

Спектральні дослідження

Спектральний аналіз — це сукупність методів визначення фізичних характеристик та хімічного складу об'єкта, він заснований на вивченні властивостей його випромінювання (зокрема, світла). Атоми кожного хімічного елемента мають свої певні резонансні частоти, внаслідок чого саме на цих частотах вони випромінюють або поглинають світло. Це приводить до того, що у спектрографі на спектрі видно лінії (темні або світлі) у певних місцях, визначених для кожного атому або молекули. Інтенсивність та профіль ліній залежить від кількості і стану речовини (тиск, температура, великомасштабні і турбулентні рухи, магнітні поля та ін.). У кількісному спектральному аналізі визначають вміст досліджуваної речовини за інтенсивністю ліній або смуг в спектрах.

Термін «спектр» вживається в «історичному» сенсі - як розподіл потоку випромінювання в залежності від довжини хвилі чи частоти або ж енергії кванту^[1].

Оптичні спектри кількісно описуються функцією залежності інтенсивності випромінювання від його довжини хвилі або, що еквівалентно, від частоти. Світло від небесного тіла, зібране телескопом, аналізують з допомогою спектральних апаратів – спектроскопів, спектрографів, спектрометрів. Основою спектрального апарата є диспергуючий пристрій – призма, дифракційна ґратка, інтерферометр та ін., який виконує функцію розкладання білого світла за частотами (довжинами хвиль). Схему астрономічного спектрографа представлено на рис. 1.

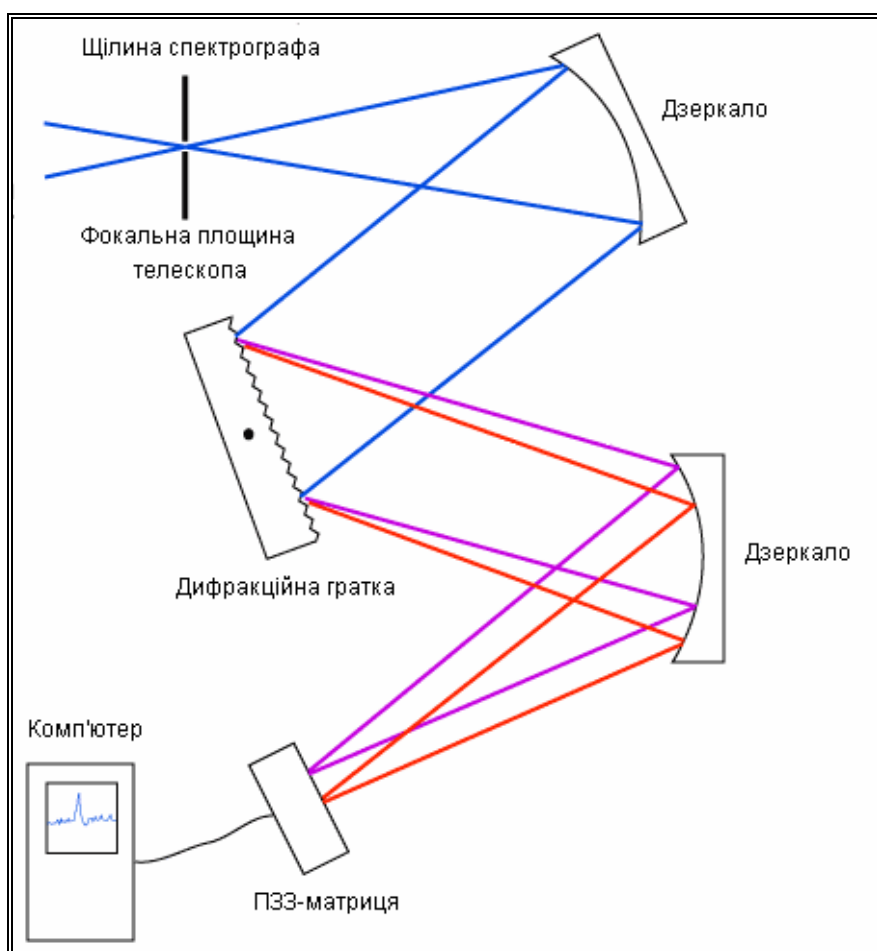


Рис. 1

Щілина спектрографа вирізає частину зображення об'єкта, наприклад, галактики або зірки. На рис. 1 верхнє дзеркало – це коліматор, що перетворює розбіжний пучок від щілини на паралельний, який падає на ґратку. Дифракційна ґратка розкладає світловий потік за довжинами хвиль, а нижнє будує зображення вхідної щілини у вузьких (монохроматичних) ділянках спектру на приймачі зображення (ПЗЗ камера). Спектр джерела аналізується за допомогою комп'ютера. На рис. 2 наведено фотографію астрономічного спектрографа.

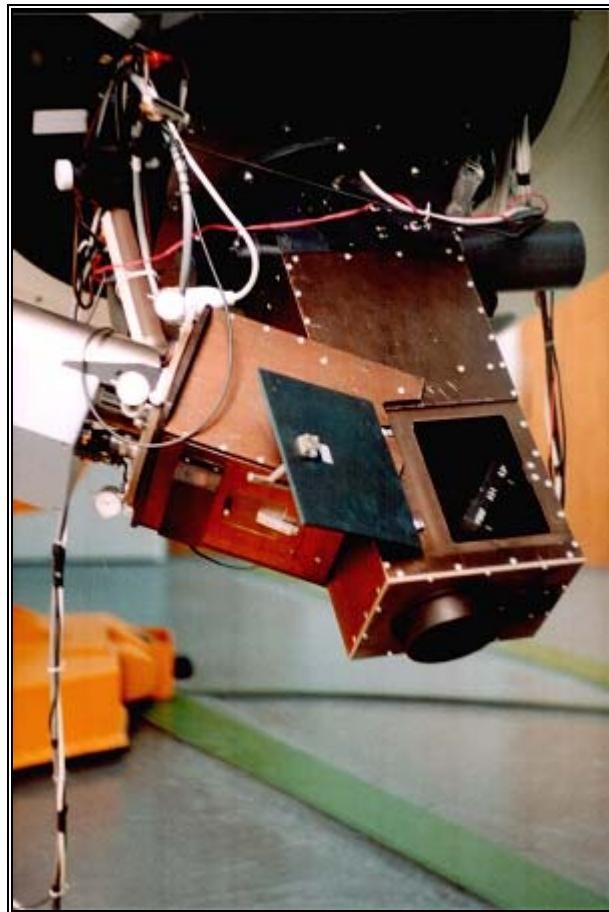


Рис. 2. Спектрограф МАЕСТРО, встановлений на 2-м телескопі на обсерваторії Терскол (Півн. Кавказ).

Зоряна спектроскопія [2]

Температура поверхні зорі (фотосфери) визначає її спектральні особливості. Існуючі спектральні класифікації створювались за виглядом спектру, однак температура фотосфери є головним параметром, а послідовність спектральних класів тісно пов'язана з температурами зір. Найгарячіші зірки названо О-зірками, наступні, холодніші - В-зірками, потім йдуть А, F, G, K, і, нарешті, М-зірки. Всім відомий Сиріус - відносно гаряча зірка спектрального класу А з температурою близько 10 000 градусів Кельвіна. Такі зірки мають найсильніші водневі лінії в спектрі. На рис. 3 зображено спектр Сиріуса в синій ділянці спектру, близько 4000Å. У спектрі чітко видно серію глибоких ліній поглинання. Ці лінії належать атомам водню. Ця серія ліній поглинання, видима в оптичному

діапазоні, формується при переході атома водню з другого (збудженого) рівня і називається серією ліній Бальмера - на честь французького вчителя, який першим запропонував емпіричну формулу для визначення довжин хвиль.

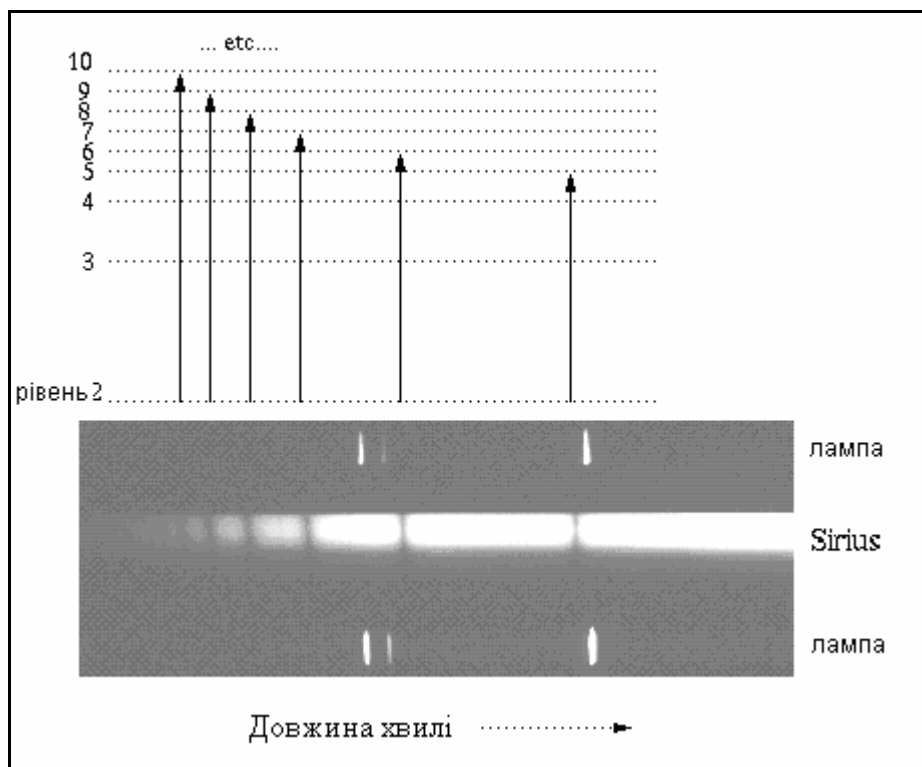


Рис. 3. Спектр Сириуса.

Вгорі – схема квантових переходів атома водню. На фото: світла смужка посередині - спектр Сириуса з лініями поглинання водню, вгорі і внизу – емісійний спектр лабораторної розрядної лампи для калібровки довжин хвиль. Лінії поглинання водню (справа наліво): H_γ , H_δ , H_ϵ і т.д.

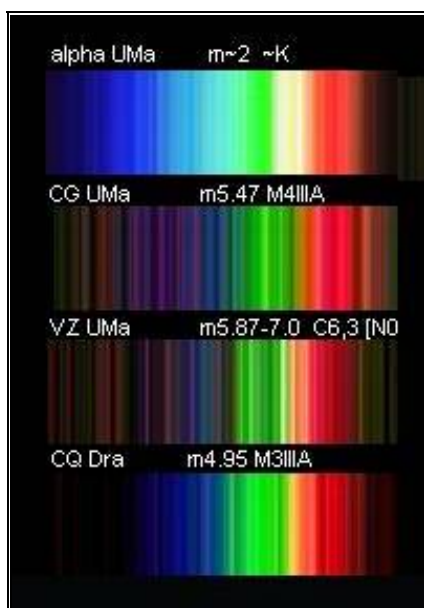


Рис. 4. Спектри холодних зірок.

На іншому кінці шкали – холодні зірки класу М з температурою близько 3,500 К (CG Великої Ведмедиці, CQ Дракона та інші, Рис. 4). Континуум в ультрафіолеті (дуже слабкий внаслідок невисокої температури) зникає із-за безлічі ліній та смуг поглинання. Ці смуги належать МОЛЕКУЛАМ, які спокійно можуть жити в атмосфері цих холодних зірок! Одна з таких молекул - TiO (оксид титану).

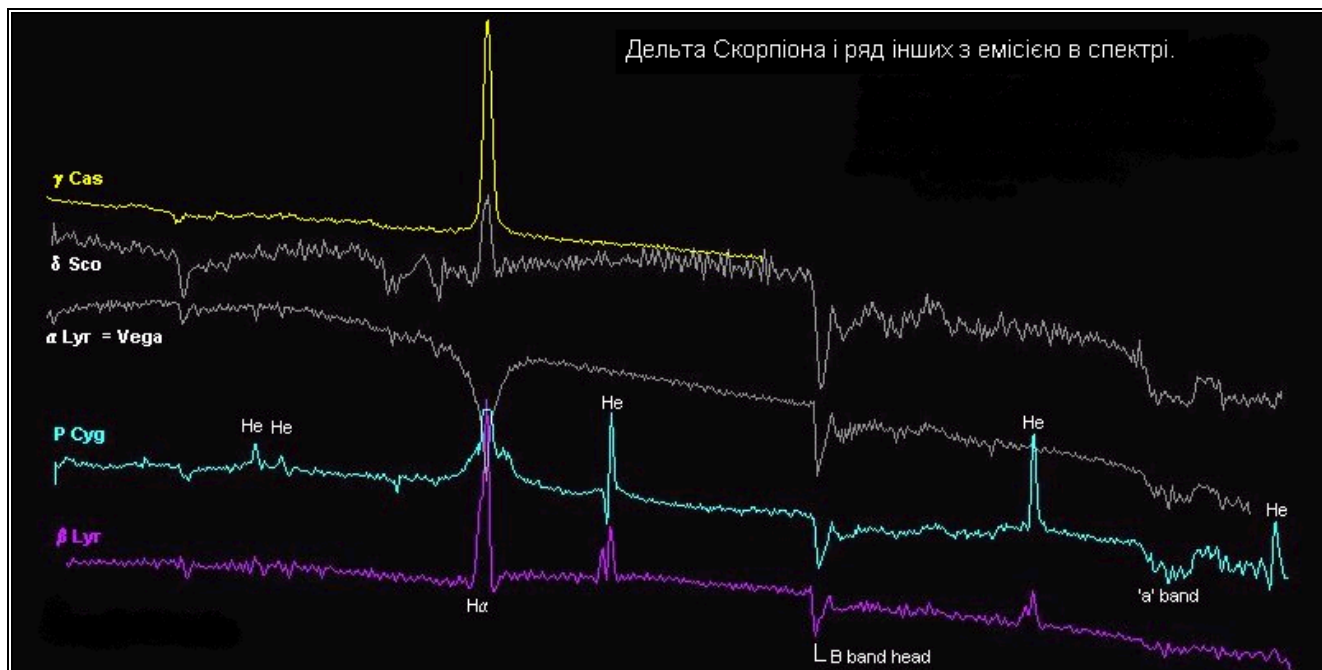


Рис. 5. Спектри зірок з емісійними лініями.

На цих спектрограмах представлено спектри зірок Дельта Скорпіона, Альфа і Бета Ліри, Р Лебеда і Гамма Кассіопеї. У спектрах видно емісійні лінії гелію і водню. Спектр Альфа Ліри подано для порівняння, спектр Веги містить лише лінії поглинання. Емісійні лінії народжуються в потужних гарячих оболонках навколо зір. Можна бачити також лінії поглинання кисню і води, що належать земній атмосфері; “a” band та L_B band є телуричними смугами в червоній області спектру.

Спектроскопія галактик [3]

Коли ми дивимося на спектр галактики, насправді ми бачимо комбінацію спектрів мільйонів зірок, що входять в галактику (дивись знімок галактики M51, отриманий на космічному телескопі Хаббла, рис. 6). На фото добре видно червоні дифузні області, зосереджені переважно в спіральних рукавах галактики. Це так звані області НІІ – сферичні «оболонки» іонізованого водню навколо масивних гарячих зір. Червоний колір зумовлюється емісією H_α, яка відбувається в процесі рекомбінації протонів і електронів в іонізованій хмарі. В області НІІ утворюються молоді зорі, тому на спектрах, окрім водневих емісій, з’являються ще і лінії іонізованих азоту, кисню, сірки та інших елементів.



Рис. 6. Галактика M51(фото з Космічного телескопа Хаббла).

Давайте розглянемо зображення і спектри двох різних галактик (дані запозичено з бази даних Sloan Digital Sky Server (SDSS) [4]).

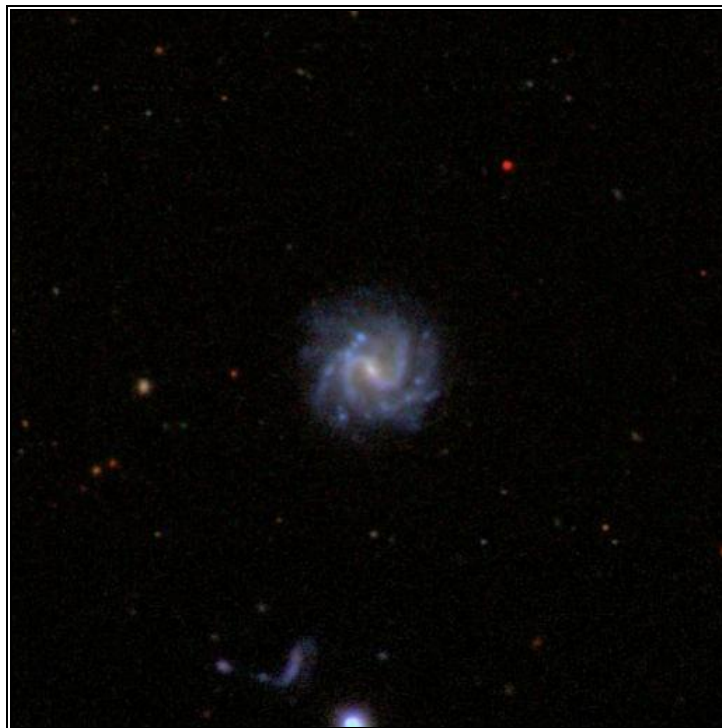


Рис. 7. Галактика SDSS J170944.07+625823.0 [4].

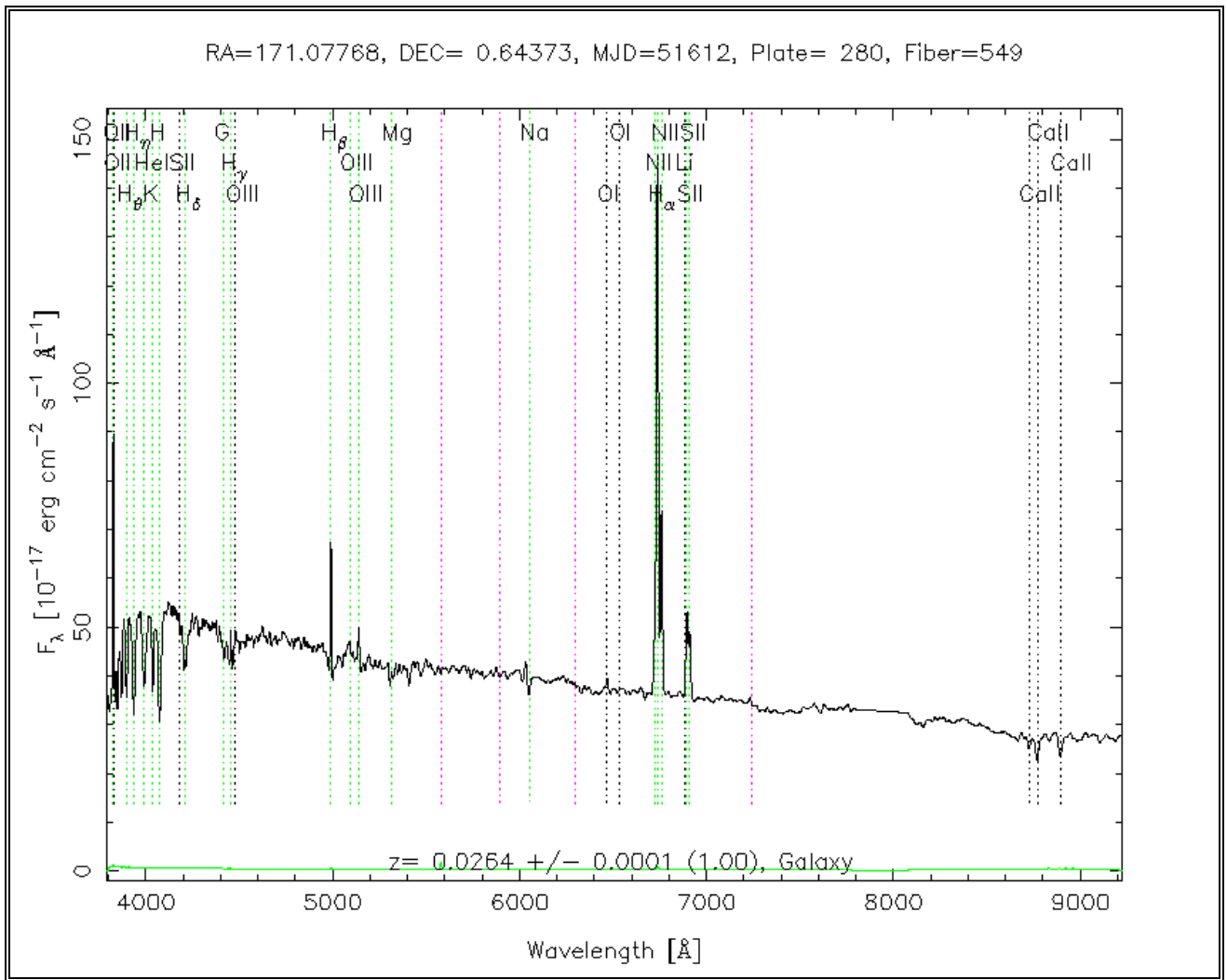


Рис. 8. Спектр галактики SDSS J170944.07+625823.0 в області від 4000 до 9000 \AA [4].

У спектрі виразно видно емісійні лінії водню, іонізованого кисню і азоту. І спектр, і зображення галактики свідчать про бурхливий процес утворення молодих гарячих зірок.

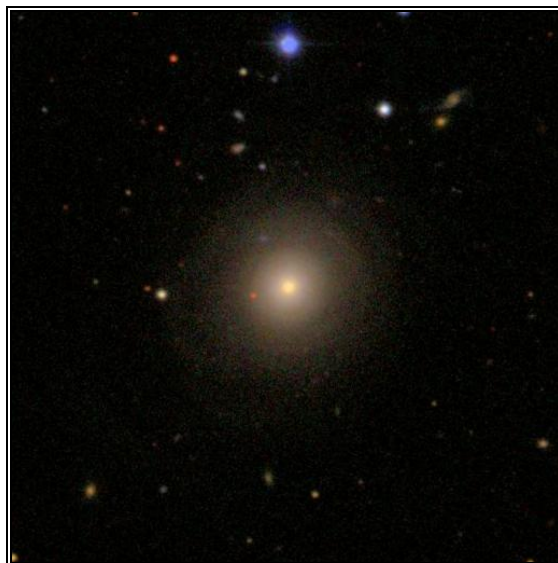


Рис. 9. Галактика SDSS J011909.05-004552.0 [4].

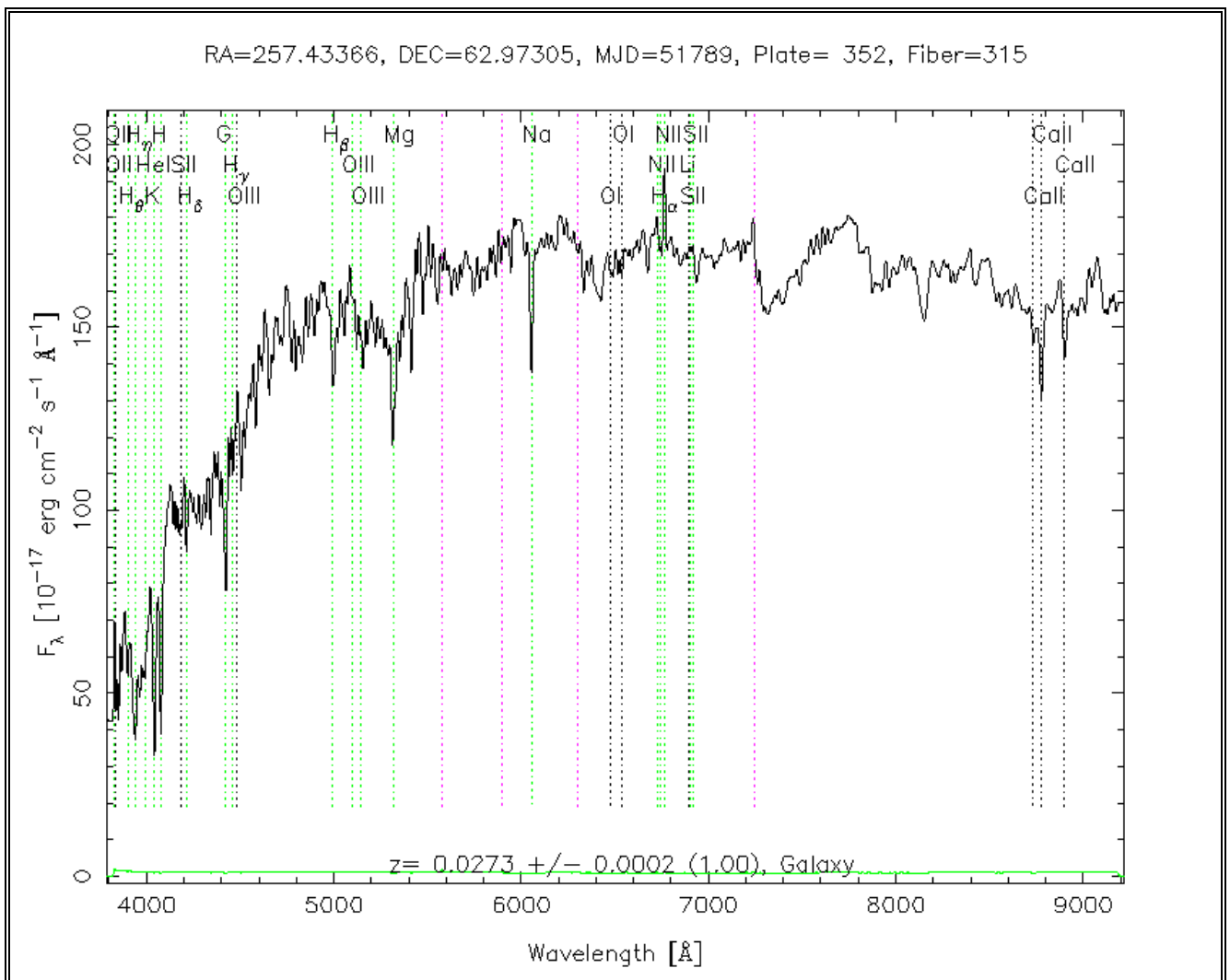


Рис. 10. Спектр галактики SDSS J011909.05-004552.0 в області від 4000 до 9000 \AA [4].

У спектрі галактики SDSS J011909.05-004552.0 можна побачити одну слабку емісійну лінію водню (H_α). Інші лінії бальмеровської серії водню спостерігаються як лінії поглинання. Можна також бачити сильні лінії поглинання магнію, натрію, іонізованого кальцію. Це свідчить про наявність холодного міжзоряного газу в галактиці. І спектр, і зовнішній вигляд галактики свідчать про те, що процеси утворення молодих гарячих зірок в цій галактиці давно закінчилися.

Про спектри планет та їх супутників [5]

Планети і їх супутники – не самосвітні тіла. Однак при відбиванні їхніми поверхнями (атмосферами) сонячного світла його спектр змінюється, тому за спектром відбитого світла можна визначити хімічний склад атмосфери (якщо вона є) та дещо сказати про склад мінералів твердої поверхні. Наприклад, слабка широка абсорбція в місячних спектрах в області 1 і 2 μm указує на мінеральні піроксени.

У спектрах Марса є ознаки оксидів заліза, які визначають червоний колір цієї планети. Абсорбція біля 2 μm у марсіанському спектрі вказує на наявність вуглекислоти в марсіанській атмосфері.

У спектрах Юпітера і Сатурна переважають сильні смуги поглинання метану. Спектри Урана і Нептуна також показують групи сильних смуг абсорбції метану. У спектрах супутників Юпітера Європи, Ганімеда і Калісто переважають смуги поглинання води і льоду. Проте ці спектри вказують на присутність деяких забруднювачів в льоду. Супутник Європа має найчистіший лід, потім йдуть Ганімед і Калісто.

Більшість з супутників Сатурна мають спектри, подібні до спектру Ганімеда, але лід здається чистішим і, певно, складається з дрібних зерен.

У спектрі Плутона превалює абсорбція льодів і метану.

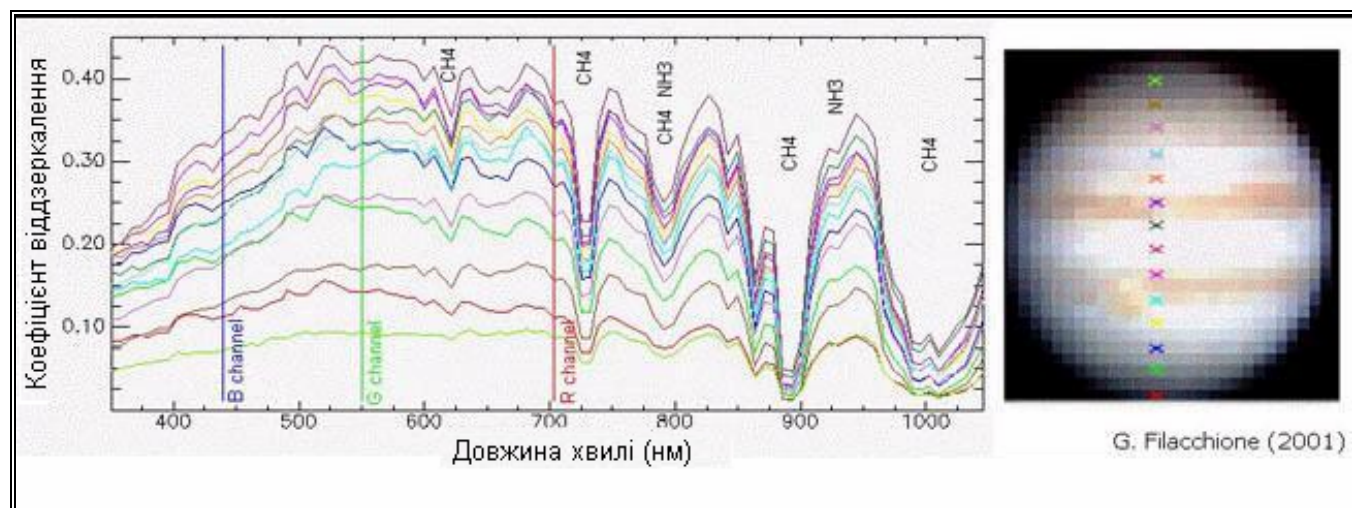


Рис. 11. Спектральні вимірювання Юпітера космічним апаратом “Кассіні”.

Космічний апарат “Кассіні” пролетів поблизу Юпітера 31 грудня 2000 року. Він провів детальні дослідження Юпітера і його супутників. Зокрема, він вимірював варіації коефіцієнта відбивання атмосфери Юпітера на різних широтах. Це дозволило виконати спектроскопічне ототожнення яскравих і темних зон в атмосфері планети. На спектрах виразно видно широкі смуги поглинання метану (CH_4).

Більше про методи дослідження планет: <http://unit.univ.kiev.ua/doc/methods.pdf>

Література

- [1] [Спектральный анализ](#), Материал из Википедии — свободной энциклопедии
- [2] Wpro-amateur spectroscopy
<http://www.astroman.fsnet.co.uk/spectro.htm>
- [3] AstroSpectroscopy Overviews
<http://users.erols.com/njastro/faas/pages/overview.htm>
- [4] Sloan Digital Sky Survey <http://www.sdss.org/>
<http://www.sdss.org/gallery/>
- [5] Cassini mission, VIMS data
<http://www.ifs-roma.inaf.it/vims/index.php?categoryid=18>