

АСТРОФИЗИЧКИ ЗНАЧАЈ ИСТРАЖИВАЊА СПЕКТРАЛНИХ ЛИНИЈА И ОДГОВАРАЈУЋА ИСТРАЖИВАЊА У ЈУГОСЛАВИЈИ

МИЛАН С. ДИМИТРИЈЕВИЋ

Астрономска опсерваторија, Волгина 7, 11160 Београд-74, Југославија
E-mail: mdimitrijevic@aob.aob.bg.ac.yu

1. Астрофизички значај истраживања спектралних линија

Једну од важних метода, помоћу које можемо да анализом зрачења звезда сазнамо њихове тајне, пружа нам спектроскопија. Изненађујуће је колико података о звездама и другим небеским објектима можемо добити анализом облика спектралних линија. На тај начин можемо да одредимо температуру на површини звезде, њену гравитацију, да измеримо концентрацију електрона у њеној атмосфери, одредимо заступљеност појединих хемијских елемената... Често се присуство невидљивог пратиоца манифестује у Доплеровом помаку спектралних линија, па постоји читава класа звезда које се називају спектроскопски двојне.

Тешко је генерално издвојити астрофизички значајне спектралне линије, с обзиром да хемијски састав неке звезде није а priori познат и постоје многе интересантне групе звезда чији је хемијски састав различит од Сунчевог. Према томе, спектроскопија звезда зависи од података о великом броју спектралних линија различитих елемената, њихових атомских параметара и параметара ширења (ширине линије и њеног помака).

Интерес за велики број података о ширењу линија различитих емитера, нарочито је порастао развојем космичке астрономије, што је омогућило прикупљање великог броја спектроскопских података у широком спектралном опсегу, од различитих небеских објеката, посебно стимулишући истраживање облика спектралних линија. За спектакуларни пораст наших знања о звезданим спектрима, нарочиту заслугу има Сателитски Хаблов телескоп, телескоп од 2,4 m, лансиран 1990. Захваљујући спектроскопским посматрањима из космоса помоћу овог телескопа, расте интерес за подацима који се не односе само на елементе са великом заступљеношћу него и на оне који су присутни само у траговима.

Ширење услед интеракције између емитера/апсорбера и наелектрисаних честица (Штарково ширење), чије је истраживање посебно развијено у Југославији, доминантно је у неколико случајева од астрофизичког интереса. За $T_{eff} > 10^4\text{K}$, водоник, главни конституент звездане атмосфере, углавном је јонизован па је међу механизмима ширења притиском доминантан Штарков ефекат. То је случај са белим патуљцима и топлим звездама О, В и А0 типа. Чак и код атмосфера хладнијих звезда као што је Сунце Штарково ширење може бити значајно. На пример, утицај Штарковог ширења у спектралној серији расте са порастом главног квантног броја горњег нивоа па шодно томе његов допринос може бити значајан и у Сунчевом спектру.

На пример чланови са великим главним квантним бројем у Балмеровој серији могу бити искоришћени као веома погодно средство за дијагностику приликом проучавања Сунчеве атмосфере. Фелдман и Дошек су 1977. године (Feldman i Doschek, 1977) искористили профиле линија Балмерове серије са главним квантним бројем n између 16 и 32 (на које снажно утиче Штарков ефекат) да би одредили концентрацију електрона и температуру у једној активној области на Сунцу.

Поуздани подаци о Штарковом ширењу спектралних линија потребни су такође за одређивање хемијске заступљености елемената, на основу еквивалентних ширина апсорпционих линија и за проучавање преноса зрачења кроз звездану плазму и то нарочито у субфотосферским слојевима, а осим тога потребни су и за прорачун непрозрачности плазме. У таквом случају потребно је нарочито много података о спектралним линијама. Као добра илустрација може да послужи чланак о прорачуну непрозрачности код класичних модела цефеида, који је 1990. објавио Иглезиас са сарадницима (Iglesias и други, 1990), где је узето у обзир 11,996.532 спектралних линија (45 линија Н, 45 He, 638 С, 54 N, 2390 О, 16030 Ne, 50170 Na, 105700 Mg, 145200 Al, 133700 Si, 12560 Ar i 11,530.000 Fe), при чему је узето у обзир и њихово Штарково ширење.

Али оваква истраживања нису важна само за астрономију. То је мултидисциплинарна област, чији се резултати примењују, на пример, при производњи и конструисању извора светлости. Наиме, важно је знати да ли у области таласних дужина које одговарају максимуму емисије светлећег тела, настају значајне апсорпционе спектралне линије. То код извора светлости заснованих на различитим пражњењима и луковима где се ствара плазма, повећава апсорпцију зрачења у њој и чини наш извор неефикасним. Осим тога, знање о облику спектралних линија корисно је и за истраживање ласера и ласерски произведене плазме. На пример, апсорпција ласерског зрачења, која има строго одређену таласну дужину, загрева плазму пробоја ваздуха испред мете. Она апсорбовану енергију зрачи као топлоту, прерасподељујући је по таласним дужинама. Погодним моделирањем процеса,

уз познавање облика спектралних линија, може се утицати на ефикасност индустријских ласера који служе за обраду и резање метала и других материјала. Резултати ових истраживања налазе широку примену и у дијагностици плазме, код истраживања везаних за термонуклеарну фузију и у другим областима.

Да би се добили одговарајући атомски подаци за прорачун непрозрачности звезданих омотача, године 1984. формиран је међународни "Opacity project" (пројекат Непрозрачност, Seaton, 1997), чији је циљ био да пружи основне податке о енергетским нивоима и јачинама осцилатора за око милион електронских везано - везаних прелаза у атомима и јонима, као и изванредан број података о пресецима за фотојонизацију и о параметрима Штарковог ширења спектралних линија. његов резултат је база података (TOP Database, Butler и други, 1993; Cunto и други, 1993), која садржи углавном податке о јачинама осцилатора и енергетским нивоима. После завршетка овог пројекта, формиран је "Iron project" (пројекат Гвожђе, Hummer и други, 1993), да би се добили и подаци о пресецима за ударну екситацију електрона, за атоме и дуж изоелектронских низова.

Да би потребне податке за истраживање и моделирање звездане плазме допунили и подацима о параметрима Штарковог ширења спектралних линија, Димитријевић и Сахал Брешо (Sahal-Bréchet) су у низу чланака дали резултате обимних прорачуна параметара Штарковог ширења (види Димитријевић, 1997а и референце у чланку) у оквиру семикласичног прилаза (Sahal-Bréchet, 1969аб; Димитријевић и други, 1991), за велики број емитера. До сада су објављени резултати прорачуна параметара Штарковог ширења за 79 He I, 62 Na, 51 K, 61 Li, 25 Al, 24 Rb, 3 Pd, 19 Be, 270 Mg, 31 Se, 33 Sr, 14 Ba, 28 Ca II, 30 Be II, 29 Li II (види Димитријевић, 1997а и референце у чланку), 66 Mg II (види Димитријевић, 1997а и референце у чланку, као и Димитријевић и Sahal-Bréchet, 1998а), 64 Ba II, 19 Si II, 3 Fe II, 2 Ni II, 12 B III, 27 Be III, 23 Al III, 10 Sc III (види Димитријевић, 1997а и референце у чланку), 32 Y III (Димитријевић и Sahal-Bréchet, 1997а, 1998б), 20 In III, 2 Tl III, 2 Pb IV (Димитријевић и Sahal-Bréchet, 1998ц, 1999а), 10 Ti IV, 39 Si IV, 90 C IV, 5 O IV, 114 P IV, 19 O V, 30 N V, 25 C V, 51 P V (види Димитријевић, 1997а и референце у чланку), 26 V V (Димитријевић и Sahal-Bréchet, 1998д), 34 S V (Димитријевић и Sahal-Bréchet, 1997д, 1998е), 30 O VI, 2 F VI (Димитријевић и Sahal-Bréchet, 1999б), 21 S VI (види Димитријевић, 1997а и референце у чланку), 10 Cl VII (Димитријевић и Sahal-Bréchet, 1999б), 14 O VII (Димитријевић и Sahal-Bréchet, 1998фг), 10 F VII, 20 Ne VIII (види Димитријевић, 1997а и референце у чланку), 4 K VIII, 30 K IX (Димитријевић и Sahal-Bréchet, 1998х), 8 Na IX (види Димитријевић, 1997а и референце у чланку), 4 Ca IX, 48 Ca X (Димитријевић и Sahal-Bréchet, 1997ц, 1998и), 57 Na X (Димитријевић и Sahal-Bréchet, 1998јк), 4 Sc X, 10 Sc XI (Димитријевић и Sahal-Bréchet, 1998лм), 4 Si XI (Димитријевић и Sahal-Bréchet, 1997д, 1998н), 18 Mg XI (Димитријевић и Sahal-Bréchet, 1998гх), 7 Al XI (види Димитријевић, 1997а и референце у чланку), 4 Ti XI, 27 Ti XII (Димитријевић

и Sahal-Bréchet, 1998лм), 9 Si XII (види Димитријевић, 1997а и референце у чланку), 61 Si XIII (Димитријевић и Sahal-Bréchet, 1997д, 1998н), и 33 V XIII (Димитријевић и Sahal-Bréchet, 1998д) мултиплета.

Подаци за појединачне линије F I, Ga II, Ga III, Cl I, Br I, I I, Cu I, Ag II, Hg II, N III, F V, S IV (види Димитријевић, 1997а и референце у чланку), B II, C III i N IV (Благојевић и други, 1998) су такође објављени.

Да би се што је могуће боље употпунили подаци о Штарковом ширењу, Београдска група (Димитријевић, Поповић, Кршљанин, Танкосић, Бон) је користила Модификовани семиемпиријски прилаз (Димитријевић и Коњевић, 1980; види такође Димитријевић, 1996, 1997а и референце у оба чланка) за емитере код којих атомски подаци нису довољно комплетни да би се могао извести поуздани семикласични прорачун. Ширине и у неким случајевима помаци најинтензивнијих спектралних линија следећих емитера су израчунати: Ag II, Fe II, Pt II, Bi II, Zn II, Cd II, As II, Br II, Sb II, I II, Xe II, (види Димитријевић, 1996 и референце у чланку), Mn II (Поповић и Димитријевић, 1997а, 1998а), La II (Поповић и Димитријевић, 1997б), Au II (Поповић и други, 1998), Eu II (Поповић и Димитријевић, 1998б), V II (Поповић и Димитријевић, 1998ц, 1999), Ti II (види Димитријевић, 1996 и референце у чланку, као и Танкосић и други, 1998а), Kг II (Поповић и Димитријевић, 1998д), Na II (Поповић и Димитријевић, 1997д), Y II, Zr II, Sc II (Поповић и Димитријевић, 1996, 1997д), Be III, В III, S III, C III, N III, O III, F III, Ne III, Na III, Al III, Si III, P III, S III, Cl III, Ar III (види Димитријевић, 1996 и референце у чланку), Mn III, Ga III, Ge III (Поповић и Димитријевић, 1997а, 1998а), As III, Se III (Поповић и Димитријевић, 1996а), Zn III (Поповић и Димитријевић, 1996б), Mg III (види Димитријевић, 1996 и референце у чланку, као и Поповић и Димитријевић, 1996ц), La III (Поповић и Димитријевић, 1997б), V III (Поповић и Димитријевић, 1998ц, 1999), Ti III (Танкосић и други, 1998б), Bi III (Поповић и Димитријевић, 1998е), Sr III (Поповић и Димитријевић, 1998ф), Cu III (види Димитријевић, 1996 и референце у чланку, као и Поповић и Димитријевић, 1997е), В IV, Cu IV, Ge IV, C IV, N IV, O IV, Ne IV, Mg IV, Si IV, P IV, S IV, Cl IV, Ar IV (види Димитријевић, 1996 и референце у чланку), V IV (Поповић и Димитријевић, 1998ц, 1999), Ge IV (Поповић и Димитријевић, 1997а, 1998а), C V, O V, F V, Ne V, Al V, Si V, N VI, F VI, Ne VI, Si VI, P VI, i Cl VI (види Димитријевић, 1996 и референце у чланку).

2. Истраживања облика спектралних линија у Југославији

Први рад о профилима спектралних линија у старој Југославији објавио је 1962 године В. Вујновић (Вујновић и други, 1962) из Загреба а у Србији 1964 године М. Д. Маринковић (Мазинг и други, 1964) из Београда. До марта 1997 године објављено је 1129 (926 од стране српских аутора) библиографских јединица од укупно 146 (119 из Србије, 26 из Хрватске

и 1 македонац који живи у Паризу) југословенских аутора (Димитријевић 1990, 1991, 1994, 1997б), од чега велики део у најпознатијим светским часописима као што су *Astronomy and Astrophysics*, *Physical Review*, *Astrophysical Journal*, *Journal of Physics*, *Zeitschrift für Physik*, *Physics Letters*, итд. Последњих година старе Југославије у просеку се објављивало 60-так радова годишње, а у новој објављено је само 1996. године 84 рада, што сведочи о замаху ове области код нас.

Овако интензиван развој области и стварање праве југословенске школе, можда је највише последица чињенице да су неколицина сјајних истраживача из неколико југословенских градова и то Н. Коњевић и Ј. Лабат из Београда, М. Павлов из Новог сада и В. Вујновић из Загреба, радили на својим докторским дисертацијама у истом граду, у Ливерпулу, из сличних области и у исто време у лабораторијама професора Крегса и његових сарадника. У току дужег времена су били заједно и када су се вратили у Југославију се брзо створило неколико центара у којима су на овој проблематици радили људи који су се међусобно познавали и дружили што је овој области брзо донело критичну масу, која је омогућавала инспиративну научну дискусију и плодотворну размену идеја. Они су били попут центара кристализације који су окупљали младе и способне људе уводећи их брзо у актуелне проблеме светске науке. Први експериментални уређај за истраживање профила линија плазме, почели су у Београду да праве Јарослав Лабат и Љубомир Ћирковић. Њима се придружио тадашњи магистрант а садашњи ректор Београдског Универзитета Јагош Пурић, а по повратку из Ливерпула и Никола Коњевић. Данас се у Београду на овим истраживањима ради у три институције. На Физичком факултету, где су Јарослав Лабат, Јагош Пурић, Никола Коњевић, Михајло Платиша, Стеван Ђениже и њихови бројни сарадници, у Институту за физику у Земуну, где се експериментални рад одвија под руководством Николе Коњевића и, на Астрономској опсерваторији, где осим аутора раде на оваквим истраживањима и Иштван Винце, Лука Ч. Поповић, Слободан Јанков, Сања Еркапић, Милан Ћирковић, Драгана Танкосић, Наташа Трајковић, Дарко Јевремовић и Еди Бон.

У Београду су развијени сопствени теоријски прилази овом проблему, као што је Модификована семиемпиријска формула, који се користе и цитирају у међународној научној јавности. Радови Београдске школе посвећени истраживању Штарковог ширења спектралних линија вишеструко наелектрисаних јона су пионирски и она је још увек међу првима у свету у овој области. До данас је истраживан читав низ проблема као што су, на пример, помаци спектралних линија на Сунцу, спектри топлих DA белих патуљака, утицај сударних процеса на спектралне линије и континуум астрофизичке и лабораторијске плазме, систематски трендови код параметара ширења, спектралне линије у зрачењу језгара активних галаксија, итд. На Астрономској опсерваторији у току је реализација Београдског програма за праћење спектралних линија Сунца као звезде у току једанаестогодишњег циклуса његове активности.

На овој проблематици остварена је интензивна и плодносна међународна сарадња са Париским опсерваторијом, Институтом за астрофизику у Паризу, са САД, Енглеском, Немачком, Украјином, Русијом, Пољском и Тунисом. Бројност људи у Србији који се овом проблематиком баве на светском нивоу, ствара критичну масу са бројним међународним везама, што даје велику перспективу младима, да брзо достигну ниво који им омогућава проходност постигнутих резултата у најпознатије светске часописе.

Референце

- Blagojević, M., Popović, M. V., Konjević, N., Dimitrijević, M. S.: 1998, *J. Quant. Spectrosc. Radiative Transfer*, in press.
- Butler, K., Mendoza, C., Zeippen, C. J.: 1993, *J. Phys. B*, **26**, 4409.
- Cunto, W., Mendoza, C., Ochsenbein, F., Zeippen, C. J.: 1993, *Astron. Astrophys.*, **275**, L5.
- Dimitrijević, M. S.: 1990, Line shapes investigations in Yugoslavia I (1982-1985), (Bibliography and Citation Index), *Publ. Obs. Astron. Belgrade*, **39**.
- Dimitrijević, M. S.: 1991, Line shapes investigations in Yugoslavia II (1985-1989), (Bibliography and Citation Index), *Publ. Obs. Astron. Belgrade*, **41**.
- Dimitrijević, M. S.: 1994, Line shapes investigations in Yugoslavia and Serbia III (1989-1993), (Bibliography and Citation Index), *Publ. Obs. Astron. Belgrade*, **47**.
- Dimitrijević, M. S.: 1996, *Zh. Prikl. Spektroskop.*, **63**, 810.
- Dimitrijević, M. S.: 1997a, *Astrophys. Space Sci.*, **252**, 415.
- Dimitrijević, M. S.: 1997b, Line shapes investigations in Yugoslavia and Serbia IV (1993-1996), (Bibliography and Citation Index), *Publ. Obs. Astron. Belgrade*, **58**.
- Dimitrijević M.S., and Konjević N.: 1980, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **24**, 451.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1997a, *Bull. Astron. Belgrade*, **155**, 145.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1997b, *Bull. Astron. Belgrade*, **155**, 131.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1997c, *Bull. Astron. Belgrade*, **156**, 149.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1997d, *Bull. Astron. Belgrade*, **156**, 113.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1998a, *Physica Scripta*, **58**, 61.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1998b, *Zh. Prikl. Spektrosk.*, **65**, 476.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1998c, *Serb. Astron. J.*, in press.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1998d, *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, **68**, 241.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1998e, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **127**, 543.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1998f, *Serb. Astron. J.*, **157**, 93.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1998g, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **131**, 141.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1998h, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, in press.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1998i, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **128**, 359.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1998j, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **130**, 539.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1998k, *Serb. Astron. J.*, **157**, 65.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1998l, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **131**, 143.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1998m, *Serb. Astron. J.*, **157**, 39.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1998n, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **129**, 155.
- Dimitrijević, M. S. and Sahal-Bréchet, S.: 1999a, *Zh. Prikl. Spektrosk.*, in press.

- Dimitrijević, M. S. and Sahal—Bréchet, S.: 1999b, *Physica Scripta*, in press.
- Dimitrijević, M. S., Sahal – Bréchet, S., Bommier, V.: 1991, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **89**, 581.
- Feldman U., Doschek G. A.: 1977, *Astrophys. J.*, **212**, 913.
- Hummer, D. G., Berrington, K. A., Eissner, W., Pradhan, A., Saraph, H. E., Tully, J. A.: 1993, *Astron. Astrophys.*, **279**, 298.
- Iglesias C. A., Rogers F. J., Wilson B.G.: 1990, *Astrophys. J.*, **360**, 221.
- Mazing, M.A., Marinković, M.D., Vrublevskay, N.A.: 1964, Broadening and Shift of the Al III Spectral Lines in Strongly Ionized Plasma, *Bull. Boris Kidrič Inst. Nucl. Sci.* **15**, 15.
- Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1995, Proc. of the first Yug. Conf. on Spectral Line Shapes, *Publ. Obs. Astron. Belgrade*, **50**, 105.
- Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1996a, 28 EGAS, Graz, 1996, EPS Conference Abstracts (ed. L. Windholz), 102.
- Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1996b, Proc. XI Nat. Conf. Yug. Astron., eds. M. Vukićević-Karabin, Z. Knežević, *Publ. Astron. Obs. Belgrade*, **54**, 39.
- Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1996c, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **120**, 373.
- Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1997a, *Bull. Astron. Belgrade*, **156**, 173.
- Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1997b, Proc. II Yug. Conf. on Spectral Line Shapes, Bela Crkva, (eds. L. Č. Popović, M. Čuk), *Publ. Astron. Obs. Belgrade*, **57**, 91.
- Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1997c, Fizika plazmy i plazmennye tekhnologii, Materialy konferencii, Minsk 1997, Tom 2, 328.
- Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1997d, *Bull. Astron. Belgrade*, **155**, 159.
- Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1997e, 29 EGAS (European Group for Atomic Spectroscopy), Berlin, Europhysics Conference Abstracts 21 C (ed H. -D. Kronfeldt), 469.
- Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1998a, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **128**, 203.
- Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1998b, Proc. II Yugoslav - Belarussian Symposium on Physics & Diagnostics of Laboratory & Astrophysical Plasmas, Zlatibor 1998, Eds. M. S. Dimitrijević, V. S. Burakov, *Publ. Astron. Obs. Belgrade*, **61**, 135.
- Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1998c, *Serb. Astron. J.*, **157**, 109.
- Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1998d, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **127**, 295.
- Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1998e, Proc. 29th Conf. on Variable Star Research eds. J. Dušek, M. Zejda, Nicholas Copernicus Observatory and Planetarium Brno, 56.
- Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1998f, Proc. 4th Yugoslav - Romanian Astronomical Meeting, Eds. M. S. Dimitrijević, L. Č. Popović, *Publ. Obs. Astron. Belgrade*, **60**, 71.
- Popović, L. Č., Tankosić, D., Bon, E., Dimitrijević, M. S.: 1998, 19th SPIG Zlatibor 1998, Contributed papers & Abstracts of invited lectures, topical invited lectures and progress reports, Eds. N. Konjević, M. Čuk, I. R. Videnović, Faculty of Physics, University of Belgrade, Belgrade, 681.
- Sahal – Bréchet, S.: 1969a, *Astron. Astrophys.*, **1**, 91.
- Sahal-Bréchet, S.: 1969b, *Astron. Astrophys.*, **2**, 322.
- Seaton, M. J.: 1987, *J. Phys. B*, **20**, 6363.
- Tankosić, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1998a, Proc. 4th Yugoslav - Romanian Astronomical Meeting, Eds. M. S. Dimitrijević, L. Č. Popović, *Publ. Obs. Astron. Belgrade*, **60**, 83.
- Tankosić, D., Popović, L. Č., Dimitrijević, M. S.: 1998b, 6th EPS Conference on Atomic and Molecular Physics, Siena 1998, eds. C. Biancalana, P. Bicchi, E. Mariotti, Europhysics Conference Abstracts 22D, p. (5-)18.
- Vujnović, V., Harrison, J.A., Craggs, J.D.: 1962, Balmer Line Profiles in a Capillary Discharge, *Proc. Phys. Soc. London*, **80**, 516.