця 1.6.

## Ключові організаційні форми

| Форма                                        | Опис                                                                                                                                                  | Застосування до новітнього змісту                                                                           |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Освітні інтенсиви                            | Короткочасні, високоінтенсивні заходи, спрямовані на практичне застосування знань та швидке прототипування.                                           | Ідеально для вивчення ІІІ, програмування мікроконтролерів (IoT) або швидкого аналізу великих масивів даних. |
| Партнерство з університетами / лабораторіями | Залучення науковців та використання їхньої інфраструктури для реальних практичних занять.                                                             | Дозволяє учням працювати з обладнанням та новітніми методиками, які недоступні у шкільній лабораторії.      |
| Перевернуте навчання (Flipped Classroom)     | Теоретичний матеріал (включаючи нові, складні концепції) вивчається учнями вдома, а час уроку присвячений практиці, розв'язанню проблем та дискусіям. | Звільняє час уроку для складних інтеграційних завдань, дискусій про етику науки та критичного аналізу.      |

Відбір, структурування та впровадження актуальних наукових знань у шкільну програму породжує низку фундаментальних дидактичних та логістичних протиріч. Успішність програми залежить від того, наскільки ефективно ці конфлікти будуть збалансовані.

Протиріччя між обсягом нового знання та часом навчання є, по суті, проблемою логістики навчального плану та інформаційного перевантаження (табл. 1.7).

Таблиця 1.7.

## Протиріччя між обсягом нового знання та часом навчання

| Параметр     | Пояснення виклику                                                                                                                                                                           | Необхідний баланс                                                                                                                                   |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Актуальність | Кожні кілька років з'являються нові дисципліни. Навчальна програма мусить відображати цю актуальність.                                                                                      | Необхідно впроваджувати суворі критерії для <i>вилучення</i> або <i>скорочення</i> менш актуального, застарілого чи низькопріоритетного контенту.   |
| Час навчання | Кількість годин на тиждень, місяць і рік – фіксована. Додавання нового матеріалу без вилучення старого призводить до інформаційного перевантаження учнів і поверхневого засвоєння всіх тем. | Фокус зміщується з накопичення фактів на розвиток навичок: критичне мислення, аналіз даних та самонавчання. Учень має засвоїти не <i>всі</i> факти. |

|                            |                                                                                                                                                              |  |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Наслідок<br>небалансування | Збереження 100% старого матеріалу та додавання 100% нового. Результат: програма стає нереалістичною, навчальне навантаження зростає, якість засвоєння падає. |  |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

Протиріччя між науковою точністю та дидактичною доступністю стосується якості подачі та когнітивної відповідності матеріалу. Це проблема «золотої середини» між істиною та зрозумілістю (табл. 1.8).

Таблиця 1.8.

Протиріччя між науковою точністю та дидактичною доступністю

| Фактор                                      | Виклик                                                                                                                                                                                                 | Ризик небалансування                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Наукова<br>точність<br>(істина)             | Багато новітніх концепцій ґрунтуються на складному математичному апараті та високому рівні абстракції. Подача їх без належної точності може спотворити їхню сутність.                                  | Перевантаження учнів незрозумілими формулами та термінологією, що веде до демотивації та відчуття недосяжності науки.                                 |
| Дидактична<br>доступність<br>(зрозумілість) | Для того, щоб зробити матеріал доступним для учня середньої школи, вчитель часто мусить використовувати аналогії, метафори та спрощені моделі, які <i>не повністю</i> відображають наукову реальність. | Формування стійких помилкових уявлень. Наприклад, пояснення атома як «планетарної системи» вже вважається застарілою та дидактично шкідливою моделлю. |
| Оптимальний<br>баланс                       | Вводити концепцію через просту, але <i>не хибну</i> аналогію. Потім, у наступних класах, замінювати цю аналогію на точнішу модель, розкриваючи обмеження попереднього рівня.                           |                                                                                                                                                       |

Процес оновлення змісту шкільної та вищої освіти в умовах прискореного науково-технічного прогресу є багатоетапним і складним завданням, яке виходить за межі простого додавання нових фактів. Центральним елементом цього процесу є трансформація наукової мови (мови відкриттів) у педагогічну мову (мову навчання).

Успішне оновлення освітнього змісту – це не одноразова дія, а безперервний, систематичний процес, що вимагає постійної рівноваги між фундаментальністю науки, актуальністю технологій та когнітивними можливостями учнів.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Цей розділ визначив теоретичні та методологічні засади для інтеграції найновіших досягнень фізики та астрономії в освітній процес. Головний висновок полягає в тому, що успішне оновлення змісту освіти вимагає систематичного, міждисциплінарного підходу, заснованого на глибокому розумінні психолого-педагогічних механізмів.

Міжпредметні зв'язки є не просто дидактичною технікою, а фундаментальною умовою для розвитку системного мислення та підвищення внутрішньої мотивації учнів. Психологічно інтеграція сприяє здатності застосовувати концепції, вивчені в одній дисципліні, для розв'язання проблем в іншій, зменшенню когнітивного навантаження, реалізації принципу проблемності та прогностичності через активні форми роботи, що демонструють прямий зв'язок теорії з технологічними викликами.

Систематичний огляд новітніх досягнень підтвердив необхідність інтеграції таких ключових напрямів, як квантові технології, фізика високих енергій, матеріалознавство та сучасна космологія.

Процес відбору новітньої інформації мусить здійснюватися за чіткими критеріями, які гарантують наукову значущість, дидактичну релевантність та міжпредметний потенціал. Найскладнішим є критерій когнітивної доступності, який вимагає трансформації наукової мови у педагогічну без спотворення суті.

Для ефективного впровадження нового змісту запропоновано використовувати такі підходи:

- концептуальне структурування: застосування модульного підходу (для гнучкості) та спірального навчального плану (для поступового поглиблення та уникнення перевантаження).
- дидактичні стратегії: пріоритет надається міждисциплінарній інтеграції (STEM/STEAM), проєктному та дослідницькому навчанню

і методу тематичного «якоря» – використання резонансних відкриттів для закріплення класичних понять.

- організаційні форми: використання освітніх інтенсивів, партнерства з лабораторіями та перевернутого навчання (*Flipped Classroom*), що звільняє час уроку для складних інтеграційних завдань та дискусій.

Успішна реалізація оновлення залежить від постійного балансування двох критичних протиріч:

Обсяг нового знання та час навчання – вимагає суворої елімінації застарілого матеріалу та зміщення фокусу з накопичення фактів на розвиток навичок критичного мислення та самонавчання.

Наукова точність та дидактична доступність – вимагає пошуку «золотої середини» через поступове розкриття концепцій (від простих аналогій до точних моделей) для запобігання формуванню стійких помилкових уявлень.

Резюмуючи, інтеграція новітніх досягнень фізики та астрономії є необхідною умовою забезпечення актуальності та науковості освіти. Це складний, але системний процес, який, спираючись на визначені психолого-педагогічні принципи та критерії відбору, дозволяє учням сформувати цілісну картину світу та розвинути ключові компетентності, необхідні для XXI століття.

## РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ІНТЕГРАЦІЇ НОВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ ФІЗИКИ ТА АСТРОНОМІЇ

### 2.1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО СТАНУ ІНТЕГРАЦІЇ НОВІТНІХ ЗНАНЬ У ЧИННІ НАВЧАЛЬНІ ПРОГРАМИ ТА ПІДРУЧНИКИ

Навчальні програми з фізики та астрономії, особливо для старшої школи (10-11 класи), зазнали оновлення у 2017 році, що було спрямовано на впровадження компетентнісного підходу та результатів навчання.

Нами було проаналізовано наступні навчальні програми на наявність в них новітніх досягнень в галузі фізики та астрономії [9]:

- Навчальна програма «Фізика» для 10-11 класів (авторський колектив під керівництвом Локтева В.М.).
- Навчальна програма «Фізика і астрономія» для 10-11 класів (авторський колектив під керівництвом Ляшенка О.І.).
- Навчальна програма «Астрономія» для 10-11 класів (авторський колектив під керівництвом Яцківа Я.С.).

Аналіз існуючого стану інтеграції новітніх знань виявив ключові особливості сучасної української освітньої системи, які формують як сприятливе середовище, так і методичні перешкоди для впровадження актуального наукового змісту.



Рис. 2.1. Ключові характеристики оновлених навчальних програм

Чинна система освіти містить чотири важливі структурні елементи, які прямо впливають на можливість інтеграції новітніх знань (рис. 2.1).

Це, по-перше, компетентнісний підхід. Програми акцентують на формуванні ключових компетентностей, а не лише на передачі знань. Компетентнісний підхід потенційно сприяє включенню актуальних, прикладних і міждисциплінарних тем, що є характерним для новітніх знань.

По-друге, це дворівневість – існує поділ на рівень стандарту та профільний рівень. Профільний рівень (з більшою кількістю годин) надає більше можливостей для глибокого вивчення сучасних відкриттів та теорій, що є ідеальною нішею для інтеграції складних тем.

По-третє, це інтеграція природничих наук – як експериментальний напрямок, було запроваджено інтегрований курс природничих наук для старшої школи. Інтеграція за своєю суттю підтримує міждисциплінарні зв'язки, однак це може стати як перевагою, так і викликом. Складність полягає у необхідності розробки єдиної методики, яка б гармонійно поєднувала новітній зміст з різних наук.

Навчальні програми, як правило, намагаються включати сучасні теми. Однак, тут виникає ключове протиріччя – швидкість розвитку науки часто випереджає процес оновлення програм. Цей чинник підтверджує, що критичний розрив між наукою та освітою є системним і вимагає постійного балансування між обсягом нового знання та часом навчання.

Незважаючи на потенціал, аналіз підтверджує наявність методичної прогалини, а саме: чинні програми містять лише загальні вказівки, але не надають вчителям чітких відповідей на запитання: який саме науковий матеріал варто включити? на якому етапі уроку це доцільно зробити? які дидактичні засоби застосувати для його спрощення та візуалізації?

Існуючі підручники не пропонують достатньої кількості навчальних сценаріїв, які б використовували концептуальні та інтегровані зв'язки (табл.



1.1) для формування цілісного світогляду, змушуючи учнів оперувати розрізненими фактами.

Підручники є ключовим інструментом для реалізації навчальних програм. Їхня якість та відповідність новітнім знанням залежить від часу видання, авторського колективу та фінансування.

Аналіз підручників [2, 8, 10-11] показує, що вони не завжди ефективно виконують функцію впровадження новітніх досягнень (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Фактори, що визначають якість сучасного підручника

Виявлено наступні фактори, що знижують якість інтеграції.

Між науковим відкриттям, його верифікацією, включенням до програми та друком підручника проходить значний час. Це означає, що найновіші відкриття останніх років часто відсутні.

Нові підручники, розроблені відповідно до оновлених програм, зазвичай містять розділи або параграфи, присвячені сучасним відкриттям. Проте обсяг такого матеріалу може бути недостатнім.

Ефективність інтеграції залежить від того, як подано матеріал. Іноді новітні знання включаються лише як додаткова інформація чи історична довідка, а не як невід'ємна частина фундаментальних концепцій.

Сучасні підручники використовують якісні ілюстрації (фотографії, схеми), які допомагають візуалізувати складні явища. Однак кількість інтеграційних завдань (кейси, проекти), імовірно, недостатня.

Деякі підручники заохочують використання цифрових ресурсів та онлайн-матеріалів, що важливо для доступу до найсвіжішої інформації. Це підкреслює необхідність інтеграції перевернутого навчання (Flipped Classroom) та освітніх інтенсивів.

## АСТРОНОМІЯ

| Сфера новітніх знань        | Пришляк М.П. (Астрономія)                                | Головко та співавт. (Фізика і астрономія)              | Засєкіна, Засєкін (Фізика і астрономія)                      | Сиротюк, Мирошніченко (Фізика і астрономія)                                                   |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| КОСМОЛОГІЧНІ МОДЕЛІ         | ✓ Згадано темну енергію та темну матерію (95% Всесвіту). | ✓ Темна енергія/матерія.<br>✓ Інфляційна теорія.       | ✓ Темна енергія/матерія.<br>✓ Комірчаста структура Всесвіту. | ✓ Обов'язкове включення концепцій темної матерії/енергії та прискореного розширення Всесвіту. |
| ЕВОЛЮЦІЯ ВСЕСВІТУ ТА ДОКАЗИ | ✓ Теорія великого вибуху.                                | ✓ Реліктове випромінювання (згадано місії COBE, WMAP). | ✓ Реліктове випромінювання. ✓ Моделі Фрідмана.               | ✓ Великий Вибух та докази (Реліктове випромінювання).                                         |
| ЕКЗОПЛАНЕТИ                 | ✓ Планетні системи інших зір (вивчення).                 | ✓ Згадка про екзопланети.                              | • (Не було згадано у попередньому аналізі змісту).           | ✓ Вивчення екзопланет та сучасних методів їхнього виявлення.                                  |
| АКТУАЛЬНІ МІСІЇ/ВІДКРИТТЯ   | • Загальні плани НАСА. Інтернет-підтримка для оновлення. | ✓ Кассіні, Нові Горизонти (з результатами досліджень). | ✓ ПЗЗ-матриці. Супутник Terra.                               | ✓ Згадка про сучасні космічні телескопи та всесхильову астрономію.                            |

## ФІЗИКА

| Сфера новітніх знань     | Головко М.В. та співавт.                                     | Засєкіна Т.М., Засєкін Д.О.                           | Сиротюк В.Г., Мирошніченко Ю.В.                                                  |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| ФІЗИКА ЧАСТИНОК          | ✓ Кварки, Античастинки.                                      | ✓ Кварки, Античастинки, Бозон Хіггса, ЦЕРН.           | ✓ Основи Стандартної моделі (Кварки, Лептони).                                   |
| КВАНТОВА ФІЗИКА          | ✓ Квантові властивості світла. ✓ Фотоефект.                  | ✓ Кванти Планка. ✓ Фотоефект (з рівнянням Ейнштейна). | ✓ Гіпотеза Планка, Фотоефект, енергетичні рівні.                                 |
| СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ       | ✓ Напівпровідники (мікроелектроніка). ✓ Термоядерний синтез. | ✓ Напівпровідники. ✓ Оптика (Поляризація, Дифракція). | ✓ Роль напівпровідників у мікроелектроніці. ✓ Перспективи Термоядерного синтезу. |
| ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ВЗАЄМОДІЇ | •                                                            | ✓ Електромагнітна як одна з чотирьох фундаментальних. | ✓ Опис чотирьох фундаментальних взаємодій.                                       |

Рис. 2.3. Аналіз підручників щодо наявності сучасних досягнень з фізики та астрономії

На рис. 2.3 наведена інформація щодо наявності сучасних досягнень з фізики та астрономії.

Головне, що варто виділити, це те, що всі підручники з астрономії намагаються охопити актуальні місії, проте акцент різний: Пришляк покладається на динамічне оновлення через інтернет-ресурси, Головка фокусується на знакових місіях (Cassini, Нові Горизонти), Сиротюк виділяє сучасні телескопи (включно з JWST), які є ілюстрацією інтеграції технологій.

Цей аналіз ілюструє, що, хоча фундаментальні новітні концепції (темна матерія, реліктове випромінювання) включені у більшість підручників, їхня глибина та якість методичного забезпечення різняться.

Аналіз підручників з фізики виявив наявність новітнього змісту – усі підручники намагаються інтегрувати новітні знання, особливо у розділах атомної та ядерної фізики. Однак існує суттєва різниця у глибині подачі (наприклад, включення бозона Гігса у Засекіної, але відсутність у Головка) та інтеграції фундаментальних концепцій (взаємодії). Це підтверджує, що оновлення змісту відбувається несистемно і залежить від авторів.

Проведений аналіз підтверджує, що вчителі стикаються з дефіцитом конкретного, апробованого методичного інструментарію. Вони не мають чітких рекомендацій щодо відбору змісту (який саме матеріал включити?), структурування (на якому етапі уроку це доцільно зробити?) та дидактичних засобів (які засоби застосувати для спрощення та візуалізації?).

На рис. 2.4 вказано основні виклики (проблеми), які ускладнюють ефективну інтеграцію новітніх досягнень фізики та астрономії у зміст шкільних предметів.

Навіть на профільному рівні час, відведений на фізику й астрономію, може бути недостатнім для детального вивчення як класичного, так і новітнього змісту. Додавання нового матеріалу без видалення застарілого призводить до інформаційного перевантаження учнів та поверхневого засвоєння.



Рис. 2.4. Основні проблеми, які ускладнюють ефективну інтеграцію новітніх досягнень фізики та астрономії

Деякі новітні концепції вимагають глибокої математичної та фізичної бази, яка може бути недоступною для учнів. Це підтверджує протиріччя між науковою точністю та дидактичною доступністю. Потрібен пошук «золотої середини» через поступове розкриття концепцій (від простих аналогій до точних моделей), щоб уникнути формування стійких помилкових уявлень.

Для ефективного викладання новітніх знань необхідно, щоб вчителі самі володіли ними. Однак система підвищення кваліфікації не завжди встигає за науковим прогресом. Це є прямим наслідком методичної прогалини. Навіть якщо програми містять загальні вказівки, дефіцит фахових рекомендацій, що визначають що, коли і як викладати, створює значний бар'єр у практичній реалізації.

Лабораторне обладнання у школах часто не дозволяє проводити експерименти, пов'язані з сучасними технологіями та явищами. Рішенням є використання віртуальних лабораторій, освітніх інтенсивів та партнерства з

університетами/лабораторіями, що дозволяє учням працювати з недоступним у школі обладнанням та новітніми методиками.

Наведене вище підтверджує, що проблема не лише у змісті (що вивчати), але й у методиці (як вивчати, попри обмеження часу, складності та обладнання), що є центральною метою нашого дослідження.

## 2.2. СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ МЕТОДИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ІНТЕГРАЦІЇ НОВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ ФІЗИКИ ТА АСТРОНОМІЇ У ШКІЛЬНИЙ КУРС

Цей підрозділ є практичним рішенням, розробленим для подолання методичної прогалини та основних викликів, які були виявлені в підрозділі 2.1.

Методичні рекомендації розроблено як алгоритм дій для вчителів, що дозволяє гнучко та оперативно інтегрувати новітній науковий зміст, мінімізуючи навантаження та максимізуючи ефективність засвоєння.

Методичні рекомендації слугують чітким, структурованим інструментом для вчителів закладів загальної середньої освіти, щоб визначити конкретний актуальний науковий зміст, який варто включити у шкільний курс та надати інструкції щодо форм організації та методів викладання цього матеріалу.



Рис. 2.5. Методичні рекомендації щодо інтеграції новітніх досягнень фізики та астрономії у шкільний курс

Зміст методичних рекомендацій поділено на дві ключові частини (рис. 2.5): перелік ключових новітніх досягнень (ЩО викладати?) та рекомендації (ЯК викладати?).

*Перелік ключових новітніх досягнень (ЩО викладати?).* Ця частина методичних рекомендацій фокусується на критерії відбору та систематизації наукового матеріалу. Він містить рекомендовані блоки інформації для включення з фізики (рис. 2.6) та астрономії (рис. 2.7).



Рис. 2.6. ФІЗИКА: рекомендовані блоки інформації для включення

Детальніше опишемо інформацію, яку рекомендуємо включити у зміст шкільної фізики щодо новітніх досягнень.

#### *Механіка.*

Гравітаційні хвилі – збурення простору-часу, передбачені загальною теорією відносності Айнштейна, і їхнє експериментальне виявлення (наприклад, обсерваторіями LIGO/Virgo).

Космічні апарати та місії – сучасні розробки, пов’язані з динамікою руху в космосі, міжпланетні подорожі, а також цілі та результати ключових місій.

### *Молекулярна фізика і термодинаміка.*

Нанотехнології та наномеханізми – проектування та виробництво матеріалів і пристроїв на атомному та молекулярному рівнях. Приклади включають нанороботи, нанотрубки, застосування у медицині та електроніці.

Активні та розумні матеріали – матеріали, які можуть змінювати свої властивості (форму, колір, жорсткість) у відповідь на зовнішні подразники (температура, світло, електричне поле).

### *Електромагнітні коливання і хвилі.*

Сучасні датчики та сенсори – принципи роботи та застосування передових сенсорних систем, які використовують електромагнітні явища для вимірювання фізичних величин (сенсори Інтернету речей (ІоТ), оптичні сенсори, MEMS-сенсори).

### *Електродинаміка.*

Графен та 2D-матеріали – дослідження та застосування двовимірних матеріалів (графен, молібдену дисульфід тощо), що мають виняткові електронні, оптичні та механічні властивості.

Новітні надпровідники – вивчення високотемпературної надпровідності та розробка нових матеріалів, які можуть проводити електричний струм без опору за більш високих температур.

### *Оптика.*

Метаматеріали – штучно створені матеріали зі структурою, яка дозволяє їм мати властивості, неможливі в природних матеріалах (негативний коефіцієнт заломлення, що використовується для створення «плащів-невидимок» та покращених лінз).

### *Атомна та ядерна фізика.*

Бозон Хіггса – роль і значення «частинки Бога» у Стандартній моделі фізики елементарних частинок, що відповідає за масу інших частинок.

Квантові технології (Qubit) – основи квантової механіки, які застосовуються для розробки квантових комп'ютерів, де кубіт є базовою одиницею інформації.

Перспективи термоядерного синтезу – дослідження та інженерні проєкти, спрямовані на створення чистого, безпечного та майже невичерпного джерела енергії шляхом імітації процесів на Сонці.

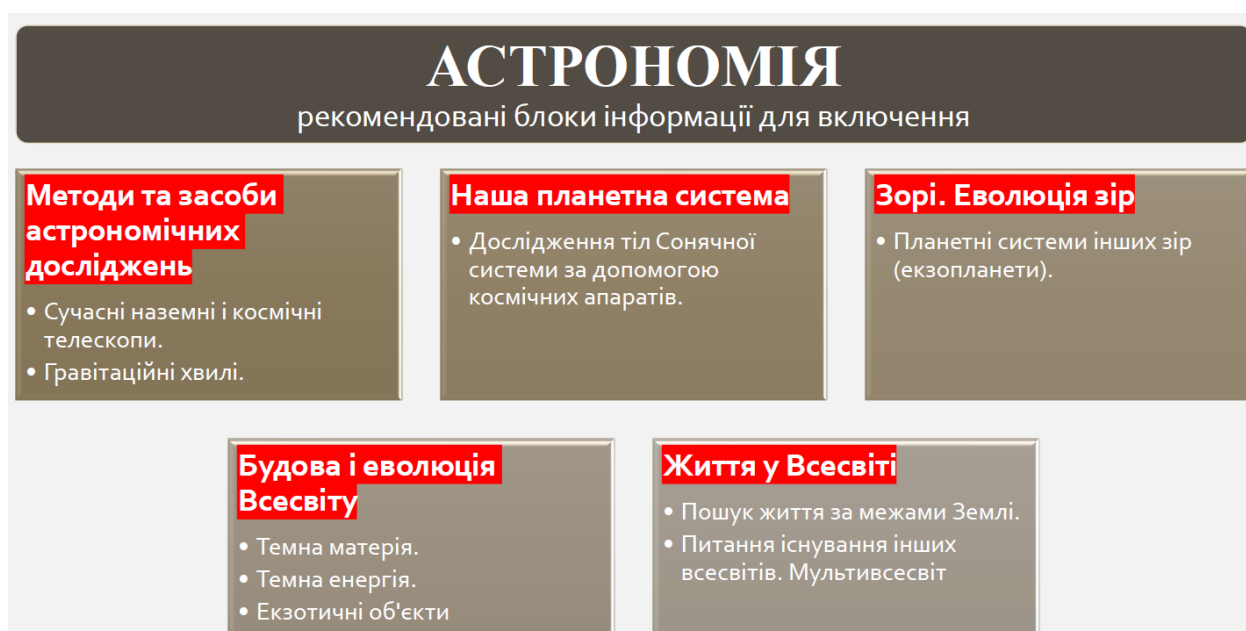


Рис. 2.7. АСТРОНОМІЯ: рекомендовані блоки інформації для включення

Детальніше опишемо інформацію, яку рекомендуємо включити у зміст шкільної фізики щодо новітніх досягнень.

#### *Методи та засоби астрономічних досліджень.*

Сучасні наземні та космічні телескопи – наземні телескопи (великі оптичні телескопи та радіотелескопи, які використовують адаптивну оптику та інші технології для компенсації атмосферних спотворень, космічні телескопи – інструменти, розміщені за межами атмосфери Землі (Габбл, Джеймс Вебб, Чандра, ХММ-Newton), що дозволяють спостерігати у всьому електромагнітному спектрі, включаючи діапазони, які поглинаються атмосферою.



Гравітаційні хвилі – хвилі простору-часу, які генеруються прискореним рухом масивних об'єктів (наприклад, злиття чорних дір, нейтронних зір).

*Наша планетна система.*

Дослідження тіл Сонячної системи за допомогою космічних апаратів:

Автоматичні міжпланетні станції (АМС) – Вояджер, Кассіні, Нові Горизонти, Mars Curiosity, Juno, ВеріColombo, що надають детальні дані про склад, атмосферу, геологію та історію формування окремих тіл.

Планетарні ровери – дослідження поверхні планет та супутників (Місяця, Марса) безпосередньо.

Зонди – апарати, що вивчають Сонце (Parker Solar Probe, SOHO) та інші об'єкти зблизька.

*Зорі. Еволюція зір.*

Еволюція зір – життєвий цикл – від газопилової туманності до протозорі, далі до стадії головної послідовності і, нарешті, до кінцевих стадій, які залежать від маси (білий карлик, нейтронна зоря, чорна діра), ядерний синтез (термоядерні реакції), які є джерелом енергії зір і відповідають за утворення важких елементів (нуклеосинтез).

Планетні системи інших зір (екзопланети) – методи виявлення (транзитний метод, метод променевої швидкості, мікролінзування), характеристики (різноманіття виявлених систем, пошук планет у зоні життя, дослідження їхніх атмосфер).

*Будова і еволюція Всесвіту.*

Темна матерія – гіпотетична форма матерії, яка не випромінює і не поглинає електромагнітне випромінювання, але її присутність виявляється через гравітаційний вплив.

Темна енергія – гіпотетична форма енергії, яка рівномірно розподілена у просторі і відповідає за прискорене розширення Всесвіту.

Екзотичні об'єкти – чорні діри (зоряної та надмасивної природи), нейтронні зорі, квазари, гамма-спалахи, що є результатом найбільш екстремальних процесів у Всесвіті.

### *Життя у Всесвіті.*

Пошук життя за межами Землі – пошук води в рідкому стані та органічних молекул на інших тілах Сонячної системи (супутники Юпітера та Сатурна, Марс).

Проекти – програми SETI (пошук позаземного інтелекту), вивчення біосигнатур в атмосферах екзопланет.

Питання існування інших всесвітів. Мультивсесвіт – обговорення теоретичних моделей, які припускають існування безлічі всесвітів (мультивсесвіт), які можуть відрізнятися своїми фізичними законами та константами (теорія інфляції, теорія струн, концепція паралельних всесвітів).

**Рекомендації (ЯК викладати?).** Це найбільш об'ємна та практична частина, яка безпосередньо спрямована на подолання виявлених викликів. Вона поділена на наступні блоки:

Рекомендації щодо включення в навчальну програму (застосування модульного підходу (для гнучкості та оперативності) та спірального навчального плану (для поступового поглиблення складних понять, уникаючи перевантаження), подача новітніх відкриттів як логічного розв'язання проблем, що виникли в класичних теоріях).

Інформаційні матеріали та рекомендації щодо їх пошуку (огляд останніх досліджень, рекомендовані ресурси) – надання списку перевірених джерел для постійного самонавчання та отримання найновішої інформації.

Рекомендації щодо форм організації та використання методів (застосування перевернутого навчання, щоб теоретичний матеріал вивчався вдома, а час уроку звільнявся для складних інтеграційних завдань та дискусій, проєктне та дослідницьке навчання).

Приклади фрагментів сценаріїв уроку (демонструють, як забезпечити оптимальний баланс між науковою точністю та дидактичною доступністю).

Наведемо приклади розроблених методичних рекомендацій щодо інтеграції новітніх досягнень фізики та астрономії у шкільний курс.

### «ПЛАНЕТНІ СИСТЕМИ ІНШИХ ЗІР (ЕКЗОПЛАНЕТИ)»

#### 1. Рекомендації щодо включення в навчальну програму.

| ДОСЯГНЕННЯ                                  | ЗВ'ЯЗОК З КУРСОМ АСТРОНОМІЇ                                                                                                                                                                   | РЕКОМЕНДОВАНЕ ВКЛЮЧЕННЯ                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Характеристика атмосфер</b>              | Використання космічного телескопа Джеймса Вебба (JWST) для проведення спектрального аналізу атмосфер екзопланет під час транзиту. Це дозволяє ідентифікувати молекули та шукати біосигнатури. | Як приклад застосування астрофізичних методів (спектральний аналіз) для вивчення хімічного складу віддалених космічних об'єктів. Поглиблення теми «Зорі. Еволюція зір». |
| <b>Планети земного розміру у зоні життя</b> | Підтвердження та детальне вивчення планет, що мають радіус, близький до земного, і обертаються у «зоні життя» своєї зорі.                                                                     | Актуалізація теми «Наша планетна система» через порівняння з іншими системами. Обговорення зони життя як астрономічної концепції, заснованої на випромінюванні зорі.    |
| <b>Виявлення гравітаційних ефектів</b>      | Дослідження планет, де внутрішнє тепло підтримується не лише зорею, а й припливним нагріванням, спричиненим гравітаційною взаємодією з іншими об'єктами системи.                              | Як приклад практичного застосування законів небесної механіки та гравітаційної взаємодії (тема «Небесна сфера. Рух світил на небесній сфері»).                          |
| <b>Розмаїття планетних типів</b>            | Вивчення класів планет, не представлених у Сонячній системі (Суперземлі, Мінінептуни).                                                                                                        | Розвиток уявлення про різноманіття формування планет. Обговорення стабільності орбіт у складних зоряних системах («Зорі. Еволюція зір»).                                |

## 2. Інформаційні матеріали та рекомендації щодо їх пошуку.

### *Огляд останніх досліджень.*

Дослідження екзопланет протягом останніх років сфокусувалися на детальній характеристиці атмосфер і пошуку потенційних біосигнатур, що стало можливим завдяки новому поколінню космічних обсерваторій.

Ключовим каталізатором новітніх досліджень є космічний телескоп імені Джеймса Вебба (JWST), який розпочав повноцінну роботу.

JWST використовує інфрачервоний діапазон для проведення високочутливого спектрального аналізу атмосфер планет під час транзитів. Кожна молекула поглинає світло на певних довжинах хвиль, створюючи «хімічний відбиток», який фіксується телескопом.

За останні роки JWST підтвердив наявність водяної пари та вуглекислого газу в атмосферах гарячих планет, таких як WASP-96b. Це прямий крок до пошуку біосигнатур (кисню, метану, озону), які можуть вказувати на життєдіяльність.

Телескоп підтвердив існування та розпочав аналіз атмосфери планети LHS 475 b – об'єкта майже земного розміру, що обертається навколо червоного карлика.

Паралельно триває збір кількісних даних, які уточнюють параметри екзопланетних систем.

Місія TESS (*Transiting Exoplanet Survey Satellite*) продовжує відкривати тисячі нових кандидатів, фокусуючись на яскравих зорях, що є ідеальною ціллю для подальшого аналізу JWST.

Європейський телескоп CHEOPS (*CHaracterising ExOPlanet Satellite*) спеціалізується на точному вимірюванні радіуса відомих планет, що важливо для визначення їхньої щільності та класифікації.

Кількість підтверджених екзопланет у 2024 році перевищила 6000, що слугує вагомим аргументом на користь того, що планетні системи є типовим явищем у Всесвіті.

Дослідження виявили планету LP 791-18 d, яка, ймовірно, припливно нагрівається сусідньою планетою, що може спричиняти значну вулканічну активність. Внутрішнє тепло, спричинене цим нагріванням, може бути важливішим для підтримки рідкої води на поверхні, ніж пряме тепло від зорі.

Активні дослідження пояснюють, чому існує мало планет певного проміжного розміру між Землею та Нептуном. Це явище пов'язане з фотоевапорацією (втратою атмосфери) під впливом випромінювання зорі, що пояснює динаміку еволюції планет.

Продовжується підтвердження існування планет, що обертаються навколо подвійних зір. Це показує, що формування планет можливе навіть у складних гравітаційних умовах.

*Рекомендовані ресурси.*

1. CHEOPS. CHARACTERISING EXOPLANETS KNOWN TO BE ORBITING AROUND NEARBY BRIGHT STARS. URL: [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Cheops](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops).
2. JAMES WEBB SPACE TELESCOPE. URL: <https://science.nasa.gov/mission/webb/>.
3. SCIENCE WITH THE ELT URL: <https://elt.eso.org/science/exoplanets/>.
4. HABITABLE ZONE GALLERY. URL: <http://www.hzgallery.org/>.
5. NASA EXOPLANET ARCHIVE A SERVICE OF NASA EXOPLANET SCIENCE INSTITUTE. URL: <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>.
6. HABITABLE ZONES IN MULTIPLE STAR SYSTEMS. URL: <http://astro.twam.info/hz/>.

### **3. Рекомендації щодо форм організації та використання методів.**

Для ефективного включення новітніх досягнень астрономії у зміст шкільного курсу, рекомендується використовувати активні та інтерактивні форми організації та методи, що базуються на компетентнісному підході.

### Форми організації навчання

| ФОРМА ОРГАНІЗАЦІЇ         | ОПИС ТА ЦІЛЬОВЕ ПРИЗНАЧЕННЯ                                                                                                                                                              |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Урок-дослідження          | Урок, де учні самостійно (або в групах) аналізують реальні дані останніх місій (наприклад, TESS, JWST) для класифікації екзопланет або визначення їхньої придатності до існування життя. |
| Семінар / Круглий стіл    | Обговорення етичних та філософських питань, пов'язаних із пошуком життя за межами Землі (біосигнатури), або дискусія про перспективи колонізації інших світів.                           |
| Факультативи / Гуртки     | Організація роботи з вивчення конкретних систем (наприклад, Trappist-1, Kepler) або методів виявлення (наприклад, метод променевих швидкостей, транзитний метод).                        |
| Конференція / Презентація | Учні готують та презентують доповіді про ключові місії та нові класи планет (Суперземлі, Мінінептуни) для своїх однолітків або молодших класів.                                          |

### Рекомендовані методи та прийоми

| МЕТОД                         | ЯК ЗАСТОСОВУВАТИ НА ПРИКЛАДІ ЕКЗОПЛАНЕТ                                                                                                                                                             | ПЕДАГОГІЧНА МЕТА                                                                                                |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Кейс-метод                    | Розбір реального наукового кейсу, наприклад: «Аналіз атмосфери WASP-96b за допомогою JWST». Учні отримують спектральні дані (схематично) та виявляють наявність водяної пари.                       | Розвиток критичного мислення та вміння застосовувати теоретичні знання (спектральний аналіз) до реальних даних. |
| Проектна діяльність           | Довгостроковий проєкт: «Моделювання зони життя (Habitable Zone) для червоного карлика». Учні використовують закони випромінювання для розрахунку орбітальних радіусів, де може існувати рідка вода. | Формування інженерних та дослідницьких компетентностей (робота з формулами та табличними даними).               |
| Використання ІКТ та симуляцій | Застосування онлайн-симуляторів транзитів або програмного забезпечення, яке візуалізує орбіти екзопланет (наприклад, у системі LP 791-18 d), що дозволяє вивчати гравітаційні ефекти.               | Наочна демонстрація небесної механіки та явищ, неможливих для прямого спостереження.                            |
| Метод «Мозковий штурм»        | Питання: «Які біосигнатури, окрім кисню, можуть вказувати на життя на екзопланеті?» або «Як виглядає клімат на планеті, що обертається навколо подвійної зорі?»                                     | Стимулювання креативності, логічного мислення та обговорення невирішених наукових проблем.                      |

## 4. Приклади фрагментів сценаріїв уроку

**Тема:** Методи виявлення та умови життя на екзопланетах.

**Тип уроку:** урок-практикум (застосування знань).

**Час:** 45 хвилин (основна частина).

**Мета уроку.**

**Дидактична:** актуалізувати знання про гравітаційну взаємодію та спектральний аналіз; сформувані уявлення про ключові методи пошуку екзопланет та їхню класифікацію.

**Розвивальна:** розвивати критичне мислення, навички роботи з реальними науковими даними та цифровими ресурсами.

### ***1. Актуалізація знань (5 хв)***

**Вчитель:** Згідно з останніми даними, кількість підтверджених екзопланет перевищила 6000. Сьогодні ми будемо працювати як астрофізики, використовуючи ті самі методи, що й вчені NASA та ESA.

### ***2. Застосування знань: Метод транзиту (15 хв)***

**Метод:** кейс-метод з використанням ІКТ.

**Завдання:** аналіз транзиту планети WASP-96b за даними JWST.

**Діяльність учнів:**

- Учні отримують графік падіння світності зорі WASP-96 під час транзиту планети.
- Учні розраховують або оцінюють відношення радіуса планети до радіуса зорі на основі відсотка падіння світла.
- Вчитель демонструє графік спектру атмосфери WASP-96b, отриманий JWST. Учні ідентифікують піки поглинання.
- Учні роблять висновки про хімічний склад атмосфери, використовуючи знання про закони оптики.

### ***3. Групова робота: Екзопланети, придатні для життя (15 хв).***

**Форма:** урок-дослідження (робота в малих групах).

**Завдання:** Оцінка умов для життя на двох різних типах екзопланет.

**Діяльність учнів:**

| ГРУПА   | ДОСЛІДЖУВАНИЙ ОБ'ЄКТ                                       | ОСНОВНЕ ПИТАННЯ                                                                                                                                                                                                                     |
|---------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Група 1 | LHS 475 b (планета земного розміру біля червоного карлика) | Чи достатньо тепла отримує планета від червоного карлика для підтримки рідкої води на поверхні (поняття зони життя)?<br>Які ризики пов'язані з червоними карликами (наприклад, спалахи), і як вони впливають на атмосферу?          |
| Група 2 | LP 791-18 d (планета з припливним нагріванням)             | Чи може вулканізм (внутрішнє тепло, спричинене гравітацією) підтримувати воду в рідкому стані, якщо тепло зорі недостатнє?<br>Як гравітаційна взаємодія з іншими планетами в системі впливає на її клімат та геологічну активність? |

*Метод:* мозковий штурм та обговорення умов зони життя, використовуючи знання про гравітаційну взаємодію та теплообмін.

#### **4. Підсумок та рефлексія (10 хв)**

*Вчитель:* підсумовує, що сучасна астрономія – це не лише спостереження, але й інтерпретація даних за допомогою фізичних законів.

*Запитання для рефлексії:*

- Які фізичні закони ми використовували сьогодні для аналізу екзопланет?
- Яка найбільша проблема чи невідоме питання у вивченні екзопланет на сьогодні?
- Підготувати коротку презентацію про кількість підтверджених екзопланет.

### **«МЕТАМАТЕРІАЛИ»**

#### **1. Рекомендації щодо включення в навчальну програму.**

| ДОСЯГНЕННЯ                                                                                                                                      | РЕКОМЕНДОВАНЕ ВКЛЮЧЕННЯ                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Негативне заломлення</i><br>можливість керувати світлом, змушуючи його заломлюватися «у зворотний» бік, що неможливо в природних матеріалах. | Як приклад застосування хвильової та геометричної оптики.<br>Обговорення відмінностей між природними та штучними оптичними середовищами. |
| <i>Абсолютні лінзи та «плащ-невидимка»</i><br>забезпечення надзвичайної роздільної здатності (менше                                             | Актуалізація теми «Електромагнітні хвилі» та «Телескопи та їхня роздільна здатність» (в астрономії).                                     |



|                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| довжини хвилі) та приховування об'єктів від виявлення за рахунок огинання електромагнітних хвиль.                                       | Розгляд метаматеріалів як потенційної технології майбутніх надчутливих телескопів та антенних систем.                                                                                                                |
| <i>Акустичні та теплові метаматеріали</i><br>матеріали, що маніпулюють звуковими та тепловими хвилями.                                  | Як приклад застосування термодинаміки та акустики (тема «Теплові явища» та «Механічні хвилі»).<br>Обговорення використання для пасивного охолодження космічних апаратів та підвищення ефективності сонячних батарей. |
| <i>Метаповерхні для мініатюризації</i><br>створення тонких, плоских оптичних компонентів (металінз) для заміни громіздких скляних лінз. | Розвиток уявлення про роль інженерної фізики у створенні компактного наукового обладнання (наприклад, для малих супутників-кубсатів або космічних зондів).                                                           |

## 2. Інформаційні матеріали та рекомендації щодо їх пошуку.

### *Огляд останніх досліджень.*

Метаматеріали – це штучно створені матеріали, властивості яких визначаються не стільки їхнім хімічним складом, скільки спеціально розробленою структурою на мікро- або нанорівні. Ця структура (зазвичай періодична) дозволяє маніпулювати хвилями (електромагнітними, акустичними, тепловими) так, як не можуть природні матеріали, наприклад, досягати від'ємного показника заломлення.

Останні дослідження сфокусовані на розробці більш складних, активних та багатофункціональних метаматеріалів, а також на їхній інтеграції з передовими технологіями.

#### *1. Мініатюризація та інтеграція: металінзи.*

Ключовим трендом є перехід від об'ємних метаматеріалів до метаповерхонь (металінз). Це двомірні структури, що складаються з масивів нанoelementів, які здатні виконувати функції традиційних оптичних компонентів (лінз, призм, дифракційних ґраток) при значно менших розмірах та вазі.

Дослідження активно впроваджують металінзи у сфері комп'ютерного зору, мобільних пристроїв та сенсорів. Це дозволяє створювати ультратонкі камери та компактні оптичні системи для мікроскопів.

Триває розробка метаповерхонь для космічних телескопів та кубсатів (CubeSats). Їхня перевага полягає в значній економії ваги та об'єму, що важливо для аерокосмічної галузі. У майбутньому металінзи можуть замінити громіздкі елементи в оптиці.

## *2. Адаптивні та динамічні метаматеріали.*

Це найбільш інноваційний напрямок, де метаматеріали не просто пасивно взаємодіють з хвилями, а можуть змінювати свої властивості в режимі реального часу.

Програмовані метаповерхні – це структури, якими можна керувати за допомогою електричних, магнітних або теплових сигналів. Вони здатні динамічно змінювати діаграму випромінювання або поглинання. Використовуються для створення розумних поверхонь (Intelligent Reflecting Surfaces – IRS) у телекомунікаціях 6G. Ці поверхні можуть перенаправляти бездротові сигнали, покращуючи покриття та швидкість у складних міських середовищах.

## *3. Мультифункціональні метаматеріали та нові хвилі.*

Дослідники розширюють можливості метаматеріалів за межі електромагнітного спектра, інтегруючи їх із тепловими та акустичними функціями.

Акустичні метаматеріали активно розробляються для контролю шуму та фокусування звуку. Вони можуть створювати «звукові плащі-невидимки» або, навпаки, акустичні лінзи для медичної діагностики (наприклад, ультразвуку) та підводної локації.

Теплові метаматеріали – дослідження сфокусовані на пасивному радіаційному охолодженні. Спеціально розроблені метаповерхні можуть ефективно випромінювати тепло у космос (в інфрачервоному діапазоні), підтримуючи охолодження об'єктів без зовнішнього живлення (що є важливим для космічних апаратів та електроніки).

Квантові метаматеріали – вивчається їхній потенціал для маніпуляцій на квантовому рівні, зокрема для створення квантових комп'ютерів та надчутливих сенсорів.

#### 4. Удосконалення «Плаща-невидимки».

Хоча концепція оптичного «плаща-невидимки» залишається актуальною, фокус змістився на практичніші застосування, де хвилі просто огинають об'єкт. Дослідження зосереджені на створенні маскувальних метаповерхонь, які працюють у мікрохвильовому діапазоні (важливо для радіолокації) та інфрачервоному діапазоні (важливо для теплового виявлення).

#### **Рекомендовані ресурси.**

1. Matei A.T., Vişan A.I., Popescu-Pelin G.F. Design and Processing of Metamaterials. *Crystals*. 2025. Vol. 15, iss. 4. P. 374. DOI: 10.3390/cryst15040374.
2. Tian S., Zhang X., Wang X. et al. Recent advances in metamaterials for simultaneous wireless information and power transmission. *Nanophotonics (Berlin, Germany)*. 2022. Vol. 11, iss. 9. P. 1697–1723. DOI: 10.1515/nanoph-2021-0657.
3. Zheng Y., Dai H., Wu J. et al. Research progress and development trend of smart metamaterials. *Frontiers in Physics*. 2022. Vol. 10. P. 1069722. DOI: 10.3389/fphy.2022.1069722.
4. Cheben P., Schmid J., Halir R. et al. Recent advances in metamaterial integrated photonics. *Adv. Opt. Photon.* 2023. Vol. 15. P. 1033–1105.
5. Fadhil T., Al-Sahlawi A. Recent Developments in Active Metamaterials and their Practical Applications. *Al-Iraqia Journal for Scientific Engineering Research*. 2025. Vol. 4, iss. 2. P. 47–54. DOI: 10.58564/IJSER.4.2.2025.317.
6. Yang Y. Overview of the Current State of Research on Metamaterials in Biomedicine. *BIO Web Conf.* 2024. Vol. 142. P. 03020. DOI: 10.1051/bioconf/202414203020.

### 3. Рекомендації щодо форм організації та використання методів.

Для ефективного засвоєння цієї складної міждисциплінарної теми рекомендується застосовувати активні методи, що базуються на компетентнісному підході.

#### Форми організації навчання

| ФОРМА ОРГАНІЗАЦІЇ                     | ОПИС ТА ЦІЛЬОВЕ ПРИЗНАЧЕННЯ                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Урок-дослідження (STEM-проект)</b> | Учні аналізують принцип дії металінзи. Наприклад, вивчають, як її структура (наноантени) впливає на фокусну відстань.<br><b>Мета:</b> розвиток умінь аналізувати зв'язок між структурою матеріалу та його макроскопічними властивостями.                                 |
| <b>Семінар / Круглий стіл</b>         | Обговорення: «Етичні та філософські наслідки технології «плаща-невидимки». Або дискусія про застосування метаматеріалів для захисту космічних апаратів від радіації.<br><b>Мета:</b> Стимулювання критичного мислення та обговорення технологічних ризиків і перспектив. |
| <b>Факультативи / Гуртки</b>          | Організація роботи з віртуального моделювання або 3D-друку простих структур метаматеріалів для демонстрації їхніх властивостей на мікрохвилях.<br><b>Мета:</b> Формування інженерних та практичних навичок.                                                              |

#### Рекомендовані методи та прийоми

| МЕТОД                                | ЯК ЗАСТОСОВУВАТИ                                                                                                                                                                                                          | ПЕДАГОГІЧНА МЕТА                                                                                               |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Кейс-метод</b>                    | Розбір кейсу: «Створення лінзи для JWST-2».<br>Учні отримують завдання спроектувати заміну однієї з громіздких лінз телескопа на металінзу, аргументуючи вибір у вазі та об'ємі.                                          | Розвиток критичного мислення та вміння застосовувати фізичні знання для вирішення реальних інженерних проблем. |
| <b>Проектна діяльність</b>           | Довгостроковий проект: «Розробка покриття на основі метаматеріалів для сонячних батарей».<br>Учні досліджують, як метаповерхні можуть підвищити поглинання світла у певних діапазонах, і роблять розрахунки ефективності. | Формування дослідницьких компетентностей, навичок роботи з формулами та технічною літературою.                 |
| <b>Використання ІКТ та симуляцій</b> | Застосування онлайн-симуляторів для візуалізації поширення електромагнітної хвилі через середовище з негативним заломленням або симуляція ефекту «плаща-невидимки».                                                       | Наочна демонстрація складних оптичних явищ, які неможливо показати на звичайному уроці.                        |

#### **4. Приклад фрагменту сценарію уроку**

**Тема:** Метаматеріали: Нова ера в оптиці та інженерії.

**Тип уроку:** Урок-презентація з елементами кейс-методу.

**Час:** 45 хвилин (основна частина).

**Мета уроку:** Актуалізувати знання про оптичні закони; сформувати уявлення про ключові принципи функціонування метаматеріалів та їхній потенціал у науці й техніці.

##### ***1. Актуалізація знань (5 хв)***

Вчитель розпочинає урок з нагадування учням про закон заломлення світла (закон Снелліуса) та поняття показника заломлення для природних матеріалів (вода, скло, повітря).

*Вчитель:* Згідно з цим законом, світло завжди заломлюється під певним кутом, який визначається властивостями матеріалу. У всіх природних матеріалах показник заломлення є додатним. А що, якби ми могли змусити світло заломлюватися «у зворотний» бік, ніби показник заломлення був від'ємним?

##### ***2. Засвоєння знань: Принцип дії (15 хв)***

Використовуючи ІКТ та симуляції, вчитель пояснює концепцію метаматеріалів.

*Вчитель:* Метаматеріали – це незвичайні матеріали, властивості яких визначаються їхньою штучно створеною структурою, а не хімічним складом.

Ці структури, що часто складаються з періодично розташованих елементів (наприклад, наноантен), менші за довжину хвилі світла, яким ми маніпулюємо.

Саме ця наноструктура дозволяє досягти небачених оптичних властивостей, зокрема негативного заломлення світла.

Вчитель демонструє симуляцію, яка візуалізує, як світло поширюється через середовище з від'ємним показником заломлення.

### **3. Застосування знань: Кейс-метод (15 хв)**

Учні переходять до обговорення практичного кейсу «Металінзи у космічних телескопах» (метод: кейс-метод, групова робота).

*Завдання:* команда інженерів NASA планує створити наступне покоління космічного телескопа, який буде в рази легший і компактніший за JWST. Для цього вони вирішили замінити традиційні, громіздкі скляні лінзи на надтонкі, плоскі металінзи (метаповерхні).

*Групи обговорюють питання:*

- Які переваги отримає космічний апарат (супутник-кубсат або зонд) від такої заміни (наприклад, економія ваги, об'єму, простота виготовлення)?
- Який вплив матиме заміна на роздільну здатність телескопа (згадайте про абсолютні лінзи)?
- Чи можна використати метаматеріали для терморегуляції чутливих приладів телескопа у космосі?

Кожна група презентує свою відповідь та аргументує її.

### **4. Підсумок та рефлексія (10 хв)**

Вчитель підсумовує зв'язок між хвильовою фізикою (оптика) та інженерією.

*Вчитель:* Сьогодні ми побачили, що, маніпулюючи матерією на рівні, меншому за довжину хвилі, ми можемо перевершити природні закони оптики.

*Запитання для рефлексії:*

Які фізичні закони ми використовували сьогодні для пояснення принципів метаматеріалів?

Яке з потенційних застосувань (наприклад, «плащ-невидимка» або надкомпактні телескопи) здалося вам найбільш революційним?

### **2.3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДИКИ ІНТЕГРАЦІЇ НОВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ ФІЗИКИ ТА АСТРОНОМІЇ**

З метою підтвердження педагогічної доцільності розробленої методики і комплексу дидактичних матеріалів для інтеграції новітніх досягнень фізики та астрономії, було проведено анкетування здобувачів освіти.

В ході анкетування було опитано 38 учасників. Учням було поставлено ряд запитань.

Перелік питань, поставлених учням:

1. Наскільки Ви вважаєте важливим вивчення новітніх досягнень фізики та астрономії у шкільному курсі?
2. Чи вважаєте Ви, що матеріал про новітні досягнення фізики та астрономії є достатньо зрозумілим та доступним у подачі вчителя/підручника?
3. Яку форму подачі матеріалу про новітні досягнення фізики та астрономії Ви вважаєте найбільш ефективною?
4. Що, на Вашу думку, може покращити інтеграцію новітніх досягнень фізики та астрономії в шкільний курс?
5. Як Ви вважаєте, чи допомогло Вам вивчення новітніх досягнень фізики та астрономії краще зрозуміти фундаментальні закони та поняття?
6. Чи стимулювало вивчення новітніх досягнень фізики та астрономії Ваше бажання самостійно шукати додаткову інформацію та науково-популярні матеріали?

Проведена експериментальна перевірка ефективності розробленої методики підтвердила її педагогічну доцільність та значущість для інтеграції новітніх досягнень фізики та астрономії в шкільний курс.



Рис. 2.8. Результати анкетування



Отримані дані анкетування (рис. 2.8) засвідчили, що більшість учнів (94,7%) вважають вивчення новітніх досягнень фізики та астрономії у шкільному курсі важливим або дуже важливим.

Це підтверджує високу мотиваційну та світоглядну значущість включення актуального наукового змісту. Водночас, лише 47,4% опитаних вважають подачу цього матеріалу достатньо зрозумілою та доступною, а 52,6% оцінюють її як «не дуже зрозумілу/важкодоступну» або «зовсім не зрозумілу/недоступну». Це свідчить про існування методичної прогалини та необхідності розробки чітких, апробованих рекомендацій. Щодо форм подачі матеріалу, то проєктна діяльність (42,1%) та кейс-метод (34,2%) були визнані найефективнішими, тоді як лекційний виклад отримав найнижчу оцінку (7,9%).

Ключові висновки, отримані за результатами анкетування:

- Існує високий інтерес та значущість вивчення новітніх досягнень фізики та астрономії (94,7% обрали варіанти «важливо»/«дуже важливо»).
- Виявлено значний методичний дефіцит: лише половина учнів (47,4%) вважає подачу матеріалу зрозумілою.
- Учні віддають перевагу активним, діяльнісним формам роботи (проєктна діяльність та кейс-метод).

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У другому розділі кваліфікаційної роботи була розроблена, теоретично обґрунтована та експериментально перевірена методика інтеграції новітніх досягнень фізики та астрономії у зміст навчальних предметів закладів загальної середньої освіти.

Аналіз існуючого стану інтеграції новітніх знань у чинні навчальні програми та підручники виявив наявність суттєвої методичної прогалини. Хоча програми орієнтовані на компетентнісний підхід, швидкість науково-технічного прогресу випереджає процес оновлення змісту, що створює дефіцит конкретного, структурованого та апробованого методичного інструментарію для вчителів. Якість інтеграції новітніх досягнень у чинних підручниках є несистемною та суттєво різниться залежно від авторського колективу. Основними викликами залишаються інформаційне перевантаження учнів та нестача часу для викладання як класичного, так і актуального змісту.

Розроблена структура та зміст методичних рекомендацій стали практичним рішенням для подолання виявленої прогалини. Рекомендації являють собою чіткий алгоритм дій для вчителя, що складається з двох основних частин: переліку ключових новітніх досягнень та дидактичних порад.

Експериментальна перевірка ефективності методики підтвердила педагогічну доцільність та практичну цінність розроблених методичних рекомендацій та дидактичних матеріалів. Результати анкетування продемонстрували високий рівень інтересу та мотивації учнів до вивчення новітніх досягнень і засвідчили, що запропонована методика забезпечує доступність і системність подачі матеріалу.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання дослідження було виконано наступні завдання:

1. **Аналіз проблеми інтеграції новітніх знань у педагогічній теорії та практиці** показав, що сучасний зміст навчальних програм та підручників має суттєву методичну прогалину, яка полягає у відставанні від високих темпів науково-технічного прогресу. Це вимагає розробки додаткового, структурованого та апробованого методичного інструментарію для забезпечення системності та актуальності знань.
2. **Визначено ключові новітні досягнення фізики та астрономії, релевантні для включення у шкільний курс**, а саме: у сфері фізики – метаматеріали, бозон Гігса, основи квантових технологій та перспективи керованого термоядерного синтезу; у сфері астрономії – результати досліджень космічних телескопів, концепції темної матерії та темної енергії, а також пошуку екзопланет та життя у Всесвіті.
3. **Обґрунтовано педагогічні умови та принципи інтеграції**, до яких віднесено дотримання наукової достовірності, доступності, систематичності подачі матеріалу, реалізацію компетентнісного підходу та встановлення концептуальних міжпредметних зв'язків між фізикою, астрономією та суміжними природничо-математичними дисциплінами.
4. **Розроблено методику інтеграції (форми, методи, засоби) та критерії її ефективності**, яка ґрунтується на застосуванні міждисциплінарних кейс-завдань, бінарних уроків та STEM-проектів. Такі форми роботи забезпечують реалізацію інтегрованих міжпредметних зв'язків і стимулюють навчальну діяльність. Критеріями ефективності було визначено рівень сформованості

цілісного наукового світогляду та динаміку пізнавального інтересу учнів

5. **Експериментально перевірено ефективність розробленої методики**, що підтвердило її педагогічну доцільність та позитивний вплив на формування пізнавального інтересу та світоглядної компетентності здобувачів освіти. На основі отриманих результатів сформульовані методичні рекомендації для вчителів закладів загальної середньої освіти, які надають чіткий алгоритм та структуровані дидактичні матеріали для системного включення актуального наукового змісту в освітній процес.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авшенюк, Н. М. Тенденції розвитку освіти дорослих у розвинених країнах світу : монографія / Н. М. Авшенюк, О. І. Огієнко, Н. О. Постригач [та ін.] ; ШООД імені Івана Зязюна НАПН України. – Кропивницький : ІмексЛТД, 2020. – 645 с.
2. Головка, М. В. Фізика і астрономія (рівень стандарту) : підруч. для 11 кл. закл. заг. серед. освіти / М. В. Головка, І. П. Крячко, Ю. С. Мельник [та ін.]. – Київ : Педагогічна думка, 2019. – 288 с.
3. Гончаренко, С. У. Формування у дорослих сучасної наукової картини світу : монографія / Семен Устимович Гончаренко. – К. : ШООД НАПН України, 2013. – 220 с.
4. Горошкіна, О. М. Компетентнісно орієнтоване навчання: сутність, форми і методи : навч. посіб. [Електронне видання] / О. М. Горошкіна, В. І. Доротюк [та ін.]. – К. : Педагогічна думка, 2022. – 221 с.
5. Гуменюк, Л. Й. Соціальна конфліктологія : підручник / Л. Й. Гуменюк. – Львів : Львівський державний університет внутрішніх справ, 2015. – 564 с.
6. Дубасенюк, О. А. Інновації в освіті: інтеграція науки і практики : зб. наук.-метод. пр. / за заг. ред. О. А. Дубасенюк. – Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2014. – 492 с.
7. Засекіна, Т. М. Інтеграція в шкільній природничій освіті: теорія і практика : монографія / Тетяна Миколаївна Засекіна. – Київ : Педагогічна думка, 2020. – 400 с.
8. Засекіна, Т. М. Фізика і астрономія (рівень стандарту) : підруч. для 11 кл. закл. заг. серед. освіти / Т. М. Засекіна, Д. О. Засекін. – Київ : УОВЦ «Оріон», 2019. – 272 с.
9. Навчальні програми для 10–11 класів [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України. – URL: <https://mon.gov.ua/osvita->

[2/zagalna-serednya-osvita/osvitni-programi/navchalni-programi-dlya-10-11-klasiv](https://2/zagalna-serednya-osvita/osvitni-programi/navchalni-programi-dlya-10-11-klasiv) (дата звернення: 05.12.2025).

10. Пришляк, М. П. Астрономія (рівень стандарту) : підруч. для 11 кл. закл. заг. серед. освіти / М. П. Пришляк. – Харків : Ранок, 2019. – 144 с.
11. Сиротюк, В. Д. Астрономія (рівень стандарту) : підруч. для 11-го кл. закл. заг. серед. освіти / В. Д. Сиротюк, Ю. Мирошніченко. – Київ : Генеза, 2019. – 160 с.
12. Сущенко, Л. О. Теорія і практика підготовки майбутніх педагогів в умовах сучасної освітньої парадигми : монографія / за заг. ред. Л. О. Сущенко. – Запоріжжя : ПП «АА Тандем», 2025. – 244 с.
13. Чернецька, М. П. Формування предметної компетентності здобувачів вищої освіти в процесі вивчення курсу «Новітні досягнення у фізиці та астрономії» / М. П. Чернецька, С. В. Мохун // Підготовка майбутніх учителів фізики, хімії, біології, природничих наук в контексті вимог Нової української школи : матеріали III міжнар. наук.-практ. конф., м. Тернопіль, 20 трав. 2021 р. – С. 79–81.
14. Cheben, P. Recent advances in metamaterial integrated photonics / P. Cheben, J. Schmid, R. Halir [et al.] // Adv. Opt. Photon. – 2023. – Vol. 15. – P. 1033–1105.
15. CHEOPS. Characterising exoplanets known to be orbiting around nearby bright stars [Електронний ресурс]. – URL: [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Cheops](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops) (дата звернення: 05.12.2025).
16. Fadhil, T. Recent Developments in Active Metamaterials and their Practical Applications / T. Fadhil, A. Al-Sahlawi // Al-Iraqia Journal for Scientific Engineering Research. – 2025. – Vol. 4, iss. 2. – P. 47–54. DOI: 10.58564/IJSER.4.2.2025.317.
17. Habitable Zone Gallery [Електронний ресурс]. – URL: <http://www.hzgallery.org/> (дата звернення: 05.12.2025).

18. Habitable Zones in Multiple Star Systems [Электронный ресурс]. – URL: <http://astro.twam.info/hz/> (дата звернення: 05.12.2025).
19. James Webb Space Telescope [Электронный ресурс]. – URL: <https://science.nasa.gov/mission/webb/> (дата звернення: 05.12.2025).
20. Matei, A. T. Design and Processing of Metamaterials / A. T. Matei, A. I. Vişan, G. F. Popescu-Pelin // Crystals. – 2025. – Vol. 15, iss. 4. – P. 374. DOI: 10.3390/cryst15040374.
21. NASA Exoplanet Archive A Service of NASA Exoplanet Science Institute [Электронный ресурс]. – URL: <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/> (дата звернення: 05.12.2025).
22. Science with the ELT [Электронный ресурс]. – URL: <https://elt.eso.org/science/exoplanets/> (дата звернення: 05.12.2025).
23. Tian, S. Recent advances in metamaterials for simultaneous wireless information and power transmission / S. Tian, X. Zhang, X. Wang [et al.] // Nanophotonics (Berlin, Germany). – 2022. – Vol. 11, iss. 9. – P. 1697–1723. DOI: 10.1515/nanoph-2021-0657.
24. Yang, Y. Overview of the Current State of Research on Metamaterials in Biomedicine // BIO Web Conf. – 2024. – Vol. 142. – P. 03020. DOI: 10.1051/bioconf/202414203020.
25. Zheng, Y. Research progress and development trend of smart metamaterials / Y. Zheng, H. Dai, J. Wu [et al.] // Frontiers in Physics. – 2022. – Vol. 10. – P. 1069722. DOI: 10.3389/fphy.2022.1069722.