

УДК 523.682.2-355

А. Мозгова, інж.1 кат.,
Астрономічна Обсерваторія
Київського національного Університету імені Тараса Шевченка

ДІАГРАМА ГРОТРІАНА ДЛЯ ЛІНІЙ МУЛЬТИПЛЕТИВ MgI, ЩО СПОСТЕРІГАЮТЬСЯ В МЕТЕОРНИХ СПЕКТРАХ

У роботі представлено дані спектральних ліній мультиплетів MgI і MgII, що можуть спостерігатися в спектрах метеорів. Описано методику побудови діаграм термів і побудовано діаграму Гротріана для ліній мультиплетів MgI. Ключові слова: метеори, спектри метеорів, спектральні лінії, мультиплети, діаграми Гротріана.

Вступ. Метеорна спектроскопія є актуальним методом досліджень метеорних явищ. Спектри метеорів є джерелом ряду важливих даних про фізико-хімічні параметри метеорних тіл та процеси, що відбуваються під час взаємодії метеороїдів із земною атмосферою.

Спектри метеорів – це переважно спектри випромінення атомів, з яких складається метеорне тіло. В метеорних спектрах виявлено спектральні лінії FeI, CrI, NiI, CoI, TiI, OI, CaI, NiI, MnI, MgI, NaI, ClI, SiI, BaI, HI, AlI, LiI, KI, SrI, MoI, FeII, OII, NII, AlII, CrII, SiII, CaII, MgII, TiII, SrII, BaII, молекулярні смуги N₂, CN, FeO, C₂, CH, MgO, N₂⁺ [1]. Метеорним спектрам характерна мультиплетна структура. Мультиплети являють собою пари або трійки близько розташованих спектральних ліній одного і того ж хімічного елемента. Іноді мультиплет може містити одну спектральну лінію або більше, ніж три.

Під час досліджень метеорних спектрів важливо мати дані про оптичні властивості атомів та іонів – характеристики енергетичних рівнів і радіаційних переходів, причому дослідникам необхідна як таблична, так і графічна форми. Для графічного відображення електронної структури атомів речовини будуються так звані діаграми Уолта Гротріана або діаграми термів, які показують дозволені переходи між рівнями енергій в атомах. Ці діаграми можуть бути використані для одного або декількох електронів в атомі.

У даній роботі представлено діаграму Гротріана для мультиплетів магнію, що спостерігаються в метеорних спектрах.

Мультиплети MgI та MgII, виявлені в метеорних спектрах. В спектрах метеорів можуть спостерігатися спектральні лінії 12 мультиплетів MgI і 4 мультиплетів MgII. Магній – третій елемент після NaI і CaII, який дає найбільш яскраві спектральні лінії. Найяскравішим є триплет MgI (2). У дужках зазначено номер мультиплету. Він часто зустрічається в метеорних спектрах і за яскравістю часто порівняний з дублетом H і K кальцію та з D-дублетом NaI. Сильну лінію дає MgI (3) поблизу 3838 Å. Однократний іон MgII (4) також дає дуже яскраву лінію поблизу 4481 Å. Чітко буває виражений в спектрах Гемінід [2].

В таблицях 1 і 2 представлено дані спектральних ліній MgI і MgII відповідно, що можуть спостерігатися в метеорних спектрах: номери мультиплетів, лабораторні довжини хвиль спектральних ліній в Å з точністю до 0,001 Å, назви спектральних термів, найнижчий та найвищий енергетичні рівні в eV, квантове число J, значення log gf [3,4,5].

Кожен мультиплет, як відомо, складається з декількох ліній. У таблицях вказані довжини хвиль найбільш інтенсивної лінії даного мультиплету. Виняток становить мультиплети 2 і 3 MgI, у яких лінії мають майже однакову інтенсивність.

Побудова діаграм Гротріана. Діаграма Гротріана має вигляд прямокутника з заданими розмірами, всередині якого за допомогою ліній, букв і чисел представляється електронна структура атомної системи. По осі ординат відзначаються рівні енергій, а позначення термів – по осі абсцис. Похилими лініями показуються радіаційні переходи. Одним з важливих етапів побудови діаграми Гротріана є відбір рівнів і переходів, які будуть найкращим чином відображати властивості атома. Для вирішення цього завдання є такі критерії, як інтенсивність або довжина хвилі, але важлива також експертна оцінка ситуації. Іншим етапом роботи є розміщення інформації на діаграмі, що забезпечує її найкращу "читаність". При цьому крім формальних критеріїв присутній авторський погляд. На діаграмі важливо показати резонансні лінії (переходи з основного стану) і лінії переходів зі збуджених станів. При цьому необхідно враховувати довжину хвилі відображуваного переходу. В першу чергу треба показати переходи з довжиною хвилі з видимої і ближньої ІЧ-областей спектра як найбільш доступні дослідникам. Далі необхідно забезпечити таке розміщення інформації на діаграмі, яке забезпечило б її читаність. Можливе виникнення проблеми, пов'язаної з накладанням відображуваних елементів діаграми. Якщо одна лінія переходу накладається на іншу, паралельну першій, то в такому випадку можна змістити лінію переходу вправо або вліво, але при цьому необхідно враховувати наявність переходів зліва і справа [6].

Діаграми Гротріана не завжди містять всі переходи, які насправді утворюються в атомі. Іноді не представляється можливим вказати всі мультиплети через їх кількість, не кажучи вже про лінії, тому доводиться упускати багато відомих спектроскопічних термів. Отже, діаграми для багатьох елементів спрощені і часто неповні.

У нашому випадку мультиплетів MgI, що спостерігаються в метеорних спектрах, небагато, тому їх вдалося всі нанести на одну діаграму (рис.1). Мультиплетів MgII тільки чотири, тому для них лише наводимо дані в таблиці 2. На всіх діаграмах суцільними лініями показані переходи між термами однакової мультиплетності, пунктирними – між термами різної мультиплетності. На вертикальних шкалах відкладена енергія в зворотних сантиметрах (см⁻¹) і електронвольтах (eV). Вздовж горизонтальної осі проставлені спектральні терми. Біля ліній, що зображають електронні переходи, вказано енергетичні рівні та номери мультиплетів.

Основному стану MgI (3¹S) відповідає конфігурація 2p⁶3s². Повна діаграма Гротріана для MgI наведена в роботі Ш.Мур [7]. В цій роботі представлено діаграми і для MgII, а також для інших хімічних елементів. Наша задача полягає у побудові діаграм Гротріана лише для спектральних ліній елементів, що можуть бути виявлені в спектрах метеорів.

Таблиця 1

Мультиплети MgI, виявлені в метеорних спектрах

| № мультиплета | Дожини хвиль (Å) | Терми | Енергетичні рівні (eV) | J | log gf |
|---------------|------------------|-----------------|------------------------|-------|--------|
| 1 | 4571,096 | $3^1S - 3^3P^0$ | 0,00 – 2,71 | 0 – 1 | -5,623 |
| 2 | 5183,604 | $3^3P^0 - 4^3S$ | 2,71 – 5,11 | 2 – 1 | -0,167 |
| | 5172,684 | | 2,71 – 5,11 | 1 – 1 | -0,393 |
| | 5167,322 | | 2,71 – 5,11 | 0 – 1 | -0,87 |
| 3 | 3838,292 | $3^3P^0 - 3^3D$ | 2,71 – 5,95 | 2 – 3 | 0,397 |
| | 3832,304 | | 2,71 – 5,95 | 1 – 2 | 0,125 |
| | 3829,355 | | 2,71 – 5,95 | 0 – 1 | -0,227 |
| | 3838,294 | | 2,71 – 5,95 | 2 – 2 | -0,351 |
| | 3832,300 | | 2,71 – 5,95 | 1 – 1 | -0,353 |
| 8 | 5711,088 | $3^1P^0 - 5^1S$ | 4,35 – 6,52 | 1 – 0 | -1,724 |
| 9 | 5528,405 | $3^1P^0 - 4^1D$ | 4,35 – 6,59 | 1 – 2 | -0,498 |
| 10 | 4730,029 | $3^1P^0 - 6^1S$ | 4,35 – 6,97 | 1 – 0 | -0,347 |
| 11 | 4702,991 | $3^1P^0 - 5^1D$ | 4,35 – 6,98 | 1 – 2 | -0,440 |
| 14 | 4351,906 | $3^1P^0 - 6^1D$ | 4,35 – 7,19 | 1 – 2 | -0,583 |
| 15 | 4167,271 | $3^1P^0 - 7^1D$ | 4,35 – 7,32 | 1 – 2 | -0,745 |
| 16 | 4057,505 | $3^1P^0 - 8^1D$ | 4,35 – 7,40 | 1 – 2 | -0,900 |
| 17 | 3986,753 | $3^1P^0 - 9^1D$ | 4,35 – 7,45 | 1 – 2 | -1,060 |
| 23 | 6318,716 | $4^3S - 6^3P^0$ | 5,11 – 7,07 | 1 – 2 | -2,103 |

Таблиця 2

Мультиплети MgII, виявлені в метеорних спектрах

| № мультиплета | Дожини хвиль (Å) | Терми | Енергетичні рівні (eV) | J | log gf |
|---------------|------------------|-----------------|------------------------|-------------------------------------|--------|
| 4 | 4481,327 | $3^2D - 4^2F^0$ | 8,86 – 11,63 | $1^{\frac{1}{2}} - 2^{\frac{1}{2}}$ | 0,594 |
| | 4481,130 | | 8,86 – 11,63 | $2^{\frac{1}{2}} - 3^{\frac{1}{2}}$ | 0,749 |
| 9 | 4433,990 | $4^2P^0 - 6^2S$ | 10,00 – 12,79 | $1^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2}$ | -0,907 |
| | 4427,994 | | 10,00 – 12,79 | $\frac{1}{2} - \frac{1}{2}$ | -1,208 |
| 10 | 4390,564 | $4^2P^0 - 5^2D$ | 10,00 – 12,82 | $1^{\frac{1}{2}} - 2^{\frac{1}{2}}$ | -0,523 |
| | 4384,637 | | 10,00 – 12,82 | $\frac{1}{2} - 1^{\frac{1}{2}}$ | -0,776 |
| 18 | 4739,588 | $4^2D - 8^2F^0$ | 11,57 – 14,18 | $2^{\frac{1}{2}} - 3^{\frac{1}{2}}$ | -0,662 |

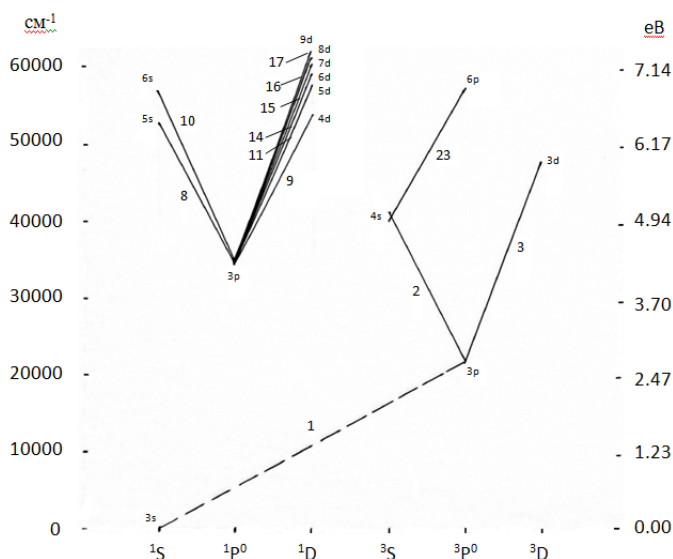


Рис.1. Діаграма Гротріана для ліній мультиплетів MgI, що спостерігаються в метеорних спектрах

Техніка побудови діаграм Гротріана зазнала певних змін, і в даний час є кілька їх видів. Широко використовуються діаграми, що містять позначення всіх існуючих електронних конфігурацій $n\ell k$ атома даного хімічного елемента, терми атомних залишків, терми енергетичних станів атома. Для зручності парні і непарні терми розносять щодо основного стану по краях діаграми. Такі діаграми містять досить повну інформацію і зручні у користуванні. Є можливість автоматичної побудови вище описаних діаграм. Групою вчених Сибірського відділення Російської академії наук була розроблена інформаційна система "Електронна структура атомів", яка забезпечує графічне представлення атомних рівнів і переходів за інформацією, що зберігається в базі даних. Таке уявлення реалізується у вигляді діаграм Гротріана. Це одна з перших систем, яка дозволяє повністю автоматично побудувати діаграми Гротріана. ІС орієнтована на роботу через web-сервер Інтернет, що дозволяє досліднику в даний час отримувати необхідні дані [6].

Висновки. Для деяких завдань метеорної фізики необхідно знати не тільки довжину хвилі тієї чи іншої лінії та її приналежність до даного мультиплету, але і потенціали збудження верхнього і нижнього електронних рівнів. Це може стати в нагоді, наприклад, під час вивчення розподілу атомів за рівнями і відмінності його від бальманівського, для побудови кривих росту, для визначення температури збудження в метеорних комах тощо. Вивчення мультиплетних структур дає можливість досліджувати властивості і поведінку атомів речовини метеорного тіла. Результати можна використовувати для побудови моделей фізико-хімічних процесів, що відбуваються під час метеорних явищ в атмосфері Землі.

Для графічного представлення зв'язків характерних спектральних ліній з квантовими енергетичними рівнями різних атомів та іонів будуються діаграми Гротріана. Такі діаграми мають важливе значення як для фізиків так і для астрономів. Мета діаграм Гротріана показати для різних елементів атомні переходи, що належать основним спектральним лініям, які спостерігаються в астрономічних спектрах.

Список використаних джерел

1. Mozgova A.M. Iron multiplets in meteor comas / Mozgova A.M., Churyumov K.I., Melnyk M.V. // Astron. Nachr. – 2015. – 336, №10. – P. 961–967.
2. Бронштэн В.А. Физика метеорных явлений / В.А. Бронштэн. – М.: Наука, 1981. – 416 с.
3. Moore C.E. Atomic Energy Levels / C.E. Moore. – NBS Circ.U.S. Government Printing Office, Washington, 1958. – № 467.
4. http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html
5. Borovička J. Line identifications in a fireball spectrum / J. Borovička // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 103 – 1994. – p. 83–96.
6. Казаков В.Г., Тюменцев А.С., Яценко А.С. Информационная система "Электронная структура атомов" с динамическим построением графического представления спектральных данных / Автометрия – 2005. – том 41, №6 – С. 115–123.
7. Moore C.E. Partial Grotrian diagrams of astrophysical interest / Moore C.E., Merrill P.W. // Nation. Stand. Ref. Data Series Nation. Bureau of Standarts 23 U.S. – 1968. – 69 p.

A. Mozgova, eng.1 cat.

Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv

GROTRIAN DIAGRAM FOR MULTIPLIET LINES OF Mgl OBSERVED IN METEOR SPECTRA

This work presents the data of the multiplet spectral lines of Mgl and MgII, which can be observed in meteor spectra. The technique of Grotrian diagrams construction is described. The Grotrian diagram for multiplet lines of Mgl is built.

A. Mozgova, ing. 1 cat.

Астрономическая Обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко

ДИАГРАММА ГРОТРИАНА ДЛЯ ЛИНИЙ МУЛЬТИПЛЕТОВ Mgl, КОТОРЫЕ НАБЛЮДАЮТСЯ В МЕТЕОРНЫХ СПЕКТРАХ

В работе представлено данные спектральных линий мультиплетов Mgl и MgII, что могут наблюдаться в спектрах метеоров. Описано методику построения диаграмм термов и построено диаграмму Гротриана для линий мультиплетов Mgl.

УДК 520.22; 520.34; 520.35; 520.37; 520.373; 520.44; 520.6.02; 520.62; 520.8.07; 520.82; 520.84; 523.68; 523.683

П. Козак, канд. фіз.-мат. наук,

А. Мозгова, інж. 1 кат.

Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ

КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО МОБІЛЬНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ МЕТЕОРІВ

Пропонується концепція створення багатофункціонального мобільного автоматизованого комплексу для спостережень метеорів в оптичному та суміжних діапазонах. Спостережний комплекс має бути оснащений панорамними відео камерами оптичного та інфрачервоного діапазону спектра (за необхідності – ультрафіолетового); диспергуючим пристроєм (передоб'єктивною ґраткою), суміщеним з відео камерою для реєстрації метеорних спектрів; мікрофонами для запису звуку від можливих електрофонних болідів. Для забезпечення мобільності комплексу та його використання в експедиційних умовах планується встановити камери на поворотний пристрій полегшеного типу та оснастити його GPS-приймачем. Для оцифровки відеоданих комп'ютер буде оснащений відповідною електронікою. Також в роботі приводяться основні характеристики запропонованих спостережних камер.

Ключові слова: метеори; відео спостереження метеорів; мобільний спостережний комплекс.

Вступ. На сьогодні інформація про метеори отримується в результаті оптичних та радіолокаційних спостережень [1, 2, 3, 4]. Оптичні спостереження, в свою чергу, за типом апаратури поділяються на фотографічні, телевізійні та відео спостереження. Класичні фотографічні спостереження [5, 6, 7, 8], що дозволяли спостерігати лише яскраві метеори до 0^m, на сьогодні практично не використовуються, за винятком Європейської болідної мережі [9]. Телевізійні спостереження, які було започатковано в 70–80-х роках, використовували високочутливі аналогові передавальні трубки (наприклад ортрон, ізон, відікон та ін.), які на сьогодні більше не виробляються. Вони дозволяли реєструвати метеори до +6^m, а зараз використовуються лише епізодично [10, 11]. Найбільш поширеним типом спостережень в оптичному діапазоні зараз є відео спостереження (метеори до +1^m–+2^m) [12], які використовують ПЗЗ-матриці з автоматичним вводом даних в комп'ютер. Причому передача даних від матриці до комп'ютера може здійснюватись як аналоговим шляхом у вигляді відеосигналу та оцифровуватись за допомогою АЦП, так і безпосередньо в цифровому вигляді. Будь-які панорамні спостереження, як фотографічні, так і відео, дозволяють вирішити проблему обчислення траєкторії метеора та елементів його геліоцентричної орбіти, якщо вони проводяться базисно, тобто одночасно як мінімум з двох пунктів [13, 14, 15]. Фотометричні виміри дозволяють побудувати криву блиску метеора, а за нею, в деяких випадках – коли метеор видно повністю – розрахувати фотометричну масу метеороїда [16, 17]. Спектральні спостереження [18] дозволяють отримати додатково дані про хімічний склад метеора. Крім того, фотометрія