

**О ПАРАМЕТРИМА ШТАРКОВОГ ШИРЕЊА СПЕКТРАЛНИХ ЛИНИЈА,
ПОТРЕБНИМ ЗА ИСТРАЖИВАЊЕ ЗВЕЗДАНЕ И ЛАБОРАТОРИЈСКЕ
ПЛАЗМЕ**

МИЛАН С. ДИМИТРИЈЕВИЋ

Астрономска опсерваторија, Волгина 7, 11050 Београд

Резиме. Дат је преглед семикласичних истраживања параметара Штарковог ширења спектралних линија од интереса за истраживање звездане и лабораторијске плазме, при чему су разматрани различити семикласични методи и поређење теоријских резултата са критички одабраним експерименталним подацима и резултатима егзактнијег кванто - механичког метода јаке спреге. Такође су размотрени и приближни методи за прорачун параметара Штарковог ширења, који су нарочито корисни код таквих астрофизичких проблема код којих је неопходно извршити прорачун за велики број спектралних линија при чему је нарочито критична средња тачност а не толико тачност сваког појединачног резултата. Такође је описан и почетак и развој истраживања облика спектралних линија у Југославији.

**Астрофизички аспекти истраживања Штарковог ширења спектралних
линија**

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.

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.

Ширење услед интеракције између емитера и наелектрисаних честица (Штарково ширење) доминантно је у неколико случајева од астрофизичког интереса. За $T_{\text{eff}} > 10^4 \text{ K}$, 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 (Dimitrijević i Sahal-Bréchet 1984a,b; 1985a) па сходно томе допринос Штарковог ширења може бити значајан и у Сунчевом спектру (Vince i Dimitrijević 1985; Vince i dr. 1985a,b).

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 (Feldman i Doshek, 1977) су 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 (опациитета). 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 (Iglesias i dr. 1990), где је узето у обзир 11,996.532 спектралних линија (45 линија Н, 45 Не, 638 С, 54 N, 2390 О, 16030 Не, 50170 Na, 105700 Mg, 145200 Al, 133700 Si, 12560 Ar и 11,530.000 Fe), при чему је узето у обзир и њихово Штарково ширење.

Семикласичан метод

Упркос чињеници да је најегзактнији теоријски метод за проучавање Штарковог ширења квантно-механички метод јаке спреге, услед његове комплексности и нумеричких тешкоћа, постоји само мали број таквих прорачуна. На пример метод јаке спреге је примењен у случају линија Li I ($2s - 2p$) (Dimitrijević i dr. 1981), Ca II ($4s - 4p$ и $3d - 4p$) (Barnes, 1971; Barnes i Peach, 1970) Mg II ($3s - 3p$) (Barnes, 1971; Bely i Griem, 1970) и Be II ($2s - 2p$) (Sanchez i dr., 1973). Ситон је извео прорачуне методом јаке спреге за 42 прелаза код Li-сличних јона Be II, В III, С IV, О VI, Ne VIII (Seaton, 1988) и за прелазе $2s^2 \ ^1S - 2s2p \ ^1P^o$, $2s2p \ ^3P^o - 2p^2 \ ^3P$ и $2s2p \ ^1P^o - 2p^2 \ ^1D$ и $\ ^1S$ код С III, О V и Ne VII (Seaton, 1987).

У многим случајевима као што су, на пример, комплексни спектри, тешки елементи или прелази између виших енергетских нивоа, егзактнији квантно-механички метод је веома тешко или чак и практично немогуће применити па у таквим случајевима семикласичан прилаз остаје најефикаснији метод за прорачун параметара Штарковог ширења.

Постојећи опсежни прорачуни параметара Штарковог ширења изведени су користећи три различита компјутерска програма које су развили (i) Џонс, Бенет и Грим (Jones i dr., 1971; Benett i Griem, 1971; Griem, 1974), (ii) Сахал-Брешо (1969а,б) и (iii) Басало, Катани и Валдер (1982).

У компјутерском програму који су развили Басало, Катани и Валдер, употребљена је такозвана конвергентна теорија коју су оригинално развили Вајнштајн и Собељман (1959). Користећи сличности између Дајсоновог низа за пертурбациони развој S матрице и Тејлоровог низа за развој експоненцијалне функције, овај метод избегава дивергенцију до које долази приликом интеграције по сударном параметру (ρ) када ρ тежи ка нули.

Опсежни прорачуни параметара Штарковог ширења линија не-водоничних неутрала и једноструко наелектрисаних јона (од хелијума до калцијума и цезијум), изведени уз помоћ компјутерског програма Џонса, Бенета и Грима објављени су 1971 и касније 1974 (Jones i dr., 1971; Benett i Griem, 1971; Griem, 1974). Користећи исти компјутерски програм (Griem, 1974) и верзију коју је Димитријевић прилагодио за случај вишеструко наелектрисаних јона, објављени су подаци за Br I, Ge I, Hg I, Pb I, Rb I, Cd I, Zn I (Dimitrijević i Konjević, 1983), O II (Dimitrijević, 1982a), O III (Dimitrijević, 1980a), C III (Dimitrijević, 1980b), C IV (Dimitrijević, 1980b; 1988a), N II, N III, N IV (Dimitrijević i Konjević, 1981a), S III, S IV, Cl III (Dimitrijević i Konjević, 1982) и Ti II, Mn II (Dimitrijević, 1982b).

Семикласични прорачуни на основу метода који је развила Сахал-Брешо (1969а,б) постоје за лакше елементе као што су C, N, Mg, Si (без доприноса резонанци [види, на пример, Сахал-Брешо и Сегре (1971) и наведене референце]. Подаци за јоне сличне алкалима Be II, Mg II, Ca II, Sr II и Ba II могу се наћи у раду Флориса и др. (1977), док су у раду Лесажа и др. (1983) упоређени семикласични и експериментални подаци за линије Si II. Користећи овај компјутерски програм извршени су опсежни прорачуни за 79 мултиплета неутралног хелијума (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1984a,b), 62 натријума (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1985; 1990b,c), 51 калијума (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1987; 1990d), 61 литијума (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1991a,b), 25 алуминијума (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1992a; 1994a), 24 рубидијума (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1992b; 1994b), 3 паладијума (Dimitrijević 1993a), 19 берилијума (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1992c), 270 магнезијума (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1994c,d), 28 Ca II (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1992d; 1993b), 30 Be II (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1992e,f), 23 Al III (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1993c,d), 10 Sc III, 10 Ti IV (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1992g), 39 Si IV (Dimitrijević i dr., 1991a,b), 90 C IV (Dimitrijević i dr., 1991c,d; Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1992h), 30 N V (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1992i), 30 O VI (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1992j), 21 S VI (Dim-

itrijević i Sahal-Bréchet, 1993e), 10 F VII (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1993f), 20 Ne VIII, 8 Na IX (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1994e), 7 Al XI, и 9 Si XII (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1994f) мултиплета. Такође постоје и подаци за појединачне линије F I (Vujnović i dr. 1983), Ar II (Dimitrijević i Truong-Bach, 1986), Ga II, Ga III (Dimitrijević i Artru, 1986), Si II (Lanz i dr., 1988), Cl I, Br I, I I (Djurović i dr., 1990), Cu I (Dimitrijević i Vujnović, 1990) и Hg II (Dimitrijević, 1992).

Објављен је такође опсежни прорачун линија He I, који су извршили Басало, Катани и Валдер користећи конвергентни семикласични метод.

Резултати сва три метода упоређени су са критички изабраним експерименталним подацима за 13 мултиплета He I (Dimitrijević i Sahal-Bréchet, 1985b). Слагање између експерименталних података и сва три семикласична прорачуна је у границама од $\pm 20\%$, што је и предвиђена тачност семикласичног метода. (Griem, 1974).

Уопштено, подаци о ширини линије су много поузданији него подаци о помаку, с обзиром да је прорачун помака много осетљивији на мале промене различитих параметара. То је последица чињенице да су вредности помака мање од ширина и да су помаци настали услед деловања судара који су у просеку много даљи (минимални сударни параметар је много већи).

На крају, ако не постоје теоријски подаци, од велике помоћи могу бити прегледи критички изабраних експерименталних података (Konjević i Roberts, 1976; Konjević i Wiese, 1976; Konjević i dr., 1984a,b; Konjević i Wiese, 1990).

Приближни методи

Кадгод су потребни подаци о Штарковом ширењу за велики број спектралних линија, при чему висока тачност сваког појединачног резултата није посебно важна, просте приближне формуле чији резултати су добре тачности када се усредње, могу бити од велике користи. Осим тога, у случају комплекснијих атома или вишеструко наелектрисаних јона, услед недостатка довољно тачних атомских података неопходних за тачније прорачуне, поузданост семикласичних резултата опада. У таквим случајевима расте значај приближних метода.

Постојеће приближне методе за прорачун параметара Штарковог ширења можемо да поделимо у три групе. У првој су они методи где је најкомпликованији део прорачуна, прорачун пресека за диполне прелазе, избегнут коришћењем усредњених експерименталних (на пример (Griem, 1968; Dimitrijević i Konjević, 1980, 1981b,c; 1987; Dimitrijević i Kršljanin, 1986; Dimitrijević, 1988b; Hey i Вгуан, 1977) или теоријских података (Seaton, 1987). У другу групу можемо да ставимо оне методе у којима се најкомпликованији део егзактне теорије упрошћава (на пример Griem, 1974) или се врши интерполација између теоријски једноставнијих граничних вредности (на пример Dimitrijević i Konjević, 1986). У трећој групи су могућности за интерполацију нових података уз помоћ регуларности и систематских трендова (на пример Wiese i Konjević,

1982; Dimitrijević i Peach, 1990; Dimitrijević, 1985; Dimitrijević i Popović, 1989; Purić i dr., 1980; 1991; Lakićević i Purić, 1983; Vitel i dr., 1988; Djeniže i dr., 1990).

Од нарочитог интереса за астрофизичке потребе може бити упрошћена семи-емпиријска формула (Dimitrijević i Konjević, 1987) за Штаркове ширине изолованих линија једноструко и вишеструко наелектрисаних јона. Треба имати на уму да је ова формула применљива када је најближи атомски енергетски ниво ($j^i=i^i$ или f^i) на који диполно дозвољени прелаз са почетног (i) или коначног нивоа разматране линије може да се деси, тако далеко да је задовољен услов $x_{ij} = E/|E_j - E_i| \leq 2$. У том случају пуна ширина на половини максималне висине је дата изразом (Dimitrijević i Konjević, 1987):

$$W(\text{Å}) = 2.2151 \times 10^{-8} \frac{\lambda^2(\text{cm})N(\text{cm}^{-3})}{T^{1/2}(\text{K})} \left(0.9 - \frac{1.1}{Z}\right) \sum_{j=i,f} \left(\frac{3n_j^*}{2Z}\right)^2 (n_j^{*2} - \ell_j^2 - \ell - 1) \quad (1)$$

Овде су N и T електронска концентрација и температура респективно, $E = 3kT/2$ је енергија пертурбујућег електрона, $Z - 1$ је наелектрисање јона а n је ефективни главни квантни број. Овај израз је од значаја за одређивање заступљености хемијских елемената у звезданим атмосферама, као и за дијагностику звездане плазме, с обзиром да су услови за примену формуле у овим случајевима често задовољени.

Слично, у случају помака

$$d(\text{Å}) = 1.1076 \times 10^{-8} \frac{\lambda^2(\text{cm})N(\text{cm}^{-3})}{T^{1/2}(\text{K})} \left(0.9 - \frac{1.1}{Z}\right) \frac{9}{4Z^2} \times \sum_{j=i,f} \frac{n_j^* \varepsilon_j^2}{2\ell_j + 1} \{(\ell_j + 1)[n_j^{*2} - (\ell_j + 1)^2] - \ell_j(n_j^{*2} - \ell_j^2)\} \quad (2)$$

где је $\varepsilon = +1$ иако је $j = i$ а -1 ако је $j = f$.

Ако сви нивои $\ell_{i,f} \pm 1$ постоје, може се извести додатно сумирање у једначини (2), па се добија

$$d(\text{Å}) = 1.1076 \times 10^{-8} \frac{\lambda^2(\text{cm})N(\text{cm}^{-3})}{T^{1/2}(\text{K})} \left(0.9 - \frac{1.1}{Z}\right) \frac{9}{4Z^2} \times \sum_{j=i,f} \frac{n_j^* \varepsilon_j^2}{2\ell_j + 1} (n_j^{*2} - 3\ell_j^2 - 3\ell_j - 1). \quad (3)$$

Када упрошћена семиемпиријска формула није применљива, добре могућности пружа модификовани семиемпиријски метод (Dimitrijević i Konjević, 1980; 1981b; 1987; Dimitrijević i Kršljanin, 1986; Dimitrijević, 1988b). Да би се овај прилаз тестирао, изабрани експериментални подаци за 36 мултиплета (7 различитих врста јона) двоструко и троструко наелектрисаних јона упоређени су са теоријским ширинама линија. Усредњене вредности односа мерених и рачунатих ширина линија су следеће (Dimitrijević i Konjević, 1980): за

двоструко наелектрисане јоне 1.06 ± 0.32 а за троструко наелектрисане 0.91 ± 0.42 . Модификовани семиемпиријски прилаз тестиран је више пута на бројним примерима (Dimitrijević, 1990). Објављени су подаци за најинтензивније линије следећих емитера: Be III, B III, B IV, C III, C IV, N III, N IV, O III, O IV, F III, Ne III, Ne IV, Na III, Mg IV, Al III, Si III, Si IV, P III, P IV, S III, S IV, Cl III, Cl IV, Ar III, Ar IV (Dimitrijević i Konjević, 1981b; Dimitrijević 1988b); C V, N VI, O V, F V, F VI, Ne V, Ne VI, Al V, Si V, Si VI, P VI, и Cl VI (Dimitrijević, 1993b). Осим тога, подаци о ширинама линија објављени су и за појединачне линије Ti II, Mn II (Dimitrijević, 1990), Fe II (Dimitrijević, 1988c), Cu IV (Dimitrijević i dr., 1989), Pt II (Dimitrijević, 1993c), Bi II (Dimitrijević, i Popović, 1994), Zn II, Cd II (Popović i dr., 1994) а подаци о помаку за Ar II линије (Kršljanin i Dimitrijević, 1989a,b).

Регуларности и систематски трендови

Када нема поузданих података, познавање регуларности и систематских трендова параметара ширења линија може бити употребљено за брзе процене нових података, нарочито када висока тачност сваког појединог податка није неопходна.

Регуларности и систематски трендови ширина изолованих неводоничних спектралних линија у плазми недавно су проучавани у низу чланака (види на пример Dimitrijević, 1982a; Wiese i Konjević, 1982; Dimitrijević i Peach, 1990; Dimitrijević, 1985; Dimitrijević i Popović, 1989; Purić i dr., 1980; 1991; Lakićević i Purić, 1983; Vitel i dr., 1988; Djeniže i dr., 1990; Konjević i Dimitrijević, 1981). Циљ оваквих проучавања је да се установи да ли регуларности и систематски трендови могу бити искоришћени за добијање нових вредности ширина линија и за критичку процену експерименталних података. На основу познавања регуларности и систематских трендова могли би смо на основу познатих експерименталних и теоријских вредности интерполацијом доћи до нових података потребних у спектроскопији звезда.

Ипак треба узети у обзир да систематски трендови и подаци о ширењу линија важе за услове у плазми за које су добијени и да екстраполације могу да доведу до грубих грешака.

Истраживања у Југославији

Први рад о профилима спектралних линија у старој Југославији објавио је 1962 године В. Вујновић из Загреба а у Србији 1964 године М. Д. Маринковић из Београда. До септембра 1993 године објављено је 869 библиографских јединица од укупно 127 југословенских аутора, од чега велики део у најпознатијим светским часописима као што су *Astronomy and Astrophysics*, *Physical Review*, *Astrophysical Journal*, *Journal of Physics*, *Zeitschrift fuer Physik*, *Physics Letters*, итд. Последњих година у просеку се објављује 60-так радова годишње 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 наших 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 нашој земљи 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 редовни професор физичког факултета 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, Владимир Кршљанин, Олга Атанацковић-Вукмановић, Слободан Јанков, Лука Поповић, Сања Еркапић и Дарко Јевремовић.

На овој проблематици остварена је интензивна и плодносна међународна сарадња са Париском опсерваторијом, Институтом за астрофизику у Паризу, са САД, Енглеском, Немачком, Пољском и Тунисом. Бројност људи у нашој средини 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

- Barnes, K. S.: 1971, *J. Phys. B*, **4**, 1377.
 Barnes, K. S. & Peach, G.: 1970, *J. Phys. B*, **3**, 350.
 Bassalo, J., Cattani, M. & Walder, W. S.: 1982, *JQSRT*, **28**, 75.
 Bely, O. & Griem, H. R.: 1970, *Phys. Rev. A*, **1**, 97.
 Bennett, S. M. & Griem, H. R.: 1971, *Calculated Stark Broadening Parameters for Isolated Spectral Lines from the Atom Helium through Calcium and Cesium*, Univ. Maryland, Techn. Rep. No 71-097, College Park, Maryland.
 Dimitrijević, M. S.: 1980a, *Publ. Obs. Astron. Sarajevo*, **1**, 215.
 Dimitrijević, M. S.: 1980b, *V ESCAMPIG*, Dubrovnik p. 90.
 Dimitrijević, M. S.: 1982a, *Astron. Astrophys.* **112**, 251.

- Dimitrijević, M. S.: 1982b in *Sun and Planetary System*, eds. W. Fricke and G. Teleki, *Astrophys. and Space Library* 96, D. Reidel P. C., Dordrecht, Boston, London, p. 101.
- Dimitrijević, M. S.: 1985, *Astron. Astrophys.* **145**, 439.
- Dimitrijević, M. S.: 1988a, *Bull. Obs. Astron. Belgrade*, **139**, 31.
- Dimitrijević, M. S.: 1988b, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **76**, 53.
- Dimitrijević, M. S.: 1988c, in *Physics of Formation of Fe II Lines Outside LTE*, eds. R. Viotti, A. Vitone, M. Friedjung, D. Reidel P. C. p. 211.
- Dimitrijević, M. S.: 1990, in *Accuracy of Element Abundances from Stellar Atmospheres* ed. R. Wehrse, *Lecture Notes in Physics* 356, Springer, Berlin-Heidelberg p. 31.
- Dimitrijević, M. S.: 1992, *JQSRT*, **47**, 315.
- Dimitrijević, M. S.: 1993a, *Astron. Astrophys.* **100**, 237.
- Dimitrijević, M. S.: 1993b, *Astrophys. Lett. Communications*, **28**, 381.
- Dimitrijević, M. S. & Artru M. C.: 1986, *XIII Symp. Phys. Ioniz. Gases*, Šibenik, p. 317.
- Dimitrijević, M. S., Djurić, Z. & Mihajlov, A. A.: 1989, *J. Phys. Coll. C 1, Suppl. au No 1*, 50, C1-623.
- Dimitrijević, M. S., Djurić, Z. & Mihajlov, A. A.: 1994, *J. Phys. D*, **27**, 247.
- Dimitrijević, M. S., Feautrier, N. & Sahal-Bréchet, S.: 1981, *J. Phys. B*, **14**, 2559.
- Dimitrijević, M. S., & Konjević, N.: 1980, *JQSRT*, **24**, 451.
- Dimitrijević, M. S., & Konjević, N.: 1981a, *JQSRT*, **25**, 387.
- Dimitrijević, M. S. & Konjević, N.: 1981b in *Spectral Line Shapes*, Ed. B. Wende, W. de Gruyter, Berlin, New York p. 211.
- Dimitrijević, M. S. & Konjević, N.: 1981c, *Astron. Astrophys.*, **102**, 93.
- Dimitrijević, M. S. & Konjević, N.: 1982, *JQSRT*, **27**, 203.
- Dimitrijević, M. S. & Konjević, N.: 1986, *Astron. Astrophys.* **163**, 297.
- Dimitrijević, M. S. & Konjević, N.: 1987, *Astron. Astrophys.* **172**, 345.
- Dimitrijević, M. S. & Kršljanin, V.: 1986, *Astron. Astrophys.* **165**, 269.
- Dimitrijević, M. S. & Peach, G.: 1990, *Astron. Astrophys.* **236**, 261.
- Dimitrijević, M. S., & Popović, M. M.: 1989, *Astron. Astrophys.* **217**, 201.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1984a, *JQSRT*, **31**, 301.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1984b, *Astron. Astrophys.* **136**, 289.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1985a, *JQSRT*, **34**, 149.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1985b, *Phys. Rev. A*, **31**, 316.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1987, *JQSRT*, **38**, 37.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1989, *Bull. Obs. Astron. Belgrade*, **141**, 57.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1990a, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **82**, 519.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1990b, *JQSRT*, **44**, 421.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1990c, *Bull. Obs. Astron. Belgrade*, **142**, 59.

- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1990d, *Bull. Obs. Astron. Belgrade*, **142**, 29.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1991a, *JQSRT*, **40**, 41.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1991b, *Bull. Obs. Astron. Belgrade*, **143**, 29.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1992a, *Bull. Obs. Astron. Belgrade*, **146**, 83.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1992b, *Bull. Obs. Astron. Belgrade*, **146**, 97.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1992c, *Bull. Obs. Astron. Belgrade*, **146**, 73.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1992d, *Bull. Astron. Belgrade*, **145**, 81.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1992e, *JQSRT*, **48**, 397.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1992f, *Bull. Astron. Belgrade*, **145**, 65.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1992g, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **95**, 121.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1992h, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **96**, 613.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1992i, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **95**, 109.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1992j, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **93**, 359.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1993a, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **100**, 593.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1993b, *JQSRT*, **49**, 157.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1993c, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **99**, 585.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1993d, *Bull. Astron. Belgrade*, **147**, 35.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1993e, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **100**, 91.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1993f, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **101**, 587.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1994a, *Physica Scripta*, **49**, 34.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1994b, *Physica Scripta*, **49**, 661.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1994c, *Bull. Astron. Belgrade*, **149**, 31. (150, 121).
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1994d, *Bull. Astron. Belgrade*, **150**, 47.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1994e, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **107**, 349.
- Dimitrijević, M. S. & Sahal-Bréchet, S.: 1994f, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **105**, 245.
- Dimitrijević, M.S., Sahal-Bréchet, S. & Bommier, V.: 1991a, *Astron. Astrophys. Suppl. Series* **89**, 581.
- Dimitrijević, M.S., Sahal-Bréchet, S. & Bommier, V.: 1991b, *Bull. Obs. Astron. Belgrade*, **144**, 65.

- Dimitrijević, M.S., Sahal-Bréchet, S. & Bommier, V.: 1991c, *Astron. Astrophys. Suppl. Series* **89**, 591.
- Dimitrijević, M.S. Sahal-Bréchet, S. & Bommier, V.: 1991d, *Bull. Obs. Astron. Belgrade*, **144**, 81.
- Dimitrijević, M. S. & Truong-Bach: 1986, *Z. Naturforsch.* **41a**, 772.
- Dimitrijević, M. S. & Vujnović, V.: 1990 *Proc. XV SPIG*, Dubrovnik, 241.
- Djenize S., Srećković, A., Platiša, M., Konjević, R., Labat, J., Purić, J.: 1990, *Phys. Rev. A*, **42**, 2379.
- Djurović, S., Konjević, N. & Dimitrijević, M. S.: 1990, *Z. Phys. D*, **16**, 255.
- Feldman, U. & Doschek, G. A.: 1977, *Astrophys. J.* **212**, 913.
- Fleurier, C., Sahal-Bréchet, S. & Chapelle, J.: 1977, *JQSRT*, **17**, 595.
- Griem, H. R.: 1968, *Phys. Rev.*, **165**, 258.
- Griem, H. R.: 1974, *Spectral Line Broadening by Plasmas*, Academic Press, New York & London.
- Hey, J. D. & Bryan, R. J.: 1977, *JQSRT*, **17**, 221.
- Iglesias, C. A., Rogers, F. J. & Wilson, B. G.: 1990, *Astrophys. J.*, **360**, 221.
- Jones, W. W. Benett, S. M. & Griem, H. R.: 1971, *Calculated Electron Impact Broadening Parameters for Isolated Spectral Lines from Singly Charged Ions Lithium through Calcium*, Univ. Maryland, Techn. Rep. No 71-128, College Park, Maryland.
- Konjević, N. & Dimitrijević, M. S.: 1981 in *Spectral Line Shapes I* ed. B.Wende, W.de Gruyter, Berlin, New York p. 211.
- Konjević, N., Dimitrijević, M. S. & Wiese W. L.: 1984a, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, **13**, 619.
- Konjević, N., Dimitrijević, M. S. & Wiese, W. L.: 1984b, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, **13**, 649.
- Konjević, N. & Roberts, D. E.: 1976, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, **5**, 209.
- Konjević, N. & Wiese, W. L.: 1976, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, **5**, 259.
- Konjević, & Wiese, W. L.: 1990, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, **19**, 1307.
- Kršljanin, V. & Dimitrijević, M. S.: 1989a, *Bull. Obs. Astron. Belgrade*, **140**, 7.
- Kršljanin, V. & Dimitrijević, M. S.: 1989b, *Z. Phys. D*, **14**, 273.
- Lakićević, I. S. & Purić, J.: 1983 in *Spectral Line Shapes II*, ed. K. Burnett, W. de Gruyter, Berlin, New York, p 147.
- Lanz, T., Dimitrijević, M.S. & Artru M.-C.: 1988, *Astron. Astrophys.*, **192**, 249.
- Lesage, A., Rathore, B. A., Lakićević, I. S. & Purić, J.: 1983, *Phys. Rev. A*, **28**, 2264.
- Popović, L. Č. Vince, I. Dimitrijević, M. S.: 1994, *Astron. Astrophys. Suppl. Series*, **102**, 17.
- Purić, J., Ćuk, M., Dimitrijević, M. S. & Lesage, A.: 1991, *Astrophys. J.*, **382**, 353.
- Purić, J., Lakićević, I. & Glavonjić, V. : 1980, *Phys. Lett.*, **76a**, 128.
- Sahal-Bréchet, S.: 1969a, *Astron. Astrophys.*, **1**, 91.
- Sahal-Bréchet, S.: 1969b, *Astron. Astrophys.*, **2**, 322.
- Sahal-Bréchet, S. & Segre S.: 1971, in *Highlights of Astronomy 2*, ed. C. de Jager, p. 566.

- Sanchez A., Blaha M. & Jones W. W.: 1973, *Phys.Rev.A* **8**, 774.
Seaton, M. J.: 1987, *J. Phys. B*, **20**, 6431.
Seaton, M. J.: 1988, *J. Phys. B*, **21**, 3033.
Vainshtein, L. A. & Sobel'man, I. I.: 1959, *Opt. Spektrosk.*, **6**, 279.
Vince, I. & Dimitrijević, M. S.: 1985, *Publ. Obs. Astron. Belgrade*, **33**, 15.
Vince, I., Dimitrijević, M. S. & Kršljanin, V.: 1985a in *Spectral Line Shapes III*, ed. F. Rostas, W. de Gruyter, Berlin, New York, p. 649.
Vince, I., Dimitrijević, M. S. & Kršljanin, V.: 1985a in *Progress in Stellar Spectral Line Formation Theory*, eds. J. Beckman & L. Crivelari, D. Reidel, Dordrecht, Boston, Lancaster, p. 373.
Vitel, Y., Skowronek, M., Dimitrijević, M. S. & Popović, M. M.: 1988, *Astron. Astrophys.*, **200**, 285.
Vujnović, V., Vadla, Č., Lokner, V. & Dimitrijević, M. S.: 1983, *Astron. Astrophys.*, **123**, 249.
Wiese, W. L. & Konjević, N.: 1982, *JQSRT* **28**, 185.

ON SPECTRAL LINE STARK BROADENING PARAMETERS
NEEDED FOR STELLAR AND LABORATORY PLASMA
INVESTIGATIONS

MILAN S. DIMITRIJEVIĆ

Astronomical Observatory, Volgina 7, 11050 Belgrade

Abstract. Stellar spectroscopy depends on very extensive list of elements and line transitions with their atomic and line broadening parameters. It is difficult to state in general terms which are the relevant transitions since the atmospheric composition of a star is not known a priori, and many interesting groups of stars exist with very peculiar abundances as compared to the Sun.

The interest for a very extensive list of line broadening data is additionally stimulated by spectroscopy from space. In such a manner an extensive amount of spectroscopic information over large spectral regions of all kind of celestial objects has been and will be collected, stimulating the spectral-line-shape research.

Here is presented a review of semiclassical calculations of Stark broadening parameters and comparison of different semiclassical procedures is discussed, as well as the agreement with critically selected experimental data and more sophisticated, close coupling calculations. Approximate methods for the calculation of Stark broadening parameters, usefull especially in such astrophysical problems where large scale calculations and analyses must be performed and where a good average accuracy is expected, have also been discussed.

The begining and development of line shapes investigations in Yugoslavia has been described as well.