

**Proiect IDEI, ID\_960 :**

**Opacitatea plasmei din proeminenta solara:**

**Modele atomice si Moleculare**

*Sinteza Lucrarii*

## I. Introducere

Proiectul *Opacitatea Plasmei din proeminenta solara: Modele atomice si Moleculare*, care face obiectul Contractului de finantare 558/2009 si-a propus elaborarea de modele atomice si moleculare in scopul descrierii efectelor de opacitate in plasma din proeminenta solara. Lucrarea si-a propus pentru anul 2009 atingerea a doua obiective majore:

Obiectivul 1. Modelarea efectelor de opacitate in plasma din proeminenta solara (Etapa intermediara).

Obiectivul 2. Obtinerea de date atomice de structura pentru ionii atomici complecsi pe baza celor mai performante metode numerice (Etapa finala).

Proeminentele solare sunt structuri stabile, reci ( $\sim 0.6\text{eV}$ ) si dense ( $\sim 10^{17}\text{ m}^{-3}$ ) in atmosfera solara. La inceput, proeminentele emit prin imprastiere la rezonanta in liniile hidrogenului, in particular liniile seriei Balmer si absorb puternic in continuum Lyman. Din cauza densitatilor mari si a dimensiunilor spatiale, ne asteptam ca plasma sa fie optic groasa in liniile Lyman si continuum si in liniile joase Balmer. Studiul plasmei din proeminenta solara este efectuat pe baza similitudinilor existente in plasmе de laborator: plasma din instalatiile de fuziune nucleara (Tokamak) in zona de divertor si plasma laser. Similitudinea proeminentelor cu plasma din divertor in Tokamak sugereaza ca se poate investiga spectrul seriilor inalte atat in situatia unei plasmе groase cat si in situatia unei plasmе optic subtire. Parametrii caracteristici de densitate electronica si temperatura acopera aceleasi domenii iar modalitatea de investigare teoretica este bazata pe calculul datelor atomice de structura ale speciilor atomice abundente, obtinerea prin modelare colizional-radiativa a principalelor intensitati de linie si determinarea prin modele adecvate a efectului pe care grosimea plasmei o are asupra intensitatii de linie.

Studiul plasmei din proeminenta solara se bazeaza pe observatiile obtinute din masuratori satelitare. Unul din satelitulii utilizati in acest scop este SOHO. SOHO, Observatorul Solar si Heliosferic este un proiect international lansat in 1995 de catre ESA si NASA in scopul de a studia Soarele. La bordul acestei misiuni

se afla 12 instrumente ce inregistreaza informatii vitale despre structura si dinamica interiorului solar (date obtinute prin studierea undelor seismice produse in suprafata turbulenta a Soarelui), despre existenta coroanei solare si a temperaturilor sale extreme, precum si despre originea vanturilor solare si maniera in care acestea sunt accelerate. De asemenea, SOHO ofera cele mai detaliate si precise masuratori de structura a temperaturii, a rotatiei interioare, si a fluxurilor gazoase in interiorul solar. Misiunea monitorizeaza radianta solara totala, precum si variatiile in fluxul ultra-violet extrem. De interes pentru tema de cercetare abordata in proiect sunt informatiile furnizate de instrumentele CDS (Coronal Diagnostic Spectrometer - Spectrometrul pentru Diagnosticarea Coronei) si SUMER (Solar Ultraviolet Measurements of Emitted Radiation- Masuratori asupra Radiatiei Solare Emise in domeniul Ultraviolet).

Pe langa observatia experimentală un efort deosebit este concentrat asupra interpretării și utilizării datelor observate. Unul dintre pachetele de programe de analiza spectrala instalat pe SOHO este și pachetul de programe ADAS (Atomic Data Analysis System). El este rezultatul unui proiect international la care echipa de cercetare implicata in prezentul proiect isi aduce o contributie deosebita. ADAS este constituit dintr-un numar mare de module fiecare din acestea avand rol in studiul complex al plasmii dupa cum urmeaza: (a) stocare in baza de date atomice specifice fiecarui ion atomic a energiei de stare (sau de nivel), tarii de oscilator, probabilitatea de tranzitie radiativa, ca suport pentru modulele de analiza spectroscopica;(b)determinarea coeficientilor de rata ai proceselor elementare (excitari, ionizari, recombinații) din plasma și a sectiunilor eficace de proces pentru diferite domenii de temperatura și densitate; (c) modelarea colizional-radiativa a densitatii de populatie pe nivele excitate a ionilor de lucru și determinarea teoretica a intensitatii liniilor de emisie pe tranzitii optice apartinand tuturor ionilor stocati in baza de date; (d) compararea, fitarea spectrelor teoretice cu cele observate din masuratori experimentale; (e) studii de grosime a plasmii (opacitate); (f) modelarea dinamicii plasmii.

In acest context se integreaza activitatile desfasurate pe parcursul primului an al proiectului. Ele si-au propus:

- 1) Studiul efectelor de opacitate asupra liniilor spectrale de emisie; Modelul factorilor de scapare;
- 2) Identificarea speciilor abundente in plasma din proeminenta solara și determinarea de date atomice pentru ioni cu patura d incompleta (Fe-peak elements);
- 3) Determinarea de date atomice pentru ioni de W, Mo și Ni;
- 4) Implementarea unei baze de date atomice.

Studiul efectuat a avut ca sursa de date experimentale observatiile puse la dispozitie de Rutherford Appleton Laboratory in baza de date <http://www.ukssdc.ac.uk/cgi-bin/solar/soho>. Spectrele experimentale sunt colectate in fisiere de date continand intensitati spectrale scalate pe domenii de lungimi de unda si unghi de orientare al instrumentului (CDS). Identificarea speciilor atomice este laborioasa si presupune fitarea spectrului observat cu spectrele teoretice. In construirea spectrelor teoretice s-a folosit pachetul de programe ADAS iar datele atomice necesare au fost calculate cu metoda matricii R. Modelarea grosimii plasmiei si a efectului opacitatii asupra intensitatii de linie a fost facuta cu ajutorul modelului factorilor de scapare.

Urmatoarele specii atomice au fost studiate:

- 1) Ionii de Co IV si Ni V care au patura d incompleta, configuratie  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6$  ( $^5D^e$ ). Acesti ioni (din grupa fierului- cel mai abundent element in proeminenta solara) au o structura atomica complicata, electronii de pe patura d contribuind prin excitare la o structura ampla de tranzitii de rezonanta extrem de dificil de manipulat. Am calculat date atomice de structura cu ajutorul codului RMTRIX II atat in cuplaj *LS* cat si in cuplaj *JJ* (Breit-Pauli R-Matrix Method). Aceste date au fost utilizate pentru obtinerea sectiunilor eficace de ciocnire si a tariilor de ciocnire si a fazelor proprii utilizand codul FARM;
- 2) Ionii de Al  $^{10+}$  fac parte din structura izoelectronica a litiului. Datele atomice au fost obtinute cu ajutorul metodei RMTRIX II si FARM.;
- 3) Ionii de W  $^{18+}$ , W  $^{36+}$ , W  $^{54+}$ , Mo  $^{19+}$  au fost studiatii cu ajutorul codului de structura Cowan.

In toate aceste cazuri s-a determinat energia de nivel, probabilitatea de tranzitie radiativa si sectiunile eficace. Folosind pachetul de programe ADAS au fost descrise densitatile de populatie pe nivele excitate si au fost determinate intensitatile de linii pentru domeniul de temperatura si densitate electronica propriu proeminentelor solare; Aceste calcule au avut la baza modelul colizional radiativ. Pentru studiul efectelor de opacitate s-a adoptat modelul factorilor de scapare.

## II. Modelarea grosimii plasmiei. Modelul factorilor de scapare.

Studiul plasmelor optic groase implica rezolvarea de ecuatii neliniare cuplate, ale transferului radiativ si ale echilibrului termodinamic. Emisia provenita de la o plasma optic groasa poate fi modelata folosind tehnici ale transferului radiativ (Carlsson 1986; Olson et al. 1986), simulari de tip Monte Carlo (Zheng et al. 1998; Code & Whitney 1995; Guttebroze et al. 1986; Wood & Raymond 2000) sau metoda factorilor

de scapare ai probabilitatilor de tranzitie radiativa (Holstein 1947; McWhirter 1965; Irons 1979; Hummer & Rybicki 1982; Kastner & Kastner 1990). Metodele bazate pe probabilitatea de scapare utilizeaza aproximatii ce simplifica termenul ce apartine functiei sursa in ecuatiile transferului radiativ si ale echilibrului termodinamic. Factorii de scapare ai probabilitatii de tranzitie radiativa asociata unei linii spectrale constituie metode de diagnostica in vederea obtinerii parametrilor plasmei direct din observatii si prezinta avantajul de a putea fi utilizati in modele ale plasmei de complexitate geometrica arbitrara.

Pachetul de programe *ADAS (Atomic Data and Analysis Structure)* calculeaza, pe baza unor ipoteze simplificatoare, factorii de scapare pentru emisia unei linii spectrale in lungul unei linii de vizualizare date, precum si factorii de scapare ai densitatii de populatii atomice si ionice aflate in stari excitate (populatii determinate folosind Modelul colisional-radiativ). Codul de calcul pune la dispozitie mai multe profile de linie spectrala, profile de emisie spatiaza si geometrii de plasma. Astfel, pot fi folosite profilele Doppler, Lorenz si Holtsmark, precum si diferite convolutii si superpozitii ale acestora pentru explicarea mecanismelor de ingrosare a liniilor spectrale si a aparitiei particulelor cu temperaturi diferite. Profilele de emisie spatiaza a radiatiei sunt approximate cu ajutorul unei fitari polinomiale iar codul poate fi rulat presupunand fie o emisie constanta, fie o descrestere liniara sau parabolica din centrul plasmei catre frontiera acesteia. Factorul de scapare al densitatii de populatie poate fi calculat in centrul unei sfere de plasma, in planul central al unui disc sau pe axa unui cilindru. Subrutina ADAS214 include astfel evaluarea populatiilor modificate, precum si a emisiei in vederea determinarii liniilor sensibile la absorbtie. Opacitatea afecteaza radianta emisa de liniile spectrale dar, de asemenea, schimba populatiile starilor excitate si coeficientii efectivi de ionizare colisional-radiativa si de recombinare colisional radiativa.

Aproximatia Factorilor de Scapare tine seama de reabsorbtiia de radiatie in liniile spectrale observate experimental. Radianta spectrala  $L_\lambda(\lambda)$  in lungul liniei de vizualizare  $l$  este data de catre ecuatia transferului radiativ:

$$\frac{dL_\lambda}{dl} = \mathcal{E}_\lambda - \alpha' L_\lambda \quad (1)$$

unde  $\mathcal{E}_\lambda$  este coeficientul de emisie spectrala iar  $\alpha'$  este coeficientul efectiv de absorptie, care se obtine prin extragerea emisiei stimulate din absorptia directa (coeficientul de absorptie  $\alpha$ ). Daca raportul dintre populatiile nivelului superior si inferior pot fi descrise de care o lege de tip Boltzmann, in functie de temperatura  $T$ , atunci  $\alpha'$  este dat de ecuatia (2):

$$\alpha' = \alpha [1 - \exp(-\frac{h\nu}{kT})] \quad (2)$$

In majoritatea aplicatiilor practice, corectia datorata emisiei stimulate este suficient de mica, diminuandu-se semnificativ datorita sub-popularii nivelelor excitate, astfel incat  $\alpha' \approx \alpha$ .

Coeficientul de emisie spectrala  $\mathcal{E}_\lambda$  pentru o linie spectrala poate fi obtinut din coeficientul de emisie al liniei  $\mathcal{E}_L$  iar profilul liniei spectrale  $P_\lambda(\Delta\lambda)$  se calculeaza pe baza mecanismelor relevante de ingrosare a liniei spectrale in plasma.

$$\mathcal{E}_\lambda(\lambda) = \mathcal{E}_L P_\lambda(\lambda) \quad (3)$$

$$\mathcal{E}_\lambda(\lambda) = \frac{n_k A_{k \rightarrow j} h\nu}{4\pi} P_\lambda(\Delta\lambda) \quad (4)$$

$n_k$  reprezinta densitatea de purtatori aflati pe nivelul superior  $k$ ,  $A_{k \rightarrow j}$  este probabilitatea de tranzitie radiativa din starea  $k$  in starea  $j$ .  $\Delta\lambda$  reprezinta distanta fata de centrul liniei spectrale.

In ipoteza unei extinderi a plasmei din coordonata spatiala  $0$  in punctul de coordonata  $b$ , radianta spectrala emisa in punctul  $b$ , prin Aproximatia Factorului de Scapare este data de ecuatia (5):

$$L_\lambda(b) = \int_0^b \mathcal{E}_\lambda(l) \exp\left[-\int_l^b \alpha(l') dl'\right] dl + L_\lambda(0) \exp\left[-\int_0^b \alpha(l) dl\right] \quad (5)$$

Presupunand ca  $\alpha = \bar{\alpha}$  si ca este independent de  $l$ , se accepta ca absorptia este uniforma in plasma. Aceasta presupunere este adevarata in cazul atomilor neutrii aflati in plasmе de densitate mica, fiind totodata o buna aproximare a conditiilor de formare a neutriilor in numeroase plasmе astrofizice. Pentru  $L(0) = 0$ , ecuatia (5) devine:

$$L_\lambda(b) = \int_0^b \mathcal{E}_\lambda(l) \exp[(l-b)\bar{\alpha}] dl \quad (6)$$

Considerandu-se un profil de linie spectrala constant spatial  $P_\lambda$ , atat pentru linia de emisie cat si pentru cea de absorptie, coeficientul de absorptie este dat de catre relatia Ladenburg:

$$\alpha(\Delta\lambda) = \alpha_t P_\lambda(\Delta\lambda) \quad (7)$$

$$\alpha(\Delta\lambda) = n_j \frac{g_k}{g_j} \cdot \frac{\lambda^4}{c} \cdot \frac{A_{k \rightarrow j}}{8\pi} \cdot P(\Delta\lambda) \quad (8)$$

unde  $g$  reprezinta ponderile statistice iar  $A_{k \rightarrow j}$  coeficientul lui Einstein.  $\alpha_t$  este coeficientul de absorptie integrat dupa lungimea de unda (nm/cm). Coeficientul de absorptie in centrul liniei,  $\alpha(0)$ , are expresia  $\alpha(0) = \alpha_t P_\lambda(0)$ .

Factorul de scapare pentru emisia liniei integrata in directia  $l$  poate fi definit prin raportul dintre integrala spectrala a profilul liniei de auto-absorbție și radianta liniei spectrale in conditiile unei adancimi optice mici. (Considerand  $b$  ca fiind distanta dintre marginea plasmiei și centrul acesteia, capetele de integrare vor fi între  $0$  și  $2b$ .)

$$\Theta_L = \frac{\int_0^{2b} \int_{linie} \varepsilon_\lambda(l, \lambda) \exp[(l - 2b) \bar{\alpha}(\lambda)] d\lambda dl}{\int_0^{2b} \varepsilon_L(l) dl} \quad (9)$$

$$\Theta_L = \frac{\int_0^{2b} \varepsilon_L(l) \int_{linie} P(\Delta\lambda) \exp[(l - 2b) \bar{\alpha}_i P_\lambda(\Delta\lambda)] d\Delta\lambda dl}{\int_0^{2b} \varepsilon_L(l) dl} \quad (10)$$

Factorul de scapare al probabilitatii de tranzitie radiativa asociata unei linii spectrale,  $\Theta_L$ , descrie radianta emisa in lungul unei linii de vizualizare conform cerintelor pentru masuratori spectroscopice. Factorul de scapare depinde de profilele spatiale pe coordonata spatiala  $l$  și nu depinde de restul geometriei plasmiei. Pentru a obtine fluxul total de scapare, este necesara integrarea ecuatiei dupa unghiul solid, integrare ce face necesara cunoasterea geometriei plasmiei.

Pentru a calcula modificarea densitatilor populatiilor aflate in stare excitata, modificare survenita ca urmare a absorptiei de radiatie, absorptia este tratata ca emisie negativa iar rata de absorptie este luata in considerare prin scaderea sa din rata de emisie spontana, adica prin reducerea probabilitatii de tranzitie in calculele de model colisional-radiativ. Se introduce o valoare efectiva a coeficientului lui Einstein  $A_{eff} = \Theta_P A$  iar  $\Theta_P$  se determina ca fiind diferenta relativa dintre numarul de fotoni emisi și numarul de fotoni absorbiti.

Numarul de procese de absorptie in plasma, in unitatea de volum și in unitatea de timp, trebuie sa fie evaluat intr-un punct relevant in plasma  $x$ , din radianta spectrala  $L_\lambda(\lambda)$  inmultita cu coeficientul de absorptie efectiva  $\alpha(x, \lambda)$  și integrata dupa lungimea de unda  $\lambda$  și unghiul solid  $\Omega$ . In cazul emisei, dubla integrare duce la  $4\pi\varepsilon_L(x)$ .

$$\Theta_P = 1 - \frac{\int \int \alpha(x, \lambda) L_\lambda(x, \lambda, \Omega) d\lambda d\Omega}{4\pi\varepsilon_L(x)} \quad (11)$$

Folosind expresia radiantei spectrale din ecuatia (6), se poate obtine modificarea densitatii de populatii aflate pe stari excitate, intre coordonatele  $l=b$  (centrul plasmei) si  $l=0$  (la marginea acesteia). Se considera ca la marginea plasmei radianta spectrala  $L_\lambda(0) = 0$ .

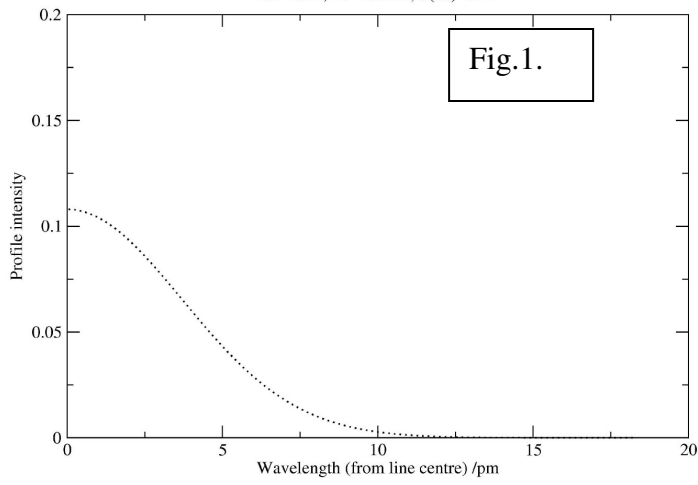
$$\Theta_p = 1 - \frac{\int_{\Omega_{linie}} \int_0^b \alpha(b, \lambda) \varepsilon_\lambda(l, \lambda) [\exp(l-b) \bar{\alpha}(l, \lambda)] dl d\Omega}{4\pi \varepsilon_L(b)} \quad (12)$$

O concluzie importanta este aceea ca , pentru un profil de linie spectrala dat,  $\Theta_L$  si  $\Theta_p$  depind doar de produsul dintre coeficientul de absorbtie in centrul liniei spectrale  $\bar{\alpha}(0)$  si lungimea  $b$ , acest produs reprezentand adancimea optica. Factorii de scapare obtinuti astfel sunt introdusi mai departe in rutinele de calcul ale ADAS. Pornind de la energia de nivel, sunt calculate saltul in lungimea de unda si probabilitatea de tranzitie radiativa  $A$ , precum si coeficientul de absorbtie integrat pentru densitatea totala a plasmei. Folosind distributia Boltzmann a populatiilor nivelelor si pentru o gama de temperatura data, ADAS 205 si ADAS 208 calculeaza populatiile de stare efectuand un bilant statistic. Modificarea acestor populatii datorata grosimii optice a plasmei se observa prin valorile de iesire ale probabilitatilor de tranzitie radiativa, valori care vor diferi fata de cele obtinute in cazul unei plasme optic subtire. Modelul colisional-radiativ include astfel efectul grosimii optice a plasmei in modificarea populatiilor precum si schimbarea cauzata in intensitatea emergenta de emisie a liniilor spectrale masurate. Efectele de opacitate se manifesta si sunt descrise atat pentru starile legate cat si pentru cele de continuu.

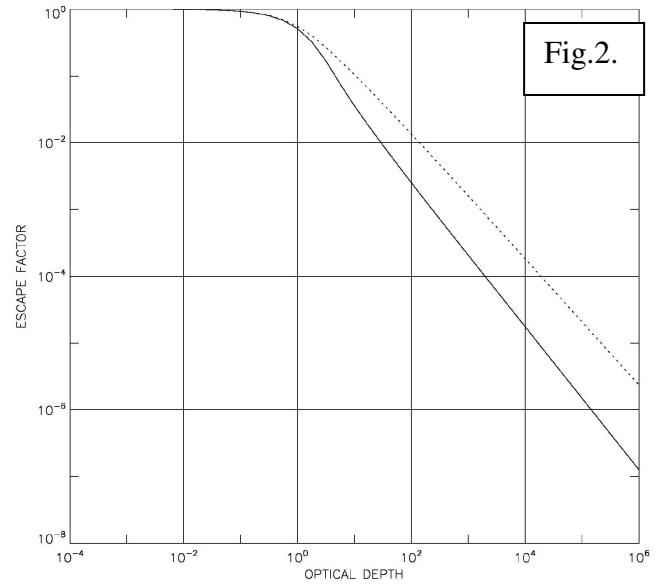
#### 4. Rezultate Selectate

1. **Fig. 1.** Profilul liniei de emisie in X pe tranzitia  $1s^2 2p_{3/2} - 1s^2 3d_{5/2}$ ,  $\lambda = 134 \text{ \AA}$ , pentru domeniul de densitate si temperatura propriu proeminentei solare. Datele atomice au fost calculate cu metoda relativista Breit-Pauli R-matrix Method (BPRM).
2. **Fig.2.** Grosimea optica a plasmei (factorul de scapare) calculat pentru linia  $\lambda = 134 \text{ \AA}$ , cu ajutorul pachetului de programe ADAS.
3. **Fig. 3.** Grosimea plasmei calculata pentru linia de emisie in X,  $\lambda = 104 \text{ \AA}$ , pe tranzitia  $1s^2 3d_{3/2} - 1s^2 4f_{5/2}$  in Li-like Al (calcul BPRM).
4. **Fig. 4.** Taria totala de ciocnire calculata pentru linia de  $\lambda = 104 \text{ \AA}$  folosind BPRM si codul FARM.
5. **Tabel 1.** Date atomice (selectie) pentru ionii de Co IV calculate si compararea cu datele experimentale .
6. **Tabel 2.** Taria efectiva de oscillator,  $f_{eff}(n_l)$ , mediata peste continuum pentru ionii de Be-like Ar si Ba-like W, in aproximatie dipolara. Numarul cuantic de continuu  $n_s$ , acopera domeniul de la  $n_1$  la 15.

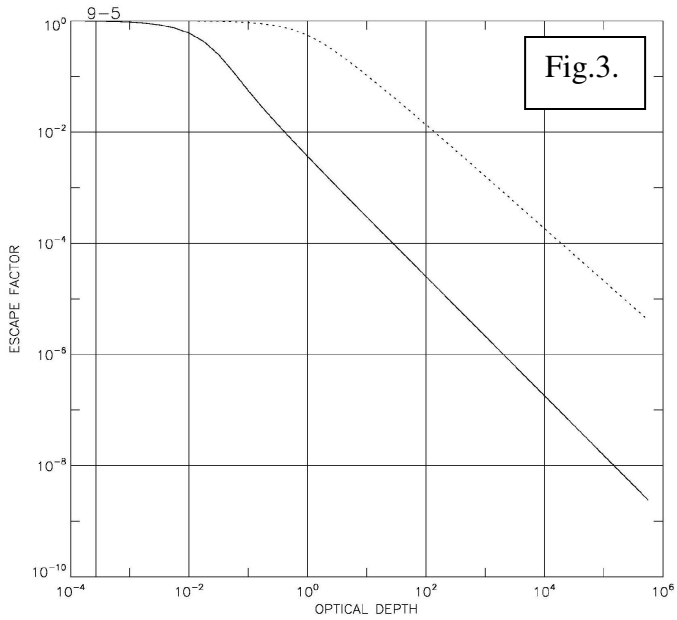
Li-like Al, 2p(3/2)-3d(5/2)  
 Ne=1e18, Te=17.5eV, S(au)=0.42



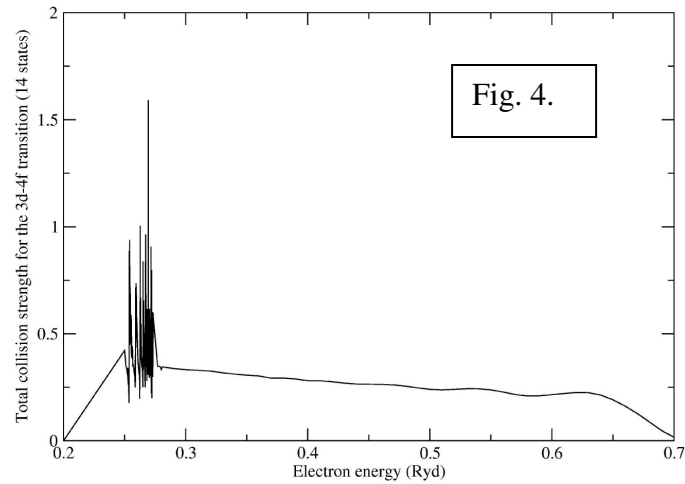
TITLE : XRAY 2P(3/2)-3D(5/2) AL TARGET  
 ADAS : ADAS RELEASE: V3.0 PROGRAM: ADAS214 V1.7 DATE: 04/12/09 TIME: 12:45  
 FILE : /home/adas/adas/ad104/copmm#13/is#al10.dct  
 KEY : (SOLID LINE - POPULATION ESC FACT) (DOTTED LINE - EMERGENT FLUX ESC FACT)



TITLE : XRAY 3D-4F AL TARGET  
 ADAS : ADAS RELEASE: ADAS98 V2.13 PROGRAM: ADAS214 V1.7 DATE: 10/08/09 TIME: 14:36  
 FILE : /home/adas/adas/ad104/copmm#13/is#al10.dct  
 KEY : (SOLID LINE - POPULATION ESC FACT) (DOTTED LINE - EMERGENT FLUX ESC FACT)



2P - 2D symmetry





**Tabel 1.** Energii de nivel calculate (Calc.) pentru ionii de Co IV ( patura d incompleta). Selectie de valori din total de 136 nivele de energie calculate. Compararea cu energiile observate (<http://www.nist.gov>) este deasemenea prezentata.

<i>Index</i>	<i>Term</i>	Calc.	Obs.	Adjust.
1	<sup>5</sup> D <sup>e</sup>	0.000000	0.000000	0.000000
2	<sup>3</sup> P <sup>e</sup>	0.232012	0.211109	-0.020903
3	<sup>3</sup> H <sup>e</sup>	0.254847	0.212702	-0.042144
4	<sup>3</sup> F <sup>e</sup>	0.258573	0.228077	-0.030496
5	<sup>3</sup> G <sup>e</sup>	0.302809	0.262573	-0.040236
6	<sup>1</sup> I <sup>e</sup>	0.381807	0.321910	-0.059897
7	<sup>3</sup> D <sup>e</sup>	0.369626	0.326544	-0.043082
8	<sup>1</sup> G <sup>e</sup>	0.359494	0.328659	-0.030835
9	<sup>1</sup> S <sup>e</sup>	0.384711	0.372023	-0.012688
10	<sup>1</sup> D <sup>e</sup>	0.439201	0.380223	-0.058978
11	<sup>1</sup> F <sup>e</sup>	0.526638	0.455752	-0.070887
12	<sup>3</sup> P <sup>e</sup>	0.608396	0.536653	-0.071743
13	<sup>3</sup> F <sup>e</sup>	0.609042	0.539664	-0.069378
14	<sup>1</sup> G <sup>e</sup>	0.701205	0.613190	-0.088015
15	<sup>7</sup> S <sup>e</sup>	0.876278	0.819568	-0.056709
16	<sup>1</sup> D <sup>e</sup>	0.932537	0.825619	-0.106918
17	<sup>5</sup> S <sup>e</sup>	1.032664	0.93092	-0.101744
18	<sup>5</sup> G <sup>e</sup>	1.268811	1.171655	-0.097156
19	<sup>5</sup> P <sup>e</sup>	1.281603	1.204602	-0.077001
20	<sup>5</sup> D <sup>e</sup>	1.337910	1.238279	-0.099631
21	<sup>3</sup> G <sup>e</sup>	1.373155	1.245645	-0.127510
22	<sup>3</sup> P <sup>e</sup>	1.385946	1.278744	-0.107202
23	<sup>3</sup> D <sup>e</sup>	1.442227	1.312401	-0.129825
24	<sup>3</sup> I <sup>e</sup>	1.465373	1.343991	-0.121381
25	<sup>3</sup> D <sup>e</sup>	1.473921	1.370388	-0.103533
26	<sup>1</sup> I <sup>e</sup>	1.517558	1.380534	-0.137024
27	<sup>5</sup> F <sup>e</sup>	1.482440	1.381337	-0.101104
28	<sup>3</sup> F <sup>e</sup>	1.487254	1.393864	-0.093390
20	<sup>7</sup> P <sup>0</sup>	1.469354	1.420613	-0.048741
30	<sup>1</sup> D <sup>e</sup>	1.526041	1.419555	-0.106486

**Table 3.** Taria efectiva de oscillator,  $f_{eff}(n_1)$ , mediata peste continuum pentru ionii de Be-like Ar si Ba-like W, in aproximatie dipolara. Numarul cuantic de continuum  $n_s$ , acopera domeniul de la  $n_1$  la 15.

<i>ion</i>	<i>transition</i>	$f_{eff}(n_1)$	
<b>W<sup>18+</sup></b>	<b>[Xe]</b> $6p_{3/2}n_1h \rightarrow$ <b>[Xe]</b> $6s_{1/2}n_s g$	$k=7/2$	$k=9/2$
	$n_1 = 6$	1.028552	0.411421
	7	1.296603	0.518641
	8	0.292346	0.116938
<b>Ar<sup>14+</sup></b>	<b>[He]</b> $2p_{3/2}n_1d \rightarrow$ <b>[He]</b> $2s_{1/2}n_s p$	$k=1/2$	$k=3/2$
	$n_1 = 3$	0.126883	0.063441
	4	0.088255	0.044127

## 5. Concluzii

In cadrul lucrarii au fost dezvoltate modele atomice care sa descrie starile tinteii in procese de imprastiere electron ion si modele dinamice pentru descrierea opacitatii plasmei in proeminente solare. Calculele numerice pentru date atomice s-au bazat pe metoda relativista a matricii R- de ciocnire si au folosit codurile Breit-Pauli R-Matrix, FARM si pachetul de programe ADAS pentru investigarea spectroscopica a plasmei in diferite conditii de temperatura si densitate.

Rezultatele au fost integrate intr-o baza de date implementata la nivel departamental si institutional.

Parte din rezultate au fost publicate intr-o revista ISI cu factor de impact 4,42 in 2008 (*Laser and Particle Beams*). O alta parte a rezultatelor obtinute sunt in faza de redactare in vederea transmiterii lor spre publicare.

Director Proiect  
Dr. CS I. Viorica Stancalie

