

Наталія Гулич

ВИКОРИСТАННЯ НАОЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦІЇ АТМОСФЕРНОЇ РЕФРАКЦІЇ В КУРСІ АСТРОНОМІЇ ТА ФІЗИКИ

Анотація. У статті розглядаються фізичні основи та прояви атмосферної рефракції, а також методичні проблеми її вивчення у курсах фізики та астрономії. Детально проаналізовано причини виникнення рефракції, пов'язані з оптичною неоднорідністю атмосфери та зміною густини повітря з висотою. Описано основні наслідки рефракції для астрономічних спостережень: зміна видимого положення світил, подовження дня, сплюснута форма дисків Сонця і Місяця біля горизонту, сцинтиляція, атмосферна дисперсія, а також пов'язане явище міражів. З метою подолання труднощів у засвоєнні цієї теми запропоновано просту, недорогою та ефективну наочну модель для демонстрації викривлення шляху світлових променів у неоднорідному середовищі. Описано методику створення та використання моделі на заняттях, обґрунтовано її педагогічну доцільність для формування глибшого розуміння фізичних основ атмосферних оптичних явищ та розвитку експериментальних навичок.

Ключові слова: методика навчання фізики, методика навчання астрономії, атмосферна рефракція, наочна модель, демонстраційний експеримент, міжпредметні зв'язки, оптичні явища в атмосфері, оптична неоднорідність атмосфери, фізика атмосфери, закон Снеліуса, сцинтиляція, міражі, педагогічні моделі.

Вступ

Одним із важливих понять, що поєднує курси фізики (розділ "Оптика") та астрономії, є атмосферна рефракція – викривлення шляху світлових променів від небесних об'єктів при проходженні крізь земну атмосферу. Пояснення фізичної природи рефракції, яка зумовлена зміною густини (а отже, і показника заломлення n) повітря з висотою, часто викликає труднощі у студентів та учнів через абстрактність процесу та необхідність інтеграції знань з різних розділів фізики та астрономії. Традиційні методи навчання, що обмежуються теоретичними поясненнями та схематичними рисунками, не завжди дозволяють сформулювати чітке уявлення про механізм явища та його наслідки, а також подолати вказані труднощі. Виникає потреба у розробці та впровадженні доступних та ефективних наочних засобів, які б дозволили візуалізувати процес рефракції та полегшити його розуміння в рамках діяльнісного підходу до навчання [1].

Метою цієї публікації є розробка простої та недорогої у виготовленні наочної моделі для демонстрації явища атмосферної рефракції, опис методики її створення та використання в освітньому процесі при вивченні відповідних тем з фізики та астрономії, а також обґрунтування її педагогічної цінності для підвищення якості засвоєння навчального матеріалу.

Виклад основного матеріалу

Атмосферна рефракція є наслідком оптичної неоднорідності земної атмосфери. Ключовим фактором є зміна показника заломлення повітря n з висотою. Біля поверхні Землі за нормальних умов $n \approx 1.00029$, тоді як у космічному просторі $n=1$. Світловий промінь від небесного об'єкта (зорі, планети, Сонця, Місяця), проходячи крізь атмосферу, перетинає шари повітря з поступово зростаючим показником заломлення. На кожній уявній межі між такими шарами відбувається заломлення згідно із законом Снеліуса:

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 \quad (1)$$

Refraction of light

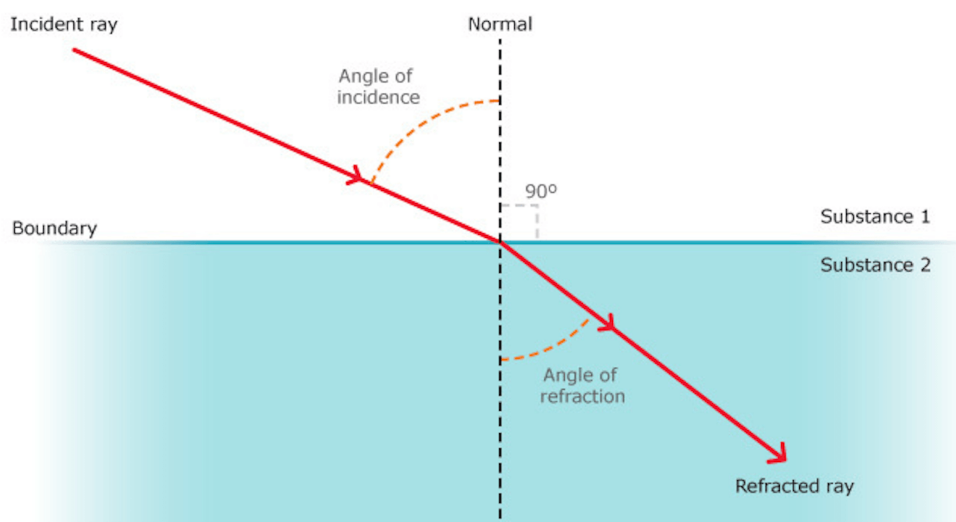


Рис. 1. Ілюстрація закону заломлення світла (закону Снеліуса) на межі поділу двох середовищ з показниками заломлення n_1 (Середовище 1) та n_2 (Середовище 2), де $n_2 > n_1$. Показано кут падіння α_1 та кут заломлення α_2 , виміряні відносно нормалі до поверхні.

Оскільки промінь входить у більш оптично щільне середовище ($n_2 > n_1$), він заломлюється "до нормалі" ($\alpha_2 < \alpha_1$). Через неперервну зміну n з висотою траєкторія променя світла в атмосфері є плавною кривою лінією, увігнутою до поверхні Землі [2]. Через значну кривизну шляху променя в щільних нижніх шарах атмосфери, рефракція на горизонті сягає значної величини – близько 35° . Це явище має кілька важливих астрономічних наслідків:

- Збільшення тривалості дня: Ми бачимо верхній край Сонця в момент, коли він геометрично ще перебуває під горизонтом (приблизно на 35°), і продовжуємо бачити його, коли він вже опустився під горизонт на таку ж величину [3].
- Зміна видимої форми дисків Сонця та Місяця: Нижня частина диска світила, перебуваючи ближче до горизонту, зазнає більшої рефракції (піднімається сильніше), ніж верхня частина.
- Мерехтіння зір (сцинтиляція): Турбулентні рухи повітряних мас з різною температурою і густиною викликають швидкі хаотичні зміни показника заломлення вздовж шляху променя від зорі. [4].
- Атмосферна дисперсія: Показник заломлення повітря трохи залежить від довжини хвилі світла (n трохи більший для синього світла, ніж для червоного) [5].

Для наочної демонстрації основного принципу рефракції пропонується модель, що описана нижче.

Матеріали для створення моделі:

- Прозора прямокутна ємність (куб з оргскла).
- Вода.
- Цукор для створення розчину зі змінною концентрацією.
- Лазерна вказівка (червона з видимим променем).
- Ложка для обережного наливання рідини.

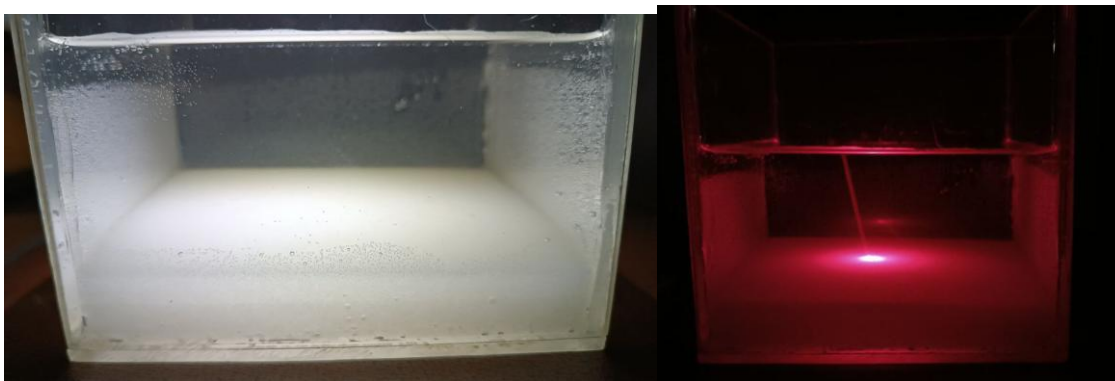


Рис. 2. Схема демонстрації рефракції за допомогою лазерного променя у рідині зі змінною густиною.

Методика створення градієнта густини:

1. Приготувати насичений розчин цукру або солі у невеликій кількості води.
2. Налити цей концентрований розчин на дно прозорої ємності шаром у кілька сантиметрів.
3. Дуже обережно, по стінці ємності або за допомогою ложки/піпетки, наливати зверху чисту воду, намагаючись мінімально перемішувати шари. Можна створити кілька шарів з поступово зменшуваною концентрацією розчину.
4. Залишити ємність на деякий час (від 30 хвилин до кількох годин) для того, щоб на межі шарів відбулася дифузія і утворився плавний градієнт концентрації (і, відповідно, густини та показника заломлення) по висоті. Чим довше стоїть система, тим плавнішим буде градієнт.

Проведення демонстрації: У затемненому приміщенні спрямувати промінь лазерної вказівки крізь бічну стінку ємності так, щоб він проходив через шари рідини з різною концентрацією під певним кутом до вертикалі (див. Рис. 2 в додатку). Спостерігати за шляхом променя всередині рідини. Буде чітко видно, як лазерний промінь викривлюється, загинаючись донизу – в бік більшої густини (більшого показника заломлення), аналогічно тому, як це відбувається зі світлом від зір в атмосфері Землі. Змінюючи кут падіння

променя, можна показати, що ефект викривлення сильніший для променів, що йдуть під більшим кутом до вертикалі (імітація світил біля горизонту).

Педагогічне використання моделі: її використання відповідає принципам наочності та активізації пізнавальної діяльності [6].

- Демонстрація на лекціях/уроках: Викладач може використати модель для ілюстрації теоретичного матеріалу про атмосферну рефракцію, закони заломлення світла, залежність показника заломлення від густини середовища.
- Лабораторна робота/Експериментальне завдання: Студенти або учні можуть самостійно створити таку модель (або використати готову) і дослідити залежність викривлення променя від кута падіння або від градієнта концентрації, можливо, спробувавши кількісно оцінити кут викривлення.
- Міжпредметні зв'язки: Модель ефективно демонструє зв'язок між фізикою (оптика, властивості рідин, дифузія), астрономією (спостережувані ефекти рефракції – підняття світил, зміна їх форми, мерехтіння зір), хімією (розчини, дифузія) та географією (атмосферні явища, міражі). Це сприяє формуванню цілісної наукової картини світу [7].

Перевагами запропонованої моделі є її виняткова простота, низька вартість компонентів (вода, цукор/сіль, доступна ємність, лазерна вказівка, яка часто є в навчальних закладах), наочність та ефективність у демонстрації складного фізичного явища. Вона дозволяє перейти від абстрактного опису до візуального спостереження, що значно покращує розуміння та запам'ятовування матеріалу [8].

Висновки

Запропонована наочна модель, що імітує атмосферну рефракцію за допомогою лазерного променя в рідині зі змінною густиною, є ефективним, простим та недорогим дидактичним засобом. Впровадження подібних простих, але змістовних моделей у практику викладання природничих дисциплін є важливим кроком до підвищення якості освіти та формування глибокого розуміння фізичних основ навколишнього світу та Всесвіту.

Список використаних джерел:

1. Каленик М. В., Шут М. І. Реалізація діяльнісного підходу в навчанні фізики учнів основної школи. *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова*. Серія 3. Фізика і математика у вищій і середній школі. 2012. Вип. 10. С. 54–59.
2. Smart W. M. Textbook on Spherical Astronomy. 6th ed., revised by R. M. Green. Cambridge : Cambridge University Press. 1977. 448 p.
3. Meeus J. Astronomical Algorithms. 2nd ed. Richmond : Willmann-Bell. 1998. 477 p.
4. Young A. T. Scintillation. AccessScience. McGraw-Hill Education, 2014. URL: <https://www.google.com/search?q=https://www.accessscience.com/content/scintillation/607800>
5. Young A. T. Green flashes at a glance. San Diego State University Department of Astronomy. URL: https://www.google.com/search?q=https://aty.sdsu.edu/gf/gf_glance.html
6. Енциклопедія освіти / гол. ред. В. Г. Кремень. Київ : Юрінком Інтер. 2008. 1040 с.
7. Sokoloff D. R., Thornton R. K. Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. *The Physics Teacher*. 1997. Vol. 35. Iss. 6. P. 340–347.
8. Hofstein A., Lunetta V. N. The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*. 2004. Vol. 88. Iss. 1. P. 28–54.

**USING A VISUAL MODEL TO DEMONSTRATE ATMOSPHERIC REFRACTION
IN ASTRONOMY AND PHYSICS COURSES**

Abstract. *The article discusses the physical principles and manifestations of atmospheric refraction, as well as the methodological challenges of studying it in physics and astronomy courses. The causes of refraction related to the optical inhomogeneity of the atmosphere and the change in air density with altitude are analyzed in detail. The main consequences of refraction for astronomical observations are described: changes in the apparent position of celestial bodies, lengthening of the day, flattened shape of the Sun and Moon disks near the horizon, scintillation, atmospheric dispersion, and the related phenomenon of mirages. To overcome difficulties in mastering this topic, a simple, inexpensive, and effective visual model is proposed to demonstrate the bending of light rays in an inhomogeneous medium. The methodology for creating and using the model in classes is described, and its pedagogical feasibility for fostering a deeper understanding of the physical basis of atmospheric optical phenomena and developing experimental skills is substantiated.*

Keywords: *physics teaching methods, astronomy teaching methods, atmospheric refraction, visual model, demonstration experiment, interdisciplinary connections, optical phenomena in the atmosphere, optical inhomogeneity of the atmosphere, atmospheric physics, Snell's law, scintillation, mirages, pedagogical models.*

Науковий керівник: Вікторія Думенко, канд. техн. наук, доцент.