

УДК 523.94

Б. Т. Бабій, П. О. Олійник

## Про залежність півширин та еквівалентних ширин фраунгоферових ліній кисню в сонячному спектрі від їх потенціалів збудження

*На основі аналізу спостережних даних встановлено, що фраунгоферові лінії, які належать кисню в сонячному спектрі і характеризуються високим потенціалом збудження нижнього рівня, приблизно на 30 % ширші від відповідних їм ліній з низьким потенціалом збудження.*

*О ЗАВИСИМОСТИ ПОЛУШИРИН И ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ШИРИН ФРАУНГОФЕРОВЫХ ЛИНИЙ КИСЛОРОДА В СОЛНЕЧНОМ СПЕКТРЕ ОТ ИХ ПОТЕНЦИАЛОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ, Бабий Б. Т., Олійник П. О. — На основе анализа наблюдательных данных установлено, что фраунгоферовы линии, принадлежащие кислороду в солнечном спектре и характеризующиеся высоким потенциалом возбуждения нижнего уровня, приблизительно на 30 % шире соответствующих им линий с низким потенциалом возбуждения.*

*ON THE DEPENDENCE OF HALF-WIDTHS AND EQUIVALENT WIDTHS OF OXYGEN FRAUNGFER LINES IN THE SOLAR SPECTRUM ON THEIR EXCITATION POTENTIALS, by Babij B. T., Olijnyk P. O. — The analysis of observational data shows that solar oxygen absorption lines with large excitation potential of lower level are approximately by 30 % wider than ones with small excitation potentials.*

Вступ. Фраунгоферовий спектр Сонця складається з десятків тисяч ліній різних інтенсивностей, півширин, еквівалентних ширин, що належать багатьом хімічним елементам. Ї нам завжди здавалось малоімовірним, що всі ці характеристики фраунгоферових ліній є зовсім випадковими величинами. Тому було поставлене завдання пошуку закономірностей в поведінці фраунгоферових ліній. Зокрема, в роботі [3] показано, що лінії іонів хімічних елементів групи металів з парним порядковим номером ширші від відповідних їм атомних ліній. В роботі [2] виявлена залежність півширин ліній заліза від їх потенціалів збудження. В поведінці фраунгоферових ліній також встановлені певні закономірності їх змін з часом [4].

Метою даної роботи є на основі аналізу спостережуваного спектра кисню вказати на одну закономірність, на яку, на наш погляд, до цього часу не звертали належної уваги, але яка, однак, може мати безпосереднє відношення до коректного визначення хімічного вмісту кисню на Сонці.

Загальновідомо, що в сонячному спектрі спостерігаються лінії нейтрального кисню як з дуже низькими потенціалами збудження  $EP$ , так і з дуже високими. Високозбуджені лінії (біля 10 eV) належать дозволеним переходам, низькозбуджені — забороненим. Таким чином, хоч і не дуже багато ліній кисню спостерігається в спектрі Сонця, умови утворення їх різні, що

## Спостережувані дані про сонячний спектр кисню

Номер лінії	$\lambda$ , нм	$EP$ , еВ	$d$	$W$ , нм	$W/\lambda$ , $10^{-6}$	$h$ , нм	$h$ , нм [9]	$h/\lambda$ , $10^{-6}$	$h/\lambda$ , [9] $10^{-6}$
1	636.378	0.02	0.018	0.18	0.28	8.5	14.3	13.8	22.5
2	557.734	1.92	0.026	0.32	0.57	10.5	11.4	19.5	20.5
3	615.817	10.74	0.028	0.52	0.85	15.8	16.0	27	26.5
4	630.031	0	0.038	0.43	0.68	9.7	11.9	15.9	18.8
5	615.678	10.74	0.039	0.56	0.91	12.2	11.7	20.7	19.0
6	926.590	10.74	0.116	0.31	3.34	22.7	—	25.6	—
7	777.539	9.14	0.246	5.26	6.76	18.0	19.7	24.1	25.3
8	777.417	9.14	0.300	6.88	8.85	19.5	20.6	26.2	26.5
9	777.196	9.14	0.337	7.99	10.5	20.2	20.7	27.7	26.6

в певній мірі може відбиватись на значенні визначеного по них хімічного вмісту. В роботі [10] вказувалось на розбіжність в хімічному вмісті кисню, отриманому по заборонених та дозволених лініях. Якщо судити по зведенню хімічних вмістів кисню [13], отриманих для різних сонячних утворень, то маємо розкид значень майже у вісім разів. Не виключена можливість, що і виявлений нами ефект робить цю цифру такою великою.

Опрацювання спостережуваного матеріалу. Основним джерелом даних був Льежський атлас сонячного спектра [12] та обчислені на його основі еквівалентні ширини  $W$  і центральні глибини  $d$  ліній кисню [6]. При цьому з метою збереження «чистоти» експерименту брались під увагу всі дев'ять ліній кисню,  $W$  і  $d$  для яких приводяться в [6]. В таблиці приводяться: довжина хвилі  $\lambda$  лінії, потенціал збудження нижнього рівня  $EP$ , центральна глибина  $d$ , еквівалентна ширина  $W$ , півширина  $h$ , безрозмірні еквівалентна ширина  $W/\lambda$  [14] та півширина  $h/\lambda$  [9].

Безрозмірні півширини  $h/\lambda$  нами введені в зв'язку з тим, що дійсні півширини залежать від  $\lambda$  через доплерівські півширини. З метою «усунення» можливої залежності  $h/\lambda$  від  $EP$  для досліджуваних ліній згідно з даними [5, 9, 15, 16] обчислювався параметр затухання  $p$ , що входить в значення еквівалентної ширини, обчисленої згідно з теорією функцій Фойгта  $W = phd$  параметр  $p = 1.064$ , для чисто затухаючого лоренцівського профілю  $p = 1.571$ . Як показали проведені нами обчислення, для всіх 750 фраунгоферових ліній з каталогу [16] параметр  $p$  знаходиться в межах  $1.07 \leq p \leq 1.15$ , тобто, фраунгоферові лінії сонячного спектра мають дійсно фойгтівську форму. Більше того, параметр  $p$  виявився практично незалежним для досліджуваних ліній ні від потенціалів збудження чи іонізації, ні від інтенсивності. Для кисню ми прийняли  $p = 1.123$ , що дало можливість по відомих  $W$  і  $d$  обчислити півширини ліній (колонки 6 і 8).

Аналіз отриманих результатів і висновки. Аналіз таблиці вказує на істотну залежність півширин фраунгоферових ліній кисню від значень  $EP$ . Для трьох ліній з низьким  $EP$  (лінії 1, 2, 4) значення  $h/\lambda$  в середньому з урахуванням середнього квадратичного відхилення виявилось

$$h/\lambda = (16.4 \pm 2.9) 10^{-6}.$$

Для ліній з високим  $EP$  (лінії 3, 5—9) в середньому отримано

$$h/\lambda = (25.2 \pm 2.5) 10^{-6}.$$

Тобто, лінії з високим  $EP$  приблизно на 30 % ширші від ліній з низьким  $EP$ . Це саме стосується і еквівалентних ширин. Аналогічний висновок, лише з дещо меншою різницею  $h$  і  $W$ , впливає зі спостережень [9]:

$$h/\lambda = (20.6 \pm 1.85) 10^{-6}$$

для ліній з низьким  $EP$  і

$$h/\lambda = (24.7 \pm 3.2) 10^{-6}$$

для ліній з високим  $EP$ . Принагідно зауважимо, що оцінка впливу постійної затухання на півширини лінії, якщо виходити із значення  $p = 1.123$ ,

становить 0.15 пм для ліній з низьким  $p$  і до 0.8—1.0 пм для ліній з високим  $EP$ , тобто лише декілька процентів від спостережуваної півширини. Так що виявлене нами додаткове розширення має іншу природу, ніж розширення внаслідок затухання.

Більше того, для підтвердження отриманих результатів в нас є «щаслива» можливість порівняти між собою дві пари ліній, що мають практично однакові центральні глибини  $d$ , але істотно різні  $EP$ . Це пари ліній 2, 3 і 4, 5. Як бачимо, їх еквівалентні ширини при майже однакових  $d$  помітно відрізняються. А це означає, що і значення хімічного вмісту кисню, обчислені по них в наближенні локальної термодинамічної рівноваги, очевидно, відрізнятимуться. Заради справедливості зауважимо, що це лише наше припущення, бо відповідних розрахунків ми не проводили. Зрештою, не в поясненні залежності  $h/\lambda$  від  $EP$  полягав зміст нашої роботи, а лише в її спостережувальному встановленні.

Таким чином, простий аналіз спостережуваних профілів кисню на Сонці вказує на нерівноважну населеність енергетичних рівнів кисню в умовах сонячної атмосфери. Чи має місце «збідненість» нижніх рівнів, чи навпаки, перенаселеність верхніх, потребує додаткових обчислень на основі спільного розв'язку рівнянь переносу та статистичної рівноваги. А про те, що населеність кисню відмінна від рівноважної, відзначалось в багатьох роботах [7—11, 15, 17]. Ми лише вказали на це з точки зору спостережень.

1. Аллен К. Астрофизические величины. — М.: Мир, 1977.—446 с.
2. Бабий Б. Т. Обнаружение зависимости наблюдаемых полуширин и эквивалентных ширин фраунгоферовых линий нейтрального железа в солнечном спектре от их потенциалов возбуждения // Письма в астроном. журн.—1988.—14, № 4.—С. 353—356.
3. Бабий Б. Т. Про зміни з часом центральних залишкових інтенсивностей фраунгоферових ліній сонячного спектра // Кинематика и физика небес. тел.—1991.—7, № 2.—С. 16—22.
4. Бабий Б. Т., Рикалюк Р. Е. О полуширинах фраунгоферовых линий атомов и ионов группы железа в спектре Солнца и определение химического содержания по линиям ионов. — М., 1987.—9 с.—Деп. в ВИНТИ 16.11.87, № 8029—1387.
5. Гуртовенко Э. А. Изменение центр—край профилей слабых фраунгоферовых линий. IV. Интерпретация и ширины различных линий в центре диска // Астрометрия и астрофизика.—1975.—Вып. 26.—С. 78—86.
6. Гуртовенко Э. А., Костык Р. И. Фраунгоферов спектр и система солнечных сил осцилляторов. — Киев: Наук. думка, 1989.—200 с.
7. Щукина Н. Г. Неравновесное образование линий нейтрального кислорода в солнечной атмосфере. — Киев, 1984.—32 с.—(Препринт / АН УССР. Ин-т теорет. физики; ИТФ-84-75Р).
8. Щукина Н. Г. Влияние образования молекулы СО на солнечные линии кислорода // Солнеч. данные.—1985.—№ 8.—С. 50—53.
9. Altrock R. A new method for the analysis of equivalent widths and its application to solar photospheric oxygen // Solar Phys.—1968.—5, N 3.—P. 260—280.
10. Barbuy B., Erdelyi-Mendes M. Oxygen in old and thick disc star // Astronomy and Astrophysik.—1989.—214, N 1/2.—P. 239—248.
11. Boschen B., Schal Z. M., Seldmays E. Non-LTE analysis of neutral oxygen lines in A-type stars // Astron. and Astrophys.—1977.—55, N 3.—P. 375—386.
12. Delbuille L., Neven L., Roland G. Photometric atlas of the solar spectrum from 3000 to 10 000. — Liege, 1973.
13. Houge O., Engvold O. Compilation of solar abundance data. — Blindern-Oslo: Inst. of teoret. astrohys., 1977.—22 p.
14. Moore C. E., Minnaert M., Houtgast J. The Solar spectrum 2935 to 8770. — Washington: Nat. Beron of Standerds, 1966.—349 p.
15. Muller E., Baschek B., Holweger H. Center-to-limb analysis of the solar oxygen lines // Solar Phys.—1968.—3, N 1.—P. 125—145.
16. Rutten R. J., Ven der Zalm E. Revision of the solar equivalent widths, Fe I oscillator strengths and solar iron abundance // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1984.—55, N 1.—P. 143—161.
17. Sedlmayr E. Non-LTE analysis of the infrared O—I triplets in the solar spectrum // Astron. and Astrophys.—1974.—31, N 1.—P. 23—35.