

спостереженнями 5000 метеорів визначено координати 280 радіантів метеорних потоків, а також 3500 висот метеорів та їхню залежність від геоцентричної швидкості, кута входження в атмосферу та зоряної величини. За допомогою гойдаючого дзеркала визначено швидкості 1400 метеорів. Кіль-

кість спорадичних метеорів становить приблизно 80 %. На основі цих даних дійшли основного висновку: метеорні тіла в Сонячній системі мають переважно прямий рух – рухаються навколо Сонця в тому самому напрямку, що й планети.

(Далі буде)

МЕТОДИКА ВИВЧЕННЯ ТЕМИ «УТВОРЕННЯ ТА ЕВОЛЮЦІЯ ЗІР»

Світлана МАЛЬЧЕНКО, кандидат фізико-математичних наук, асистент кафедри фізики та методики її навчання Криворізького національного університету;

Олександр КОНОВАЛ, доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри фізики та методики її навчання Криворізького національного університету;

Володимир СИРОТЮК, доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри теорії та методики навчання фізики і астрономії НПУ ім. М. П. Драгоманова

На сьогодні спостерігається підвищений інтерес до астрономії на різних рівнях сучасного суспільства. Однак у школах та вищих навчальних закладах ще недостатньо уваги приділяють астрономії й, відповідно, розвитку розуміння цілісної картини світу. В середній школі курс астрономії завершує фізичну освіту і спрямований на формування в учнів наукових уявлень про будову і розвиток Всесвіту та матеріалістичного світогляду. Астрономія містить весь діапазон понять сучасної фізики і повною мірою базується на її законах, тому особливим є взаємозв'язок астрономії та фізики. З огляду на це вчитель астрономії має максимально використати під час вивчення астрономії знання, здобуті учнями на уроках фізики [4].

Астрономічні дані отримують переважно зі спостережень. На уроках відтворити астрономічні явища неможливо, і єдиним способом показати реальність астрономічних даних є використання моделі, а також демонстраційних фото й відео. Крім того, астрофізика – це наука, що постійно розвивається, щодня з'являються нові дані. Вивчення астрономії не може «відставати» від сучасних досягнень астрофізики, тому потрібно повідомляти і демонструвати сучасні факти та досягнення, а також нові яскраві фотографії, що їх отримують за допомогою космічного телескопа «Хаббл», та відеофрагменти (цих даних достатньо є на сайті NASA та російськомовному сайті <http://www.astrogorizont.com>). Допомогти в цьому може використання мультимедійних засобів на уроках астрономії.

Процес зореутворення є предметом астрофізики. З погляду еволюції Всесвіту, дуже важливі є знання історії темпу зореутворення. В нашу епоху це становить 3–5 M_{\odot} на рік. За сучасними даними, в сузір'ї Чумацький Шлях утворюються переважно зорі з масами 1–10 M_{\odot} . Оскільки оболонки навколо протозір, що формуються, містять велику кількість пилу, наскрізь вони не проглядаються, і це набагато ускладнює спостереження початкової стадії формування зір. Близьк 20 років працює космічний телескоп «Хаббл» який може приймати ІЧ-випромінювання і, відповідно, «заглянути» в середовище, де зароджуються зорі, тому на сьогодні процес утворення зір майже повністю досліджено.

В Україні є два рекомендованих підручники з астрономії: [3] та [5]. Тему «Утворення зір» розкрито в цих підручниках по-різному. Перший автор пояснює процес формування зір, використовуючи закони фізики (гравітаційні сили, кінетичну та потенціальну енергію тощо), а другий спираючись на останні досягнення астрономії.

На нашу думку, найкращим варіантом під час вивчення теми буде поєднання цих двох способів пояснення. Бажано також звертати увагу учнів і на молоді змінні зорі (об'єкти Хербіга Аро, зорі типу Т Тельця). Ці об'єкти є найбільш досліджуваними як в Україні, так і в світі.

Актуальність розглядуваної теми полягає в тому, що в загальноосвітніх школах учителі частіше не пов'язують астрономію з фізикою або тільки поодинокі питання астрономії розкривають з використанням законів та явищ фізики. В результаті

ті учні не можуть пояснити, чому зоря має сферичну форму, чим планети відрізняються від зір, як визначають температуру небесних тіл і чому при цьому не потрібний термометр. Крім того, на вивчення астрономії в школі відведено лише 17 год (і 34 год – для профільних класів): цього недостатньо, щоб висвітлити найголовніші питання астрономії та задовольнити цікавість учнів. Тому, по-перше, треба використовувати приклади астрономічних явищ на уроках фізики і застосування законів фізики під час їх пояснення. Це допоможе розв'язати дві задачі – підвищити інтерес учнів до вивчення фізики, а також наочно продемонструвати застосування знань (і навчити їх застосовувати) з фізики.

Отже, мета даної статті – показати необхідність і можливість пов'язувати астрономічні явища із законами фізики, а також використовувати різноманітні методичні засоби й новітні інформаційні технології, збільшувати частку самостійної роботи учнів у навчальному процесі, що стимулює розвиток їхніх пізнавальних інтересів і дає простір для уяви учнів під час вивчення курсу астрономії в школі та ВНЗ.

Виходячи з необхідності осучаснення навчання астрономії у ЗНЗ і враховуючи високий пізнавальний інтерес учнів до неї, нашим завданням стала розробка уроку «Утворення та еволюція зір» у тісному зв'язку з фізикою та демонстрацією сучасних досягнень і нових фактів. Презентація може бути частиною уроку вивчення нового матеріалу, а також посібником для самостійної роботи учнів. У статті ми наводимо лише деякі фотографії, що їх потрібно продемонструвати учням під час пояснення нового матеріалу. Можна показати більше фотографій ділянок зореутворення, а також фотографії скупчень (розсіяних та шарових – як фінал утворення зір у окремих ділянці Всесвіту). Під час вивчення даної теми бажано показати одну з існуючих моделей подорожі в ділянку зореутворення, наприклад у туманність Оріона. Пояснюючи утворення та еволюцію зір, належну увагу також треба приділити діаграмі Герцшпрунга–Ресселла, нагадати, як розміщуються зорі на цій діаграмі, з якого боку «підходять» протозорі. Враховуючи скорочений 2011/2012 навчальний рік, на тему «Утворення та еволюція зір» рекомендовано виділити 1 (2) год. Дану розробку пропонуємо з розрахунку 2 год на тему, тобто для профільних класів, у яких є можливість докладніше розглянути цей матеріал.

Урок на тему:

«УТВОРЕННЯ ТА ЕВОЛЮЦІЯ ЗІР»

Мета уроку: *дидактична:* ознайомити учнів з особливостями утворення зір; сформулювати уяв-

лення про протозорі, газово-пилові хмари, розкрити еволюційні зв'язки між різними формами руху та структурної організації матерії у Всесвіті, показати взаємозв'язок астрономічної науки з іншими природничими та технічними науками; *розвивальна:* продовжити формування прийомів розумової діяльності – аналізу, порівняння, синтезу, вміння проводити аналогії, встановлювати причинно-наслідкові зв'язки; розвивати загальнонавчальні навички; *виховна:* формувати світогляд, спираючись на взаємозв'язок явищ у Всесвіті, формувати діалектичний шлях пізнання.

Тип уроку: засвоєння нових знань.

Обладнання: презентація з фотографіями туманностей, відеофрагменти «Мандрівка в ділянки зореутворення».

Методи навчання: пояснювально-ілюстративний з проблемними елементами.

Види контролю та засоби зворотного зв'язку: індивідуальне та фронтальне опитування.

Міжпредметні зв'язки: з *фізикою:* закон збереження й перетворення енергії, закон збереження імпульсу (9 клас); з *хімією:* склад ядер атомів хімічних елементів.

Ключові питання уроку: формування зір, протозорі.

Учні повинні знати: сценарій виникнення та розвитку зір.

Учні повинні вміти: пояснювати природу й причини виникнення зір.

ХІД УРОКУ

I. Актуалізація опорних знань учнів. Перед початком вивчення нового матеріалу треба відповісти на такі запитання: *Що таке зоря? Які хімічні елементи особливо поширені на Сонці; у Всесвіті?*

II. Постановка мети і завдань. На першому уроці ми розглянемо, як, з чого, де і чому утворюються зорі.

III. Вивчення нового матеріалу.

IV. Закріплення здобутих знань.

V. Підсумок уроку. *Дуже важливо зробити основні висновки з даної теми і ще раз наголосити на зв'язках фізики та астрономії і важливості законів фізичних явищ, що виконуються навіть у космічних масштабах.*

Вивчення нового матеріалу. (Фрагменти теоретичного матеріалу.)

Проблема зореутворення – це одна з центральних тем у сучасній астрофізиці. Зорі – найпоширеніші у Всесвіті об'єкти, з них складаються більші структурні утворення – галактики. І питання про те, чому в різних ділянках Всесвіту з речовини переважно утворюються саме зорі, за яких умов і яким чином це звершується, не може не хвилювати астрономів. Тим більше, що явища, які відбуваються під час утворення й умирання зір, мабуть, тісно пов'язані з най-

ВИВЧАЄМО АСТРОНОМІЮ

глибшими проблемами будови і еволюції матерії, зокрема з явищами, що відбуваються у світі елементарних частинок.

Єдиної та однозначної моделі, яка пояснювала б механізм запуску процесу зореутворення, поки немає. У сучасній астрофізиці є дві основні концепції походження зір. Розглянемо одну з них, яка дістала назву «класичної» і ґрунтується на тому, що зорі утворюються у процесі конденсації газу в холодних (температура становить близько 10–30К) газово-пилових комплексах, маси яких досягають 10^3 – $10^6 M_{\odot}$, розміри – 10–100 пк (концентрація атомів становить 10^3 – 10^6 см^{-3}). Ці комплекси складаються переважно з молекул водню. Щодо пилинок, то це дрібні тверді утворення, що розсіяні в космічному просторі і мають достатньо складну структуру, їх центральну частину становить тугоплавке силікатне чи графітове ядро, на якому намерзли забруднені льоди. Як показують спостереження міжзоряного поглинання світла, розміри таких пилинок невеликі – від 0,1 до 1 мкм. Приклад галактичного газаво-пилового комплексу, в якому відбувається процес зореутворення, наведено на мал. 1.



Мал. 1. Туманності – ділянки активного зореутворення: *a* – найближча до нас ділянка зореутворення – Велика туманність; *b* – пилові стовпці в сузір'ї Стрільця – місце, де народжуються зорі типу нашого Сонця

Формування зір починається з того, що в газаво-пиловій хмарі або в якійсь її частині розвивається так звана гравітаційна нестійкість. Іншими словами, у хмарі відбувається процес наростання збурень густини і швидкості руху речовини, невеликих відхилень значень цих фізичних величин від їхніх середніх значень для даної хмари. За теорією, однорідний розподіл речовини за наявності сил тяжіння не може бути стійким. Речовина має розкладатися на окремі згустки. За одним з основних законів фізики, будь-яка фізична система завжди прагне до такого стану, за якого її потенціальна енергія є мінімальною. З утворенням згустків та їх стисненням гравітаційна енергія переходить у кінетичну енергію речовини, що стискується, яка,

в свою чергу, може переходити в теплову енергію і випромінюватися. Отже, внаслідок процесу фрагментації та утворення згустків зменшується потенціальна енергія, при цьому спочатку зростає тільки кінетична енергія, температура не змінюється, й ділянка утворення зір ще залишається «прозорою».

У подальшому утворені фрагменти, в свою чергу, розпадаються на ще дрібніші згустки допоки в результаті гравітаційного стиснення їхня густина зростає настільки, що в їх центральних частинах утворюються зореподібні ядра – протозорі. Важливо, що як тільки в центральній зоні спочатку однорідної газавої кулі утворюється протозоряне ядро зі значно вищою густиною, то прискорення сили тяжіння біля нього збільшується і відповідно зростає швидкість падіння внутрішніх шарів протозорі на її ядро. Тому ядро постійно стискається, а його маса безперервно зростає, відповідно збільшується і температура в центрі. Чим ближче до центра протозорі, тим вищі температура та густина газу. Потенціальна енергія затрачається на нагрівання, й протозорі стають потужними джерелами ІЧ-випромінювання. Спостереження показують, що такі джерела справді є в міжзор'яних газаво-пилових комплексах. Це об'єкт Хербіґа–Аро, названі так на честь астрономів першовідкривачів, а також зорі типу Т Тельця.

Через декілька десятків тисяч років після початку формування протозорі температура її ядра вже досягає значення понад 10^6 К. Цього вже достатньо для «вмикання» інших джерел виділення енергії, що підтримують високу температуру та внутрішній тиск у ядрі. Так розпочинаються термоядерні реакції за участю водню і дейтерію. Випромінювання, що надходить від гарячих внутрішніх шарів, поглинає речовина оболонки яка продовжує падати на вже сформований зародок протозорі. І лише після того як основна частина маси оболонки впде на ядро, а її залишок стане достатньо прозорим для випромінювання, можна побачити світло самої молодшої зо-



Мал. 2. Ділянка, де «щойно» утворилося декілька зір



Мал. 3. Молоде розсіяне скупчення NGC 602 у Малій Магеллановій Хмарі. В центрі зорі вже утворилися, але є ще туманність, з якої можуть бути сформовані зорі

У результаті нагрівання протозорі та дії світлового тиску оболонка починає розсіюватися в просторі (мал. 2).

У великих хмарах народжуються сотні протозір. Такі системи, що об'єднані спільним походженням, утворюють зоряні скупчення й асоціації (мал. 3). Обчислення показують, що стискування протосонця тривало близько 30–50 млн років. Для інших протозір цей час тим менший, чим більша їхня маса. Протозоря масою $M \approx 15M_{\odot}$ еволюціонує до головної послідовності приблизно за 60 тис. років, якщо $M = 0,5M_{\odot}$ – то близько 150 млн років. Від маси залежить, наскільки швидко протозоря перетвориться на зорю, немасивні зорі все роблять повільніше: і народжуються, і живуть.

До таких легких об'єктів належать червоні зорі, що мають невеликі розміри й називаються червоними карликами. Червоні карлики за розмірами вдесятеро менші за Сонце. Зоря типу Сонця називається жовтим карликом, такі зорі також відносно невеликі. Найважчі та великі нормальні зорі називаються блакитними гігантами. (Демонстрація відеофрагмента процесу формування зір.)

Зоря відповідно її маси посідає певне місце на головній послідовності діаграми ефективна температура – світність. Головна послідовність це геометричне місце точок на вказаній діаграмі, що відображають положення зір, у надрах яких водень перетворюється на гелій.

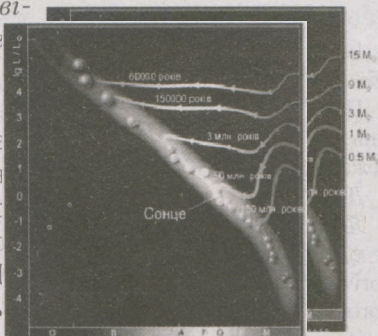
За останні десятиліття уявлення про зміну фізичних параметрів протозір, а отже, і про їхні еволюційні треки на діаграмі ефективна температура – світність радикально переглянуто. За цей же час суттєво вдосконалено методи обчислень змін радіуса із часом, поверхневої температури і світності протозорі та її внутрішньої структури. У 1961 р. Ч. Хаяші (Японія) виявив, що протозоря стискається як єдине ціле, а енергія в ній переноситься під час конвекції. Світність протозір зумовлена виділенням енергії в їх центральних частинах, які перебувають у стані безперервного стискування. Еволюційні треки починаються в низькотемпературній частині діаграми ефективна температура – світність. З часом поверхнева температура протозорі підви-

щується, а її світність дещо зменшується. Це відбувається за рахунок поступового зменшення радіуса, яке згодом припиняється, а послаблення світності змінюється її зростанням аж до виходу протозорі на головну послідовність (мал. 4).

Залишається ще не з'ясованим, наскільки правильним є вибір математичних співвідношень, що описують перенесення енергії з надр протозорі за допомогою конвекції, як впливає на її еволюцію обертання навколо осі, а також магнітне поле, що пронизує первинну газову хмару. Щодо обертання, то очевидно, що воно порушує сферичну симетрію. Обчислення, які все ще доводиться виконувати з певними спрощеннями, дають змогу дійти висновку, що зі збереженням моменту кількості руху фрагмент хмари, який від початку мав помітний обертальний рух, з часом сплющується. З подальшою еволюцією фрагмента він перетворюється на кільце, в якому через декілька десятків тисяч років формуються два діаметрально протилежних згущення, що далі стають зорями, утворюючи подвійну систему.

У сучасній астрофізиці існує ще бюраканська концепція зореутворення, яку протягом ряду років розробляє школа академіка В. А. Амбарцумяна. Її прихильники вважають, що зорі утворюються внаслідок розпаду на частини більш щільних, можливо, і надщільних об'єктів. Ці об'єкти можуть бути залишками тієї «первісної» речовини, з якої утворився наш Всесвіт.

Отже, базові процеси зореутворення складаються з виникнення гравітаційної нестійкості в хмарі, формування акреційного диска та початку термоядерних реакцій у зорі. Останній процес також іноді називається народженням зорі. Початок термоядерних реакцій, як правило, зу-



Мал. 4. Еволюційні треки протозір різних мас



Мал. 5.

піння зростання маси небесного тіла, що формується, і сприяє утворенню нових зір навколо нього. Світло, що йде від зорі, передає імпульс навколишньому середовищу й дає поштовх для

ВИВЧАЄМО АСТРОНОМІЮ

утворення нових зір. Тому в скупченні спочатку формуються масивніші зорі, а потім – менш яскраві.

Закріплення вивченого матеріалу.

Чому утворюються зорі?

Де у Всесвіті утворюються зорі?

Що може стати поштовхом до їх утворення?

Які закони лежать в основі формування зір?

Від чого залежать тривалість життя зір і час формування зорі (мал. 5)?

Використовуючи матеріал статті та доповнюючи його іншими джерелами інформації, можна розв'язувати завдання на уроках астрономії. Головне – це зворотний зв'язок: факти й дані астрономії потрібно наводити на уроках фізики під час вивчення відповідних тем. Надалі планується продовжити дану лінію викладу астрономії та розробки плану вивчення інших питань астрономії з погляду фізики і, на-

впаки, використання інтересу до астрономії на уроках фізики.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андрієвський С. М. Курс загальної астрономії: навч. посібник / С. М. Андрієвський, І. А. Климишин. – Одеса: Астропринт, 2007. – С. 427–431.
2. Каплан С. А. Фізика звезд / С. А. Каплан. – М.: Наука, 1977. – 209 с.
3. Климишин І. А. Астрономія: [підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закладів] / І. А. Климишин, І. П. Крячко – К.: Знання України, 2002. – 192 с.
4. Мальченко С. Л. Зв'язок фізики та астрономії при вивченні теми «Змінні зорі» / С. Л. Мальченко, М. В. Кірко // Теорія та методика навч. фундамент. дисциплін у вищ. шк. – Вип. ІХ. – Кривий Ріг: Вид. відділ НМетАУ, 2011. – С. 332–339.
5. Пришляк М. П. Астрономія: [підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закладів] / М. П. Пришляк. – Харків: Веста: Ранок, 2003. – 144 с.

ДО ОБГОВОРЕННЯ

ЯК ОДНА ЗАДАЧА ВИЯВИЛА ПРОГАЛИНУ В ШКІЛЬНОМУ КУРСІ ФІЗИКИ

(Закінчення. Початок див. на с. 7)

З усього переліченого випливає: до того як хвиля потрапила до найдальшого краю останньої кульки, вона має пройти всі кульки, в тому числі й передостанню. Саме тому в разі відхилення однієї кульки з одного боку наслідком буде відхилення тільки однієї кульки з іншого боку. Якщо з одного боку відхилили дві кульки, то відбувається такий самий процес, але якщо хвиля від другої кульки повністю пройшла останню кульку, і та почала рухатися, то хвиля від першої кульки тільки пройшла передостанню кульку, а остання й передостання вже не взаємодіють. Аналогічно відбувається з трьома й більше кульками.

Уявімо, що відбувалося б, якби швидкість поширення хвилі була б необмеженою. Хвилі від першої та другої відхилених кульок одночасно потрапили б на останню кульку, й вона одна відхилилася би на більший кут.

Таким чином, наші спостереження й міркування ґрунтуються на фундаментальному законі, який шкільна програма взагалі ігнорує в базовій школі й розглядає як окремий випадок у старших класах. Але більшість законів фізики тим або іншим чином ґрунтуються або використовують його як умову припущення. Отже, ми зможемо надати учням важливий інструмент у спостереженнях і аналітичних висновках про явища природи. Більше того, розв'язування указаної задачі ґрунтується саме на цьому законі: **будь-яке явище в природі відбувається з обмеженою швидкістю.**

Приклад застосування цього закону в 7 класі. Розглянемо таку задачу.

Термометр з теплового приміщення винесли на мороз. Спочатку ми побачимо підвищення температури, а потім – зниження. Поясніть явище [2, 19]. Дану задачу розв'язують на основі життєвого досвіду, але можна було б розв'язувати на основі базових теоретичних знань. Враховуючи, що будь-яке явище в природі відбувається з обмеженою швидкістю, скло й ртуть у термометрі не можуть охолонути одночасно. Спочатку охолоне скло й стиснеться. Ми побачимо, що стовпчик ртуті піднявся («температура зросла»), а лише після цього охолоне ртуть, і термометр покаже справжню температуру.

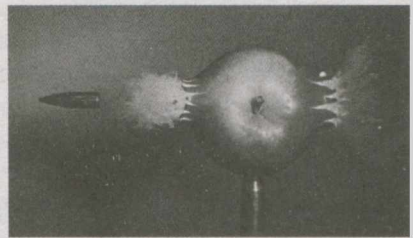
Інший приклад. *Чи може тіло рухатися швидше своєї тіні або випередити її за умови, що джерело світла нерухоме?*

Під час розв'язування цієї задачі треба врахувати, що тінь утворюється за допомогою світла, швидкість якого обмежена.

Для старшої школи цікавою є така задача.

Легкі двері людина може відчинити одним пальцем. Чому ж куля пробиває ті самі двері, не відчиняючи їх [3, 62] (аналогічна задача – чому куля пробиває яблуко, не зрушивши його з місця (мал. 2)?

Знову відповідь ґрунтується на скінченності швидкості даного явища. Для поширення деформації, спричиненої кулею, потрібен певний час. Враховуючи швидкість поширення деформації, час взаємодії кулі з дверима та явище інерції, отримуємо правильну відповідь.



Мал. 2. Демонстрація явища інерції та обмеженої швидкості поширення взаємодії

Закон про обмежену швидкість допоможе не тільки розуміти і пояснити певні явища природи та розв'язати деякі задачі, а й стане основою для формулювання законів фізики, зокрема закону електромагнітної індукції або пояснення математичних моделей, наприклад принципу Гюйгенса. Ось чому цей закон треба вивчати з перших кроків ознайомлення з фізикою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бутиков Е. И., Быков А. А., Кондратьев А. С. Фізика в примерах и задачах: Учеб. пособие. – 2-е изд., стереотип. – М.: Наука, 1983. – 464 с.
2. Гельфгат І. М. Фізика, 7 кл.: Зб. задач. – 4-те вид. – Харків: Веста, 2009. – 64 с.
3. Карпукіна О. О. Фізика, 10 кл.: Акад. рівень: Зб. задач. – Харків: Веста, 2010. – 192 с.