

УДК 52 (091)

**Л. С. Пилюгин**

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины  
03680 Киев, ул. Академика Заболотного 27

**150-летний юбилей открытия Р. Г. Кирхгофа.  
Спектральный анализ — краеугольный камень  
современной астрофизики**

*Кратко описывается открытие и применение спектрального анализа в астрофизике.*

*150-РІЧНИЙ ЮВІЛЕЙ ВІДКРИТТЯ Р. Г. КІРХГОФА. СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ — НАРІЖНИЙ КАМІНЬ СУЧАСНОЇ АСТРОФІЗИКИ, Пілюгін Л. С. — Коротко описується відкриття і застосування спектрального аналізу в астрофізиці.*

*150-YEAR JUBILEE OF DISCOVERY BY R. G. KIRCHHOFF. SPECTRAL ANALYSIS — THE CORNER-STONE OF THE MODERN ASTROPHYSICS, by Pilyugin L. S. — A discovery and applications of spectral analysis is briefly discussed.*

Понятие спектра появилось около 350 лет назад. В 1666 г. Ньютон открыл, что солнечный свет состоит из смеси лучей различных цветов [1]. Он также установил, что есть не только лучи, соответствующие наиболее сильным цветам, но и всем их промежуточным градациям. Другими словами, Ньютон открыл непрерывный спектр. В 1752 г. шотландский физик Томас Мелвилл обнаружил, что спектры раскаленных газов или паров совершенно непохожи на непрерывный радужный спектр солнечного света и состоят из набора отдельных линий. Мелвилл открыл эмиссионные линии или эмиссионный спектр. Со времен Ньютона на призму направляли свет от Солнца, прошедший через круглое отверстие. В 1802 г. Волластон заменил круглое отверстие узкой (1/20 дюйма) щелью, чтобы избежать наложения отдельных цветов друг на друга [11]. Он обнаружил, что спектр пересечен

несколькими темными линиями. Волластон интерпретировал эти линии как естественные границы различных цветов радуги (спектра). Волластон открыл линии поглощения, или абсорбционный спектр.

Ключ к интерпретации спектров был найден Кирхгофом, который в 1859 г. сформулировал законы спектрального анализа [4, 5]. Кирхгоф установил, что каждый химический элемент имеет индивидуальный набор спектральных линий, и следовательно, линейчатый спектр объекта зависит от его химического состава. Он также установил три закона, которые объясняют типы спектров:

1) нагретые до высокой температуры твердые или жидкие тела (или очень плотный газ) излучают непрерывный спектр;

2) нагретый разреженный газ испускает яркий линейчатый (эмиссионный) спектр;

3) газ, находящийся перед более горячим источником непрерывного излучения, показывает линии поглощения в тех же местах спектра, в которых этот газ излучает эмиссионные линии, будучи нагретым (обращение спектра).

Кирхгоф также указал, что интенсивность линий в эмиссионном спектре (и даже их наличие) зависит от физических характеристик излучающего газа (от его температуры).

Спектральный анализ получил практическое применение и принес выдающиеся результаты уже в первые десятилетия после открытия. Кирхгоф и Бунзен с помощью спектроскопа подробно изучили спектры, даваемые различными элементами. Они установили, что в спектрах некоторых образцов есть новые незнакомые линии в красной и голубой областях. Они объяснили появление новых линий наличием примеси неизвестных в то время химических элементов. Так, с помощью спектрального анализа были открыты рубидий (*rubidius* — красный) и цезий (*caesius* — голубой). Вслед за ними другие исследователи спектроскопически открыли еще три новых элемента: таллий, индий и галлий. Всего при помощи спектрального анализа было открыто более 20 новых элементов.

Путем сопоставления линий известных элементов с фраунгоферовыми линиями солнечного спектра Кирхгоф установил наличие на Солнце 22 элементов. Одним из наиболее впечатляющих достижений спектрального анализа в XIX веке является открытие гелия. В 1868 г. французский астроном Жансен и английский астроном Локьер обратили внимание на линию 587.49 нм в желтой части спектра Солнца. Было доказано, что ее нельзя приписать ни одному из элементов, известных на Земле. Оставалось предположить, что в атмосфере Солнца есть элемент, еще не открытый на Земле. Локьер и английский химик Франкленд дали неизвестному элементу название гелий. Линии гелия были найдены также в спектрах некоторых других звезд. И только в 1895 г. Рамсей [7] обнаружил гелий на Земле.

Роль спектрального анализа в исследовании различных космических объектов невозможно переоценить. Разные характеристики спект-

ральной линии (смещение линии, профиль или контур линии, интенсивность линии) несут важную информацию о небесных телах.

Измеряя смещение спектральных линий в спектрах небесных тел и пользуясь эффектом Доплера, измеряют компонент скорости, направленную по лучу зрения. Эта скорость носит название лучевой скорости. Сравнительно простые измерения лучевых скоростей дают важную информацию о звездах, межзвездной среде, галактиках и всей Вселенной. В 1889 г. немецкий астроном Фогель обнаружил периодические смещения линий в спектре звезды Алголь [10]. Он показал, что поведение линий в спектре вызвано орбитальным движением звезды в двойной системе. Таким образом, измерение лучевых скоростей звезд позволяет обнаружить их двойственность. Такие звезды получили название спектрально-двойные звезды.

Измерение лучевых скоростей привело к открытию межзвездного газа. В 1904 г. Гартман [2] обнаружил, что в спектре спектрально-двойной звезды Ориона поведение линии кальция 393.4 нм отличается от поведения других линий. Тогда как другие линии показывают периодические смещения относительно некоторого среднего положения, обусловленные орбитальным движением звезды, линия кальция остается неподвижной. Гартман пришел к заключению, что линия кальция образуется в результате поглощения излучения звезды кальцием, находящимся между звездой и наблюдателем, т. е. в межзвездной среде.

Измерение лучевых скоростей на разных расстояниях от центра галактики привело к обнаружению вращения галактик [6, 8]. Кривая вращения используется для определения динамической массы, которая является одной из фундаментальнейших характеристик галактики.

В начале XX века Слайфер измерил лучевые скорости нескольких десятков галактик [9]. Он обнаружил, что большинство галактик удаляется от нас. Линии в их спектрах смещены в красную сторону. Это явление стали называть красным смещением. Сравнивая расстояния до галактик со скоростями их удаления, Хаббл в 1929 г. установил фундаментальную закономерность: скорость удаления галактики пропорциональна расстоянию до нее [3]. Коэффициент пропорциональности получил название постоянной Хаббла. Установленная закономерность лежит в основе метода определения расстояний до галактик по измеренным красным смещениям. Сам факт разбегания галактик имеет огромную важность для космологии, так как является наблюдательным подтверждением нестационарности Вселенной. Постоянная Хаббла относится к важнейшим константам астрономии, она позволяет оценить возраст Вселенной.

Приведенные примеры (которые далеко не исчерпывают перечень приложений спектрального анализа в астрофизике) свидетельствуют о том, что спектральный анализ нашел широкое применение в разных разделах астрофизики.

По сути дела основоположник спектрального анализа Густав Роберт Кирхгоф является одним из основателей современной астрофизики. Результаты, полученные при помощи спектрального анализа в некоторых разделах астрофизики, представлены в статьях данного выпуска журнала.

Автор выражает благодарность Ю. С. Ефимову за перевод публикаций Г. Р. Кирхгофа.

1. *Ньютон И.* Новая теория света и цветов: Пер. С. И. Вавилова // Успехи физ. наук.—1927.—7, № 2. — С. 123—134.
2. *Hartmann J.* Investigations on the spectrum and orbit of Orionis // *Astrophys. J.*—1904.—19.—P. 268—286.
3. *Hubble E.* A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.*—1929.—15, N 3.—P. 168—173.
4. *Kirchhoff G. R.* Über die Fraunhofer'schen Linien // *Monatsber. Königlichen Preuss. Akad. Wiss. Berlin.*—1859.—P. 662—665.
5. *Kirchhoff G. R.* Über den Zusammenhang zwischen Emission und Absorption von Licht and Wärme // *Monatsber. Königlichen Preuss. Akad. Wiss. Berlin.*—1859.—P. 783—787.
6. *Pease F. G.* The rotation and radial velocity of the spiral nebula NGC4954 // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.*—1916.—2, N 9.—P. 517—521.
7. *Ramsay W.* On a gas showing the spectrum of helium, the reputed cause of D<sub>3</sub>, one of the lines in the coronal spectrum. Preliminary note // *Proc. Roy. Soc. London A.*—1895.—58.—P. 65—67.
8. *Slipher V. M.* The detection of nebular rotation // *Lowell observ. bull.*—1914.—2, N 12.—P. 66—66.
9. *Slipher V. M.* Nebulae // *Proc. Amer. Phil. Soc.*—1917.—56.—P. 403—409.
10. *Vogel H. C.* Orbit and mass of Algol // *Publs Astron. Soc. Pacif.*—1890.—2, N 6.—P. 27—27.
11. *Wollaston W. H.* A method of examining refractive and dispersive powers, by prismatic Reflection // *Phil. Trans. Roy. Soc. London A.*—1802.—92.—P. 365—381.

Поступила в редакцию 01.10.09