

МЕТОДИЧНІ ПОСІБНИК ДЛЯ ВЧИТЕЛЯ

«ДИДАКТИЧНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ПРАКТИЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ З АСТРОНОМІЇ»

(РІВЕНЬ СТАНДАРТУ, 11 КЛАС)

«ЗОРІ. ЕВОЛЮЦІЯ ЗІР»

АНОТАЦІЯ

Посібник є практично орієнтованим збірником дидактичних матеріалів, розроблених відповідно до чинної навчальної програми з астрономії для 11 класу (рівень стандарту), за основу взято підручник:

«Астрономія» (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Яцківа Я. С.) : підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти / Микола Пришляк. — Харків: Вид-во «Ранок», 2019.—144 с. : іл.).

Основний акцент зроблено на реалізації компетентнісного підходу через систему завдань, спрямованих на перетворення теоретичних знань на практичні вміння.

До збірника включено різноманітні формати завдань: тестові завдання (для контролю знаннєвого компонента), якісні та дискусійні (для розвитку критичного мислення), розрахункові (для застосування математичного апарату), графічні (для інтерпретації моделей та діаграм), спостережні (з використанням реальних об'єктів та віртуальних планетаріїв), проєктні (для інтеграції навичок). Посібник надає вчителю готові інструкції, необхідні табличні дані та ключі для перевірки. Чітка структура матеріалів забезпечує послідовне формування в учнів ключових і предметних компетентностей.

Фокус на практичній діяльності учнів сприяє розвитку критичного мислення, навичок роботи з астрономічною інформацією та підвищує інтерес до вивчення природничих наук.

Надання готових, апробованих дидактичних одиниць суттєво зменшує час на підготовку до уроків і дає можливість зосередитися на організації навчального процесу.

Посібник призначений насамперед для вчителів фізики та астрономії, які викладають курс «Астрономія» в 11 класі на рівні стандарту. Він також буде корисним для викладачів закладів післядипломної педагогічної освіти, керівників методичних об'єднань, а також студентів педагогічних спеціальностей, які готуються до викладання астрономії.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ВСТУП.....	4
ЗОРІ. ЕВОЛЮЦІЯ ЗІР. Зорі та їх класифікація	6
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ	6
ЯКІСНІ ТА ДИСКУСІЙНІ ЗАВДАННЯ	8
РОЗРАХУНКОВІ ЗАВДАННЯ.....	9
ГРАФІЧНІ ЗАВДАННЯ.....	10
СПОСТЕРЕЖНІ ЗАВДАННЯ.....	12
ПРОЄКТНІ ЗАВДАННЯ	14
ЗОРІ. ЕВОЛЮЦІЯ ЗІР. Звичайні зорі. Подвійні зорі. Фізично-змінні зорі.	
Планетні системи інших зір	16
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ	16
ЯКІСНІ ТА ДИСКУСІЙНІ ЗАВДАННЯ	18
РОЗРАХУНКОВІ ЗАВДАННЯ.....	19
СПОСТЕРЕЖНІ ЗАВДАННЯ.....	20
ПРОЄКТНІ ЗАВДАННЯ	22
ЗОРІ. ЕВОЛЮЦІЯ ЗІР. Білі карлики. Нейтронні зорі. Чорні діри інших зір ..	25
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ	25
ЯКІСНІ ТА ДИСКУСІЙНІ ЗАВДАННЯ	27
РОЗРАХУНКОВІ ЗАВДАННЯ.....	28
СПОСТЕРЕЖНІ ЗАВДАННЯ.....	29
ПРОЄКТНІ ЗАВДАННЯ	30

ВСТУП

В умовах реформування середньої освіти ключовим завданням є перехід від суто знаннєвої парадигми до компетентнісної. Це означає, що освіта має готувати учнів не лише до запам'ятовування фактів, а й до їхнього ефективного застосування в життєвих і професійних ситуаціях.

Курс астрономії, особливо на рівні стандарту (11 клас), часто залишається переважно теоретичним і описовим. Учні здобувають знання про зорі, галактики та космологію, але відчують труднощі з практичним застосуванням цих знань.

Даний посібник пропонує інструментарій, який усуває цей розрив. Він містить дидактичні матеріали, що перетворюють пасивне засвоєння інформації на активну діяльність.

Навчальний план рівня стандарту передбачає лише 1 годину на тиждень для вивчення астрономії. Цей ліміт створює значний виклик для вчителя, який повинен охопити величезний обсяг матеріалу та водночас забезпечити виконання практичного компонента. Посібник є необхідним ресурсом для оптимізації навчального процесу. Він пропонує готові, систематизовані та чітко структуровані дидактичні завдання, що дозволяють максимально ефективно використати кожную хвилину уроку для формування практичних навичок. Це звільняє час учителя від розробки якісних, компетентнісно-спрямованих завдань, дозволяючи зосередитися на диференціації та індивідуалізації навчання.

Астрономія є основою для багатьох сучасних технологій. Формування практичної компетентності з астрономії є не лише академічною, але й життєвою необхідністю, що сприяє розвитку наукового світогляду та критичного осмислення науково-технічного прогресу.

Посібник виступає як практичний додаток до підручника М.П. Пришляка. Через свою компактність і обсяг він, як правило, подає теоретичні відомості та лише загальні приклади практичних завдань. Методичний посібник деталізує ці завдання – кожна практична робота чи блок завдань у посібнику корелює з відповідною темою або розділом підручника.

Посібник містить повні, покрокові інструкції та алгоритми виконання робіт, які дозволяють учневі (і вчителю) швидко перейти від теорії підручника до практичного виконання.

Завдання посібника дозволяють реалізувати диференційований підхід, пропонуючи задачі різного рівня складності – від репродуктивного до творчого (кейс-завдання), що відповідає потребам сучасного освітнього процесу.

Таким чином, посібник є актуальним і своєчасним інструментом, який безпосередньо сприяє успішній реалізації ключових освітніх реформ і забезпечує якісне, практично орієнтоване викладання астрономії в умовах обмеженого навчального часу.

Класифікація завдань

Наведена класифікація завдань є не просто переліком вправ, а структурованою методикою, яка забезпечує всебічне формування ключових компетентностей учнів. Кожен тип цілеспрямовано працює на розвиток одного або кількох освітніх компонентів.

Тип завдання	Ключова назва	Основний освітній компонент	Досягнення кінцевого результату
Т	тестові	знаннявий	Формалізований контроль засвоєння понять, фактів, законів.
Я	якісні та дискусійні	ціннісний, діяльнісний	Розвиток критичного осмислення та аргументації.
Р	розрахункові	діяльнісний	Формування навичок кількісного вирішення проблем.
Г	графічні	діяльнісний	Розвиток візуальної грамотності та інтерпретації наукових моделей.
С	спостережні	діяльнісний, ціннісний	Зв'язок теорії з реальним світом, формування практичних умінь.
П	проектні	інтеграційний	Синтез знань, умінь і навичок для комплексного завдання.

ЗОРІ. ЕВОЛЮЦІЯ ЗІР.

Зорі та їх класифікація

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

T1. Яка послідовність правильно впорядковує спектральні класи зір від найгарячіших до найхолодніших?

- A) M, K, G, F, A, B, O
- B) O, B, A, F, G, K, M
- B) A, F, G, B, O, K, M
- Г) G, F, A, B, O, M, K

T2. Що являє собою абсолютна зоряна величина зорі?

- A) Блиск, який спостерігається із Землі
- Б) Світність зорі, виміряна на відстані 1 а.о
- B) Блиск, який спостерігався б, якби зоря була на відстані 10 парсеків
- Г) Фізичний радіус зорі, виражений у радіусах Сонця

T3. Який колір зазвичай мають зорі, що належать до спектрального класу K?

- A) Блакитний
- Б) Жовто-білий
- B) Помаранчевий або жовто-гарячий
- Г) Червоний

T4. Якщо видима зоряна величина (m) зорі дорівнює 5, а її абсолютна зоряна величина (M) дорівнює 2, то на якій відстані вона знаходиться?

- A) Ближче, ніж 10 пк
- Б) Точно на відстані 10 пк
- B) Далі, ніж 10 пк
- Г) Відстань неможливо визначити без даних про паралакс

T5. Яка область на діаграмі Герцшпрунга-Рассела (Г-Р) містить зорі, які генерують енергію за рахунок перетворення водню на гелій у своїх ядрах?

- А) Надгіганти
- Б) Головна послідовність
- В) Червоні гіганти
- Г) Білі карлики

Т6. Зорі, розташовані у нижньому лівому куті діаграми Г-Р (Білі карлики), характеризуються:

- А) Низька температура і дуже висока світність
- Б) Висока температура і висока світність
- В) *Висока температура і мала світність*
- Г) Низька температура і мала світність

Т7. Яке поняття означає відстань, з якої середній радіус земної орбіти видно під кутом в 1" (одна кутова секунда)?

- А) Світловий рік
- Б) *Парсек*
- В) Астрономічна одиниця
- Г) Кілопарсек

Т8. Який метод визначення відстаней до зір використовує залежність між видимою та абсолютною зоряною величинами?

- А) Радіолокаційний метод
- Б) Тригонометричний паралакс
- В) *Метод стандартної свічки*
- Г) Закон Віна

Т9. Згідно з діаграмою Г-Р, зорі, що мають дуже низьку температуру (червоний колір) та водночас надзвичайно високу світність, належать до:

- А) Білі карлики
- Б) Червоні карлики
- В) *Червоні гіганти та надгіганти*
- Г) Зорі Головної послідовності (клас А)

Т10. Який клас світності на діаграмі Г-Р відповідає зорям Головної послідовності?

А) Клас I (надгіганти)

Б) Клас III (гіганти)

В) Клас V (карлики, або Головна послідовність)

Г) Клас VI (субкарлики)

ЯКІСНІ ТА ДИСКУСІЙНІ ЗАВДАННЯ

Я1. «Гарячий» колір. Чому найгарячіші зорі на небі мають блакитний або білий колір, а не червоний, який у побуті асоціюється з вогнем і високою температурою? Який спектральний клас належить до найгарячіших зір?

Я2. Зірковий «термометр». Навіщо астрономам потрібні спектральні класи (O, B, A, F, G, K, M), якщо вони просто позначають температуру? Чому не можна просто виміряти температуру, як ми це робимо зі звичайним термометром?

Я3. Роль водню. Поясніть, чому лінії водню (лінії Бальмера) найяскравіше виражені в спектрах зір класу A (температура 10000 K), а не у найгарячіших зір класу O? Що відбувається з атомами водню при надзвичайно високих температурах?

Я4. Видима чи абсолютна. Зоря Бетельгейзе (червоний надгігант) здається тьмянішою за Сіріус на нічному небі. Чи означає це, що Бетельгейзе випромінює менше енергії, ніж Сіріус? Поясніть, що саме вимірює видима зоряна величина (m) і що таке абсолютна зоряна величина (M).

Я5. Знайомство з Головною послідовністю. Використовуючи діаграму Г-Р, поясніть, що означає термін «Головна послідовність». Чому більшість зір (включно із Сонцем) проводять більшу частину свого життя саме на цій ділянці?

Я6. «Парадокс» червоного гіганта. Зоря з Головної послідовності перетворюється на червоного гіганта. При цьому її температура поверхні знижується, але її загальна світність зростає (вона стає яскравішою). Як це можливо? Яка фізична характеристика зорі компенсує падіння температури?

Я7. Відмінності карликів. На Діаграмі Г-Р існують червоні карлики та білі карлики. Незважаючи на назву «карлик», вони дуже різні. Порівняйте їхні ключові характеристики: температуру (висока/низька?), світність (велика/мала?), радіус (великий/малий?), еволюційний статус (початок/кінець життя?).

Я8. Зірковий «марнотратник». Зорі з великою масою (блакитні гіганти) мають найбільші запаси термоядерного палива, проте живуть вони в мільйони разів менше, ніж маломасивні червоні карлики. Поясніть, чому висока маса зорі скорочує її життя, роблячи її «марнотратником» палива.

Я9. Майбутнє Сонця. Опишіть, як, відповідно до Діаграми Г-Р, зміниться місце Сонця на діаграмі, коли воно перетвориться на червоного гіганта, а потім на білого карлика. Які зміни побачить Земля на кожному з цих етапів?

РОЗРАХУНКОВІ ЗАВДАННЯ

Р1. Розрахунок видимої зоряної величини. Видима зоряна величина зорі А становить $3,0^m$. З'ясувалося, що зоря В світить у 10^m разів яскравіше за зорю А (тобто її освітленість у 2,512 рази більша). Визначте видиму зоряну величину зорі В.

Р2. Порівняння освітленості. Видима зоряна величина Сіріуса становить $-1,5^m$, а Полярної зорі – $2,0^m$. Визначте, у скільки разів Сіріус створює більшу освітленість, ніж Полярна зоря.

Р3. Розрахунок абсолютної зоряної величини. Зоря Арктур має видиму зоряну величину $0,0^m$ і знаходиться на відстані 11 пк. Обчисліть абсолютну зоряну величину зорі Арктур.

Р4. Розрахунок температури за законом Віна. Зоря Вега має максимум випромінювання на довжині хвилі у 1,5 рази меншій, ніж у Сонця. Визначте температуру поверхні зорі Вега, якщо температура Сонця – 5800 К.

Р5. Визначення кольору зорі. Зоря має поверхневу температуру 4200 К і належить до класу К. Визначте її орієнтовний колір та поясніть, чи буде максимум її випромінювання (за законом Віна) зміщений до короткохвильової

(синьої) чи довгохвильової (червоної) частини спектра порівняно з Сонцем
Температура Сонця – 5800 К..

Р6. Зміна світності при зміні температури. Як зміниться світність зорі, якщо її температура поверхні зменшиться у 2 рази, а радіус залишиться незмінним?

Р7. Порівняння радіусів.

Дві зорі X та Y мають однакову температуру поверхні, але світність зорі X у 100 разів більша за світність зорі Y. Визначте, у скільки разів радіус зорі X більший за радіус зорі Y.

Р8. Розрахунок температури при сталій світності. Зоря А і зоря В мають однакову світність. Радіус зорі А у 2 рази менший за радіус зорі В. Визначте, у скільки разів температура поверхні зорі А більша за температуру поверхні зорі В.

Р9. Визначення відстані до надгіганта. Зоря-надгігант (клас світності I), що має спектральний клас M, розташована на діаграмі Г-Р у верхньому правому куті. Її типова абсолютна зоряна величина $-5,0^m$. Якщо видима зоряна величина цієї зорі становить $5,0^m$, то обчисліть відстань до неї в парсеках.

Р10. Співвідношення радіусів білого карлика і червоного гіганта. На діаграмі Г-Р розташовані білий карлик (15000 К) та червоний гігант (3000 К). Відомо, що абсолютна світність гіганта у 2500 разів більша, ніж у карлика. Обчисліть відношення радіусів цих зір.

ГРАФІЧНІ ЗАВДАННЯ

Г1. Класифікація «на око».

Мета. Закріпити зв'язок між кольором, температурою та спектральним класом.

Завдання. Перед вами – умовна шкала, що відображає основні спектральні класи (O, B, A, F, G, K, M):

- Намалуйте або підпишіть відповідний колір над кожним класом.
- Стрілкою вкажіть напрямок зростання температури поверхні.

- Позначте, до якого класу належить Сонце.

Спектральний клас	О	В	А	F	G	K	M
Колір (підписати)							
Приклад зорі	Рігель	Спіка	Сіріус	Канопус	Сонце	Арктур	Бетельгейзе

Г2. Орієнтація на діаграмі Г-Р.

Мета. Навчитися ідентифікувати основні групи зір за їхніми координатами на діаграмі Г-Р.

Завдання 1. Розгляньте діаграму Г-Р. Вона має дві осі: світність (ліворуч) та температура/спектральний клас (знизу).

Завдання 2. Назвіть, які типи зір розташовані у вказаних регіонах:

- Регіон А (верхній правий кут) – велика світність, низька температура:

- Регіон В (нижній лівий кут) – низька світність, висока температура:

- Регіон С (діагональна смуга по центру) – _____

Завдання 3. Поставте в комірках знаки < (менше), > (більше) або = (дорівнює).

Зорі для порівняння	Радіус	Світність	Температура
Червоний гігант і Сонце			
Білий карлик і Сонце			
Зоря О-класу (ГП) і Сонце			

Г3. Еволюційний шлях на діаграмі.

Мета: Зобразити послідовність еволюційних етапів зорі сонячної маси на діаграмі.

Завдання: Уявіть чисту діаграму Г-Р. Зобразіть на ній шлях, який пройде наше Сонце, та підпишіть кожен етап.

- Позначте місце, де Сонце перебуває зараз (на Головній послідовності). Назвіть цю точку (1).

- Намалюйте стрілку, що показує, куди переміститься Сонце, коли стане червоним гігантом. Назвіть цю точку (2).
- Намалюйте стрілку, що показує кінцевий етап еволюції – білий карлик. Назвіть цю точку (3).
- У якому з етапів (1, 2, чи 3) зоря має найбільший радіус?

СПОСТЕРЕЖНІ ЗАВДАННЯ

Частина 1. Візуальна класифікація (колір → температура)

Мета. Навчитися визначати відносну температуру зорі за її візуальним кольором.

C1. «Зірковий світлофор» (аналіз за кольором).

1. Знайдіть у програмі Stellarium або на нічному небі наступні три зорі:
 - a. Сіріус (найяскравіша зоря на небі).
 - b. Бетельгейзе (яскрава зоря в сузір'ї Оріона).
 - c. Рігель (ще одна яскрава зоря в сузір'ї Оріона, розташована на протилежному боці від Бетельгейзе).
2. Запишіть, який колір ви бачите для кожної зорі (наприклад, білий/блакитно-білий, червоно-помаранчевий, блакитний).
3. Використовуючи знання про зв'язок «колір – температура – спектральний клас» (O, B, A, F, G, K, M), ранжуйте ці три зорі від найгарячішої до найхолоднішої.
4. Клацніть на кожну зорю у Stellarium і знайдіть її спектральний клас (наприклад, A1V, M2I, B8Ia). Чи підтверджує цей клас ваше ранжування?
5. Чи відрізняється колір, який ви бачите очима, від кольору, який показує програма? Чому?

C2. Сонце – зоряний стандарт (клас G)

1. У Stellarium знайдіть Сонце, клацніть на нього та перегляньте його характеристики: спектральний клас G2V, абсолютна зоряна величина $M = +4,83$.

2. Знайдіть у сузір'ї Великої Ведмедиці (або в іншому сузір'ї) будь-яку іншу зорю класу G.
3. Порівняйте цю зорю з Сонцем. Чи схожі їхні спектральні класи? Чи схожі їхні абсолютні зоряні величини? Якщо абсолютні величини схожі, але зоря здається набагато тьмянішою, то що це говорить про її відстань від нас у порівнянні з Сонцем?

Частина 2. Аналіз світності та розміру (діаграма Г-Р у дії)

Мета. Навчитися використовувати діаграму Герцшпрунга-Рассела для порівняння фізичних розмірів зір, знаючи лише їхню температуру (клас) і світність (абсолютна величина).

С3. Порівняння «зір-однокласників»

1. Знайдіть у Stellarium Сонце та Арктур.
2. Запишіть та порівняйте температури цих зір, дивлячись на їхні спектральні класи. Яка з них гарячіша?
3. Запишіть та порівняйте їхні абсолютні зоряні величини. Яка зоря випромінює більше енергії?
4. Якщо Арктур є холоднішим за Сонце, але світить у багато разів яскравіше, що це говорить про його фізичний розмір? Обґрунтуйте свою відповідь, посилаючись на те, що світність залежить як від температури, так і від площі поверхні.

С4. Пошук найяскравіших

1. Зайдіть у Stellarium. Знайдіть у сузір'ї Оріона зорю Рігель (або у сузір'ї Лебедя зорю Денеб).
2. У Stellarium визначте спектральний клас (наприклад, B8), клас світності, позначений римською цифрою, наприклад, Іа – надгігант.
3. Чому зорі такого класу (блакитні надгіганти) є найрідкіснішими, але водночас їх можна побачити з Землі навіть з дуже великих відстаней?

ПРОЄКТНІ ЗАВДАННЯ

П1. «Зірковий Паспорт»

Мета. Навчитися використовувати та інтерпретувати різні параметри зір (колір, температура, світність, маса) для їх ідентифікації та класифікації.

Завдання. Створити «паспорти» для трьох-чотирьох зір, що належать до різних класів, з обов'язковим відображенням їхнього місця на діаграмі Г-Р.

1. Виберіть зорі: наприклад, Сонце (клас G2V, Головна послідовність), Сіріус (клас A1V, Головна послідовність), Бетельгейзе або Антарес (червоний надгігант, клас M), білий карлика (наприклад, Сіріус B).
2. Створіть шаблон «паспорта»: для кожної зорі вкажіть такі характеристики: спектральний клас, приблизний колір, приблизна температура поверхні (в K), тип зорі (Головна послідовність, гігант, карлик), світність (відносно Сонця), очікувана тривалість життя (дуже довга, середня, дуже коротка).
3. Коротко поясніть, що є головним параметром, який визначає всі інші характеристики зорі.

П2. «Діаграма Г-Р: карта зіркових доль»

Мета. Візуалізувати діаграму Герцшпрунга–Рассела та пояснити еволюційний шлях зір на ній.

Завдання. Створити великий, чітко підписаний макет діаграми Г-Р, використовуючи лише інформацію про спектральні класи (по осі X) та світність (по осі Y), та розмістити на ній основні групи зір.

1. Намалюйте/надрукуйте осі: на осі X (горизонтальній) відкласти температуру (або спектральні класи O-B-A-F-G-K-M, зі збільшенням температури вліво). На осі Y (вертикальній) – світність (або абсолютну зоряну величину).
2. Позначити основні ділянки: Головна послідовність – виділити діагональну смугу, де розташована більшість зір, гіганти/надгіганти – позначити верхню частину діаграми, білі карлики – позначити нижню ліву частину.

3. Розмістити еволюційний шлях Сонця: простими стрілками показати, як Сонце (від класу G) спочатку рухатиметься до червоних гігантів, а потім перетвориться на білого карлика.
4. Пояснити, чому зорі на головній послідовності розміщуються по діагоналі.

ПЗ. «Колірний індекс: астрономічний детектив»

Мета. Зрозуміти, як астрономи визначають температуру зорі, просто дивлячись на її колір та спектральний клас.

Завдання. Провести міні-дослідження, яке демонструє залежність між колірним індексом зорі та її температурою.

1. Скласти таблицю для 5-7 зір з різних класів (O, A, G, M): назва зорі (або клас), основний колір (блакитний, білий, жовтий, червоний), приблизна температура поверхні (в K).
2. Сформулювати правило: «Чим [колір] зорі, тим [температура] її поверхні».
3. Чому людське око бачить червоних гігантів, таких як Бетельгейзе, досить яскравими, хоча вони випромінюють у менш енергетичному червоному спектрі? Пояснити, що колір говорить не про загальну світність, а лише про температуру поверхні.
4. Продемонструвати, як знаючи лише колір (чи спектральний клас) зорі, ми можемо одразу оцінити її температуру.

ЗОРІ. ЕВОЛЮЦІЯ ЗІР.

Звичайні зорі. Подвійні зорі. Фізично-змінні зорі. Планетні системи інших зір

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

Т1. Який термін використовується для позначення зір, світність яких змінюється через фізичні процеси всередині них?

- A) Подвійні зорі
- Б) Фізично-змінні зорі*
- В) Оптично-подвійні зорі
- Г) Звичайні зорі

Т2. Яка частина зір у нашій Галактиці, за оцінками астрономів, є подвійними або кратними зоряними системами?

- A) Менше 10%
- Б) Близько 25%
- В) Понад 50%*
- Г) Майже 100%

Т3. Як називається планета, що обертається навколо зорі, відмінної від Сонця?

- A) Планетоїд
- Б) Коричневий карлик
- В) Екзопланета*
- Г) Земля-супутник

4. Який метод пошуку екзопланет ґрунтується на вимірюванні періодичних змін блиску зорі, спричинених проходженням планети перед її диском?

- A) Метод радіальних швидкостей
- Б) Транзитний метод*
- В) Метод гравітаційного лінзування
- Г) Пряме спостереження

5. Зорі, які фізично не пов'язані між собою, але на небі розташовані близько, називаються...

- А) Фізично-подвійні
- Б) Спектрально-подвійні
- В) *Оптично-подвійні*
- Г) Затемнювано-змінні

6. Який клас змінних зір дозволяє астрономам визначати відстані до далеких галактик завдяки чіткій залежності «період-світність»?

- А) Спалахуючі зорі
- Б) *Цефеїди*
- В) Нові зорі
- Г) Змінні типу RR Ліри

7. Явище, коли одна зоря у подвійній системі періодично затемнює іншу, призводячи до зміни загального блиску, називається...

- А) Пульсація
- Б) Спалах
- В) *Затемнення*
- Г) Транзит

8. Який з методів пошуку екзопланет дозволяє виявити планету за коливанням її зорі навколо спільного центра мас?

- А) Транзитний метод
- Б) Метод прямого спостереження
- В) *Метод радіальних швидкостей*
- Г) Метод астрометрії

9. Яка головна відмінність Наднової зорі від Нової?

- А) Наднова завжди повторюється, а Нова – ні.
- Б) Наднова – це вибух лише зовнішньої оболонки, а Нова – повне руйнування зорі.

В) Наднова набагато потужніша і яскравіша за Нову, оскільки це вибух всієї зорі або її ядра.

Г) Нова може виникати лише у поодиноких зорях.

10. Які зорі використовують для вимірювання відстаней до кулястих зоряних скупчень у межах нашої Галактики?

А) Цефеїди

Б) Змінні типу *RR Ліри*

В) Змінні типу Алголя

Г) Червоні гіганти

ЯКІСНІ ТА ДИСКУСІЙНІ ЗАВДАННЯ

Я1. Оптична та фізична подвійність. Поясніть, чому для підтвердження того, що дві зорі дійсно утворюють фізично-подвійну систему, недостатньо лише їхньої видимої близькості на небесній сфері.

Я2. Цінність цефеїд. В астрономії цефеїди називають «стандартними свічками». У чому полягає їхня унікальність і як астрономи використовують залежність «період-світність» для визначення відстаней?

Я3. Виявлення екзопланет. Яку фундаментальну властивість зорі використовує метод радіальних швидкостей для виявлення невидимої планети, що обертається навколо неї? Опишіть це явище двома реченнями.

Я4. Світлові криві затемнення. Чому на світловій кривій затемнювано-змінної зорі завжди спостерігаються два мінімуми різної глибини, а не лише один?

Я5. Еволюційна значущість. Чим спалах Нової зорі відрізняється від спалаху Наднової з точки зору масштабу вибуху та впливу на подальшу еволюцію самої зорі?

Я6. Два методи – одна мета. Транзитний метод і метод радіальних швидкостей є найуспішнішими в пошуках екзопланет. Порівняйте ці два методи: який з них краще підходить для виявлення дуже великих планет на великих орбітах, а який – для виявлення малих планет на малих орбітах? Обґрунтуйте свою відповідь, посилаючись на фізичний принцип роботи кожного методу.

Я7. Життя у подвійних системах. Більшість зір у Галактиці є подвійними. Чи може планета, що обертається навколо однієї з зір у тісній подвійній системі, мати достатньо стабільні умови (температуру та кількість енергії) для підтримання життя, порівняно з планетою у системі, подібній до нашої (поодинокі зоря)?

Я8. Критерії пошуку. Припустимо, ви шукаєте планету, яка найбільше схожа на Землю, розташовану у зоні життя (зоні, де може існувати рідка вода). **ня:** Яку зорю (жовтий карлик, червоний карлик чи блакитний гігант) ви б обрали для початкового пошуку, враховуючи тривалість її життя, світність та розмір зони життя? Чому?

Я9. Нерегулярна змінність. Зорі типу Нова або Наднова є непередбачуваними, їхні спалахи неможливо точно спрогнозувати. Чи має нерегулярний спалах зорі більше наукової цінності для астронома, ніж регулярна зміна блиску пульсуючої цефеїди? У якому аспекті астрономії більш важлива непередбачуваність, а в якому – строга періодичність?

РОЗРАХУНКОВІ ЗАВДАННЯ

Р1. Відстань. Річний паралакс зорі становить $0,04''$. Визначте відстань до цієї зорі у парсеках, світлових роках та кілометрах.

Р2. Паралакс. Зоря знаходиться на відстані 50 пк. Який її річний паралакс у кутових секундах?

Р3. Абсолютна зоряна величина. Зоря знаходиться на відстані 100 пк і має видиму зоряну величину $m = 8$. Яка її абсолютна зоряна величина?

Р4. Видима зоряна величина. Абсолютна зоряна величина зорі 3^m . Вона знаходиться на відстані 100 пк. Яка її видима зоряна величина?

Р5. Загальна маса подвійної системи. Дві зорі обертаються з періодом 4 роки. Велика піввісь їхньої орбіти 4 а.о. Яка загальна маса цієї системи у масах Сонця?

P6. Період подвійної системи. Загальна маса подвійної системи становить 9 мас Сонця. Велика піввісь орбіти 9 а.о. Визначте період обертання цієї подвійної системи у роках.

P7. Відношення швидкостей у подвійній системі. У подвійній зоряній системі відомо, що маса першої зорі у 3 рази більша за масу другої зорі. У скільки разів швидкість обертання другої зорі більша за швидкість першої?

P8. Амплітуда коливань зорі. Маса зорі у 500 разів більша за масу екзопланети. Якщо амплітуда коливань радіальної швидкості зорі становить 10 м/с, то яка амплітуда коливань швидкості самої планети (у м/с)?

P9. Глибина транзиту. Радіус зорі у 5 разів більший за радіус екзопланети. Яку частину світла зорі перекриє планета під час транзиту?

P10. Відстань до цефеїди. Цефеїда має абсолютну зоряну величину -4^m і видиму зоряну величину 6^m . Визначте відстань до цієї зорі у парсеках, світлових роках та кілометрах.

СПОСТЕРЕЖНІ ЗАВДАННЯ

Для кожної зорі знайдіть її у Stellarium, натисніть на неї і використовуйте панель інформації зліва для отримання необхідних даних.

C1. Порівняння зір за спектральним класом

1. Знайдіть зорю Сіріус А (Sirius A) у сузір'ї Великого Пса.
2. Знайдіть зорю Арктур (Arcturus) у сузір'ї Волопаса.
3. Запишіть їхні спектральні класи.
4. Який колір та, відповідно, приблизно яка температура поверхні у кожній зорі? Як це співвідноситься з їхніми спектральними класами?

C2. Візуалізація оптично-подвійної зорі

1. Знайдіть у сузір'ї Великої Ведмедиці зорю Міцар.
2. Наблизьте зображення. Ви побачите зорю Алькор поруч.
3. Визначте відстань до Міцара та відстань до Алькора (у світлових роках або парсеках). Чи підтверджують ці дані, що Міцар і Алькор є лише

оптично-подвійною системою (тобто не пов'язані гравітаційно, а просто розташовані на одній лінії зору)?

С3. Дослідження фізично-подвійної зорі

1. Знайдіть у сузір'ї Центавра зорю Альфа Центавра (Alpha Centauri).
2. Натисніть на неї та перегляньте інформацію. Зауважте, що це кратна система.
3. Яка з компонентів системи є найближчою до Сонця зорею (не враховуючи Сонце)? Яка відстань до неї?

С4. Затемнювано-змінна зоря

1. Знайдіть у сузір'ї Персея зорю Алголь (Algol).
2. Натисніть на неї. В інформаційній панелі знайдіть тип змінної зорі.
3. Чому Алголь є важливим прикладом затемнювано-змінної зорі? Які фізичні явища в ній викликають періодичні зміни блиску?

С5. Пульсуюча змінна зоря

1. Знайдіть зорю Полярна – це змінна зоря типу цефеїди.
2. Знайдіть зорю дельта Цефея – прототип класу.
3. Запишіть видиму зоряну величину для дельти Цефея. Якщо цефеїди використовуються як «стандартні свічки» для вимірювання великих відстаней, яка ключова характеристика цих зір пов'язана з їхньою світністю? (знайдіть цю характеристику в інформації у Stellarium).

С6. Змінна зоря типу RR Ліри

1. Знайдіть у сузір'ї Ліри зорю RR Ліри (RR Lyrae).
2. Запишіть її видиму зоряну величину та період зміни блиску.
3. Чим змінні типу RR Ліри схожі на цефеїди і чим вони відрізняються (зазвичай, за світністю та розташуванням у Галактиці)?

С7. Дослідження системи екзопланет

1. Знайдіть зорю 51 Пегаса (51 Pegasi) у сузір'ї Пегаса.
2. У Stellarium натисніть на неї та знайдіть вкладку «Планети» (Exoplanets) або перегляньте детальну інформацію.

3. Скільки екзопланет відомо у цієї зорі? Як називається планета, відкрита першою у цій системі, і чому вона є історично важливою?

C8. Пошук планет у системі червоного карлика

1. Знайдіть зорю TRAPPIST-1 у сузір'ї Водолія.
2. Скільки планет обертається навколо цієї зорі? Чому ця зоряна система викликає великий інтерес у пошуках життя?

C9. Порівняння зоряних систем

1. Знайдіть Сонячну систему (наше Сонце). Знайдіть систему Кеплер-186 (Kepler-186).
2. Порівняйте відстані від зорі до планет у системі Кеплер-186 із відстанями до планет Сонячної системи (використовуйте одиниці а.о.). Чи відрізняється «зона життя» у Кеплер-186 від нашої?

C10. Моделювання транзитного методу

1. У Stellarium перейдіть до налаштувань часу та встановіть реальну дату та час.
2. Знайдіть будь-яку зорю з відомою екзопланетою (наприклад, WASP-18).
3. Спробуйте прискорити час (клавіша L) та спостерігати, як яскравість зорі (видима зоряна величина) візуально змінюється.
4. Хоча Stellarium не завжди точно моделює невеликі зміни блиску, як цей експеримент допомагає зрозуміти суть транзитного методу пошуку екзопланет?

ПРОЄКТНІ ЗАВДАННЯ

П1. «Зоряна візитівка»

Завдання. Виберіть одну звичайну зірку (наприклад, Сіріус, Вега, Арктур) або зірку головної послідовності (крім Сонця). Створіть її «візитівку» у вигляді інфографіки або плаката, вказавши основні характеристики:

1. Видима та абсолютна зоряна величина.
2. Світність (відносно Сонця).
3. Температура та колір.

4. Спектральний клас.

П2. «Моделювання діаграми Герцшпрунга-Рассела»

Завдання. Створіть спрощену 2D-модель (плакат або електронний макет) діаграми Герцшпрунга-Рассела. Позначте на ній положення головної послідовності, червоних гігантів, надгігантів та білих карликів. Поясніть, що діаграма розповідає про еволюцію зір.

П3. «Центр мас подвійної системи»

Завдання. Створіть просту фізичну модель (наприклад, з двох кульок різної маси, з'єднаних стрижнем) або анімовану цифрову модель, щоб продемонструвати, як дві зорі різної маси обертаються навколо спільного центра мас. Поясніть, як астрономи використовують цей рух для визначення мас зір.

П4. «Космічні маяки – Цефеїди»

Завдання. Дослідіть змінні зорі типу цефеїд. Поясніть, що таке залежність «Період-Світність» і чому ці зорі називають «стандартними свічками». Наведіть приклад використання цефеїд для вимірювання відстані до іншої галактики (наприклад, до Галактики Андромеди).

П5. «Світлові криві затемнень»

Завдання. Намалюйте або побудуйте (в електронному вигляді) типову «світлову криву» для затемнювано-подвійної зорі типу Алголя. Поясніть, що відбувається у точках мінімуму і максимуму та яку інформацію про радіуси і температури зір можна отримати з цієї кривої.

П6. «Порівняння вибухів»

Завдання. Складіть порівняльну таблицю або діаграму Венна для вибухових змінних зір: Нові та Наднові. Порівняйте їхні механізми виникнення, пікову світність та кінцевий продукт (що залишається після вибуху).

П7. «Детективи екзопланет»

Завдання. Створіть інфографіку, що візуально порівнює два основні методи відкриття екзопланет: транзитний метод та метод радіальних швидкостей. Покажіть, які фізичні параметри зірки та планети вимірюються в кожному випадку.

П8. «Зона життя навколо червоного карлика»

Завдання. Виберіть зірку-червоний карлик (наприклад, Проксима Центавра або TRAPPIST-1). Намалюйте або схематично зобразіть її сонячну систему, визначте та позначте на схемі її «зону життя» (Habitable Zone), пояснивши, чому вона розташована набагато ближче до зірки, ніж у Сонячній системі.

П9. «Найцікавіша екзопланета»

Завдання. Проведіть невелике дослідження і оберіть одну екзопланету, яка здається вам найцікавішою з точки зору можливого життя або незвичайних характеристик (наприклад, гарячий юпітер, суперземля, планета з двома сонцями). Складіть про неї міні-довідку, обґрунтувавши свій вибір.

П10. «Надземлі – клас планет»

Завдання. Дослідіть клас екзопланет, відомих як «Надземлі» (Super-Earths). Опишіть їхні загальні характеристики (маса, радіус) порівняно із Землею. Поясніть, чому цей клас планет є важливим для пошуку життя, і назвіть 2-3 відомі приклади.

ЗОРІ. ЕВОЛЮЦІЯ ЗІР.

Білі карлики. Нейтронні зорі. Чорні діри інших зір.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

Т1. Яка зоряна маса приблизно відповідає межі, після якої зоря головної послідовності неминуче стане білим карликом?

- А) Менше 0,5 маси Сонця
- Б) Менше 8 мас Сонця
- В) *Менше 1,4 маси Сонця*
- Г) Понад 25 мас Сонця

Т2. Який фізичний процес запобігає подальшому стисканню білого карлика під дією гравітації?

- А) Тиск гарячого плазмового газу
- Б) *Тиск виродженого електронного газу*
- В) Енергія ядерного синтезу гелію
- Г) Відцентрова сила обертання зорі

Т3. Кінцевим продуктом еволюції якої зорі є нейтронна зоря, що утворилася внаслідок вибуху Наднової II типу?

- А) Зоря з масою менше 1,4 маси Сонця
- Б) Зоря, яка знаходиться на стадії червоного гіганта
- В) *Зоря з початковою масою від 8 до приблизно 25 мас Сонця*
- Г) Зоря з масою понад 25 мас Сонця

Т4. Нейтронні зорі отримали свою назву, оскільки їхня речовина складається переважно з...

- А) Атомів гелію і гідрогену
- Б) Високоіонізованої плазми
- В) Вуглецю і кисню
- Г) *Нейтронів*

Т5. Що таке пульсар?

- А) Зоря, що періодично спалахує як Нова

Б) Білий карлик, що швидко обертається

В) Нейтронна зоря, яка швидко обертається та випромінює пучки радіохвиль

Г) Наймолодша зоря головної послідовності

Т6. Яка маса зоряного залишку є критичною для утворення чорної діри (гравітаційного колапсу, який неможливо зупинити)?

А) Менше 1,4 маси Сонця

Б) Від 1,4 до 3 мас Сонця

В) Понад 3 маси Сонця

Г) Будь-яка маса, якщо стиснення досить сильне

Т7. Який фундаментальний параметр зорі головної послідовності визначає її подальший еволюційний шлях?

А) Світність

Б) Радіус

В) Маса

Г) Хімічний склад

Т8. Чому чорні діри отримали таку назву?

А) Вони мають чорний колір, оскільки не випромінюють світла

Б) Їхня поверхня складається з темної речовини

В) Гравітація настільки сильна, що навіть світло не може їх покинути

Г) Вони поглинають інші зорі, через що стають невидимими

Т9. Яке явище дозволяє астрономам виявити невидиму чорну діру, яка є компонентом подвійної зоряної системи?

А) Періодична зміна блиску зорі-супутника (затемнення)

Б) Випромінювання гамма-сплесків під час її утворення

В) Рентгенівське випромінювання від акреційного диска

Г) Спостереження гравітаційних хвиль, що виходять із діри.

Т10. Що відбувається з білим карликом у подвійній системі, якщо його маса перевищує межу Чандрасекара?

А) Він перетворюється на нейтронну зорю

- Б) Він колапсує, утворюючи чорну діру
- В) Відбувається вибух Наднової I типу
- Г) Він стає червоним гігантом

ЯКІСНІ ТА ДИСКУСІЙНІ ЗАВДАННЯ

Я1. Порівняння механізмів стабільності. Поясніть, у чому полягає принципова фізична відмінність між механізмом, що підтримує Сонце від гравітаційного колапсу сьогодні, та механізмом, який підтримуватиме його, коли воно стане білим карликом?

Я2. Доля Наднової. Чому вибух Наднової (зокрема II типу) може призвести до утворення як нейтронної зорі, так і чорної діри? Який єдиний фактор, що визначається початковою зорею, вирішує цю кінцеву долю?

Я3. Принцип виродженого газу. Поясніть ідею «тиску виродженого газу» у контексті білих карликів. Чому цей тиск майже не залежить від температури зорі, і до чого це призводить в її подальшій еволюції (або її відсутності)?

Я4. Пульсари як «маяки». Нейтронні зорі, які ми спостерігаємо як пульсари, випромінюють у проміжку від радіохвиль до гамма-променів. Чому ми бачимо ці об'єкти як «пульсуючі», хоча вони випромінюють постійно?

Я5. Щільність і розміри. Використовуючи знання про білі карлики та нейтронні зорі, поясніть, чому білий карлик з масою в 1 масу Сонця має радіус, співмірний із радіусом Землі, а нейтронна зоря з масою в 2 маси Сонця має радіус, співмірний із середнім містом (наприклад, 10-12 км)?

Я6. «Життя» білого карлика. Чи можна вважати білий карлик «мертвою» зорею, якщо він, хоча і не генерує енергію через термоядерний синтез, все ж таки випромінює теплову енергію та повільно охолоджується? Обґрунтуйте свою відповідь, посилаючись на визначення «зорі».

Я7. Виявлення невидимого. Чому чорні діри, будучи невидимими, насправді є одними з найбільш «галасливих» і яскравих об'єктів у Всесвіті? Які процеси роблять їх такими, і чому це вимагає їх спостереження у високоенергетичних діапазонах?

Я8. Межа Чандрасекара та Наднова Іа. Вибух Наднової І типу відбувається, коли білий карлик перевищує межу 1,4 маси Сонця. Оскільки всі ці вибухи відбуваються приблизно за однієї й тієї ж маси, чому Наднові І типу використовуються як «стандартні свічки» для вимірювання відстаней у Всесвіті?

Я9. Чорна діра та горизонт подій. Що, на вашу думку, насправді відбувається з об'єктом, який перетинає горизонт подій чорної діри? Чому з точки зору зовнішнього спостерігача цей об'єкт ніколи не досягає горизонту, тоді як для самого об'єкта перехід відбувається миттєво.

Я10. Еволюційний глухий кут. Якби ви були астрофізиком і мали можливість «переписати» закони природи, що ви змінили б, щоб зірки з масою Сонця не закінчували своє існування як білі карлики, а продовжували свій життєвий цикл? Які б наслідки це мало для хімічного складу Всесвіту?

РОЗРАХУНКОВІ ЗАВДАННЯ

Р1. Густина білого карлика. Густина речовини білого карлика може досягати 10^6 г/см³. У скільки разів середня густина білого карлика більша за густину води?

Р2. Маса нейтронної зорі. Густина речовини нейтронної зорі складає приблизно 10^{14} г/см³. Яку масу (у тоннах) матиме 1 см³ речовини такої зорі?

Р3. Радіус білого карлика. Радіус типового білого карлика приблизно дорівнює радіусу Землі – 6400 км. У скільки разів радіус білого карлика менший, ніж радіус Сонця?

Р4. Швидкість обертання пульсара. Пульсар, який є нейтронною зорею, може обертатися з частотою 600 обертів на секунду. Яким є період його обертання у мілісекундах? Припускаючи, що радіус пульсара 10 км, знайдіть швидкість обертання точки на його екваторі.

Р5. Радіус Шварцшильда. Радіус Шварцшильда для чорної діри з масою Сонця становить приблизно 3 км. Яким буде радіус Шварцшильда для зоряної чорної діри масою 5 мас Сонця?

P6. Гравітація на поверхні білого карлика. Припустимо, що білий карлик має масу Сонця і радіус Землі. У скільки разів прискорення вільного падіння на його поверхні буде більшим, ніж на Землі?

P7. Критична густина чорної дри. Яка середня густина речовини міститься в межах горизонту подій чорної діри з масою Сонця та радіусом Шварцшильда 3 км?

P8. Тривалість життя зорі. Приблизний час життя зорі на головній послідовності обернено пропорційний кубу її маси. Зоря з масою 5 мас Сонця живе $1,6 \cdot 10^8$ років. Якщо наше Сонце живе 10^{10} років, то наскільки довший його час життя?

СПОСТЕРЕЖНІ ЗАВДАННЯ

C1. Візуалізація білого карлика

1. Знайдіть найяскравішу зорю неба – Сіріус (α Canis Majoris).
2. Збільште зображення Сіріуса до максимуму.
3. Використовуючи функцію пошуку або наведення, знайдіть Сіріус В (його тьмяного супутника, який є білим карликом).
4. Порівняйте видиму яскравість (зоряну величину) Сіріуса А (головна зоря) та Сіріуса В (білий карлик). Як це візуально підтверджує, що білі карлики тьмяні, незважаючи на їхню високу температуру?

C2. Спостереження залишку Наднової

1. Знайдіть Крабоподібну туманність (M1) у сузір'ї Тельця.
2. Активуйте функцію «Туманності» у Stellarium, щоб побачити структуру цього об'єкта. Це залишок вибуху Наднової, який спостерігали в 1054 році.
3. Знайдіть у центрі туманності «Крабоподібний пульсар». Клацніть на ньому та подивіться його фізичні параметри.
4. Зверніть увагу на саму туманність. Як залишок Наднової візуально демонструє, що вибух викинув величезну кількість речовини в міжзоряний простір?

С3. Оцінка майбутнього Сонця

1. Знайдіть зорю Альдебаран (α Tauri) у сузір'ї Тельця. Це зоря типу «Червоний гігант».
2. Увімкніть режим відображення сузір'їв, щоб побачити положення Альдебарана відносно інших зір.
3. Порівняйте характеристики Альдебарана (клацніть на ньому, щоб побачити параметри) з характеристиками Сонця.
4. Поясніть, чому Альдебаран має червоний колір, і як він візуально відрізняється від Сонця, демонструючи майбутній стан нашої зорі.

С4. Пошук кандидата у чорні діри

1. Знайдіть у Stellarium об'єкт Лебідь Х-1 (Cygnus X-1) у сузір'ї Лебедя. Це перша відкрита зоряна чорна діра.
2. Клацніть на об'єкті. Stellarium може показати його як яскраво-блакитну зорю-супутник (HDE 226868) у подвійній системі.
3. З'ясуйте, що саме видно у Stellarium. Поясніть, чому саму чорну діру не видно, і який компонент системи дозволяє астрономам зробити висновок про її існування?

С5. Планетарна туманність

1. Знайдіть Кільцеподібну Туманність (M57) у сузір'ї Ліри.
2. Збільште зображення туманності.
3. Знайдіть центральну зорю туманності. Ця зоря є білим карликом. Використовуючи параметри зорі в Stellarium, визначте її температуру.
4. Чому білі карлики, які щойно утворилися, є одними з найгарячіших об'єктів у Всесвіті, хоча вони вже не генерують енергію (на відміну від Сонця)?

ПРОЄКТНІ ЗАВДАННЯ

П1. «Астрофізичні чемпіони»

Мета. Візуально порівняти ключові фізичні характеристики білих карликів, нейтронних зір та чорних дір.

Завдання.

1. Зберіть дані про:

Типовий радіус (у км або порівняно із Землею).

Типову густину.

Критичну межу маси для формування.

Механізм підтримки від гравітаційного колапсу (який тиск переважає?).

Походження (зорі якої маси їх утворюють).

2. Створіть таблицю або інфографіку, де три об'єкти розташовані поруч, і їхні характеристики. Додайте візуальні елементи, що демонструють різницю в розмірах.

П2. «Сонячний шлях»

Мета. Наочно продемонструвати повний цикл еволюції зорі, схожої на Сонце.

Завдання.

1. Виділіть основні стадії життя Сонця (туманність, протозоря, головна послідовність, червоний гігант, планетарна туманність, білий карлик).

2. Створіть макет або цифрову анімацію. Якщо це макет, можна використовувати різні матеріали (пластилін, папір, пінопласт) для відображення розмірів на кожному етапі.

3. Коротко опишіть ключовий процес, що відбувається на кожному етапі (наприклад, для білого карлика – припинення ядерних реакцій та гравітаційний тиск вироджених електронів).

П3. «Пульсари – маяки космосу»

Мета. Дослідити механізм роботи пульсарів та їхнє значення для астрономії.

Завдання.

1. Поясніть, що таке пульсар, і як він пов'язаний із нейтронною зорею.

2. Намалуйте або знайдіть схему, що ілюструє, чому ми бачимо пульсар як періодичне випромінювання (ефект «маяка»).

3. Знайдіть інформацію про історію відкриття пульсарів та їхнє перше сприйняття як сигналу від позаземних цивілізацій.
4. Коротко опишіть, як пульсари використовуються в астрономії (наприклад, для перевірки теорії відносності).

П4. «Подорож до горизонту подій»

Мета. Зрозуміти поняття «горизонт подій» та «сингулярність» у контексті чорної діри.

Завдання.

1. Чітко визначте, що таке горизонт подій і сингулярність.
2. Напишіть короткий сценарій або створіть комікс про астронавта, який наближається до чорної діри.
3. Включіть у сценарій наукові описи:

Що астронавт бачить?

Ефект спотворення часу і простору.

Критичний момент перетину горизонту подій.

Ефект «спагеттизації».