

Бедров К. А., Строкач М. С.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Берестейський проспект, 37, Київ,
email:bedrov.kyryl@lil.kpi.ua*

СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЯК МЕТОД АСТРОНОМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Анотація. У статті розглянуто історію виникнення та принципи застосування спектрального аналізу для визначення характеристик космічних тіл. Описано будову спектроскопа та методи його використання, а також основні дослідження й відкриття, що сприяли розвитку цього методу. Подано ключові поняття та визначення, необхідні для розуміння основних аспектів спектрального аналізу.

Abstract. The article examines the history of the development and the principles of applying spectral analysis to determine the characteristics of celestial bodies. It describes the structure of the spectroscope and methods of its use, as well as key studies and discoveries that contributed to the advancement of this method. The article also presents essential concepts and definitions necessary for understanding the fundamental aspects of spectral analysis.

Ключові слова: Спектроскопія, спектральний аналіз, спектр випромінювання, спектр поглинання, дослідження властивостей зірок, Кірхгоф, Балмер, Фраунгофер, астрофізика.

Keywords: Spectroscopy, spectral analysis, emission spectrum, absorption spectrum, study of stellar properties, Kirchhoff, Balmer, Fraunhofer, astrophysics.

Спектральний аналіз як наука про світло та його складові зародився у XVII столітті, коли Ісаак Ньютон пропустив промінь сонячного світла, що проходив крізь щілину у вікні, через призму. Призма розклала світло на неперервний кольоровий градієнт, який Ньютон назвав «спектром». Це відкриття

стало поштовхом до розвитку принципово нового методу дослідження речовин як на Землі, так і в глибинах космосу – спектрального аналізу [4].

У 1818 році німецький фізик і оптик Йозеф фон Фраунгофер винайшов спектроскоп – прилад, що дозволяє розкласти світло на хвилі певної довжини з метою аналізу фізичних властивостей джерела випромінювання. Цей винахід став проривом для хімії, астрономії та фізики.

Ще в ранніх дослідженнях хіміки помітили, що різні солі забарвлюють полум'я у різні кольори. Проте саме Фраунгофер, озброєний своїм приладом, вперше науково пояснив це явище та заклав підґрунтя для його подальшого використання в наукових дослідженнях [1].

У 1859 році в Німеччині з'явився вдосконалений варіант спектроскопа, створений Робертом Вільгельмом Бунзеном і Густавом Робертом Кірхгофом. Ця модель дала змогу ідентифікувати хімічні елементи за спектром їхнього випромінювання. Пристрій складався з трьох основних частин: коліматора, який формував паралельний пучок світла, що надходив від зразка, нагрітого у полум'ї пальника Бунзена; призми, яка під час обертання дозволяла добирати хвилі різної довжини; телескопа, призначеного для спостереження за кольором випромінювання [2].

Більшість інформації, яку отримали вчені про Всесвіт, походить саме зі спостереження за світлом. А світло, яке ми фіксуємо від зірок, туманностей та інших космічних об'єктів, навіть найбільш віддалених, досліджується за допомогою спектроскопії. Спектральний аналіз дає змогу визначати хімічний склад небесних тіл, які перебувають поза досяжністю для зондів або традиційних телескопів.

Основою такого аналізу є лінії Фраунгофера – темні лінії в спектрах зір, що виникають внаслідок вибіркового поглинання випромінювання певної довжини хвиль. Це поглинання зумовлене присутністю хімічних елементів у газоподібному стані в атмосфері зорі.

Йозеф фон Фраунгофер першим створив каталог, до якого увійшло понад 500 спектральних ліній, а також розробив систему їх класифікації. Найчіткіші з цих ліній отримали позначення літерами від А до G. Згодом цю систему було суттєво вдосконалено, а сам каталог значно розширено, однак принцип, закладений Фраунгофером, і досі використовується для виявлення хімічних сполук на поверхні зір [7, 8].

Як дізнатися, який саме елемент спостерігається через спектроскоп? Це можливо завдяки порівнянню спектрів: тих, що отримані з космічних джерел, і

тих, які відтворено в лабораторних умовах. Через спектральні трубки, заповнені газом одного елемента, пропускають електричну напругу. Під її впливом газ іонізується та переходить у стан плазми, яка випромінює світло. Це світло пропускається через спектроскоп, і в результаті утворюється унікальний «відбиток» – характерний спектр елемента. Порівнюючи його з експериментальними спектрами, можна точно визначити наявність певного елемента на небесному тілі. Особливо важливим є такий аналіз щодо елементів, які потенційно можуть підтримувати життя [3].

Спектральний аналіз дає змогу з високою точністю визначати фізичні параметри зірок. Згідно із законом зміщення Віна, температура зорі обернено пропорційна довжині хвилі, на якій спостерігається максимум її випромінювання. Це дозволяє класифікувати велику кількість зірок, світло від яких досягає Землі, за спектральними класами. Відповідна температурна шкала варіюється від приблизно 2400 К до понад 30 000 К.

Досліджуючи спектри поглинання зірок, можна виявити характерні закономірності: лінії поглинання суттєво відрізняються залежно від температурного класу. Наприклад, холодні зірки класу М мають у спектрі лінії оксиду титану – сполуки, яка не може існувати на гарячіших зірках.

Окрім температури, спектральні лінії дають змогу визначати й інші параметри зірок: чіткість ліній свідчить про густину атмосфери зорі; зсув ліній вказує на напрям і швидкість її руху (ефект Доплера); товщина ліній дає уявлення про швидкість обертання зорі [6].

Сучасні орбітальні телескопи спеціалізуються на вивченні певних діапазонів електромагнітного спектра. Саме тому на навколороманній орбіті працює кілька супутників, кожен із яких досліджує певну частину спектра: у видимому діапазоні – «Габбл», в інфрачервоному — «Джеймс Вебб», у гамма- діапазоні – «Фермі», а також інші телескопи, орієнтовані на рентгенівське, ультрафіолетове та мікрохвильове випромінювання [3][4].

Спектроскопія також відіграє ключову роль у дослідженні далеких галактик, світло від яких було випущене понад 13,4 мільярда років тому. У 2022 році астрономи Каліфорнійського університету в Санта-Круз виявили галактики, що сформувалися, коли вік Всесвіту становив лише близько 3% від сучасного. У пошуку таких давніх об'єктів незамінним інструментом став космічний телескоп Джеймс Вебб.

Принцип ідентифікації далеких галактик подібний до того, який застосовується для визначення напрямку руху зірок: чим більша відстань до

об'єкта, тим більше спектральні лінії зміщуються в червону область, так званий червоний зсув. Це явище є наслідком розширення Всесвіту: простір між об'єктами збільшується, а довжини хвиль світла розтягуються, створюючи враження, що галактики віддаляються від нас. Завдяки спектроскопії астрономи можуть точно вимірювати величину червоного зсуву та, відповідно, відстань до спостережуваних об'єктів [5].

З моменту винайдення спектрального аналізу як методу дослідження Всесвіту людство пройшло значний шлях, постійно вдосконалюючи методику та доповнюючи її новітніми технологіями. Щороку зростає точність каталогізації космічних об'єктів, а телескопи зазирають дедалі глибше у простори Всесвіту. Саме тому, підтримуючи науковий прогрес і темпи розвитку астрономії, важливо не забувати про історичні витоки сучасних відкриттів.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] *Spectroscopy (1855–1864) | Chemistry | University of Waterloo*. (б. д.). University of Waterloo. <https://uwaterloo.ca/chemistry/community-outreach/timeline-of-elements/spectroscopy-1855-1864>
- [2] *Spectroscopy | Chem 13 News Magazine*. (б. д.). Chem 13 News Magazine. <https://uwaterloo.ca/chem13-news-magazine/october-2019/feature/spectroscopy>
- [3] Kazmierczak, J. (2023, 15 серпня). *NASA Scientific Visualization Studio | Spectroscopy, Explained*. NASA Scientific Visualization Studio. <https://svs.gsfc.nasa.gov/12956>
- [4] NASA. (б. д.). *Hubble Spectroscopy – NASA Science*. <https://science.nasa.gov/mission/hubble/science/science-behind-the-discoveries/hubble-spectroscopy/>
- [5] University of California – Santa Cruz. (2022, 9 грудня). *Astronomers report most distant known galaxies, detected and confirmed*. ScienceDaily. <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/12/221209135542.htm>
- [6] PhysicsHigh. (2019, 16 квітня). *Stellar Spectroscopy – what can we learn about stars* [Відео]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=oM5lEG2woA0>
- [7] The Editors of Encyclopaedia Britannica. (1998, 20 липня). *Fraunhofer lines | Spectral Analysis, Absorption & Emission*. Encyclopaedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/Fraunhofer-lines>
- [8] Schellen, T. J. H. (1872). *Spectrum analysis in its application to terrestrial substances and the physical constitution of the heavenly bodies* (с. 160–165). Longmans, Green. <https://books.google.com.ua/books>