

Fe^{8+} jonizacija elektronais

Electron impact ionization of Fe^{8+}

Aušra Kynienė, Saulius Pakalka, Valdas Jonauskas, Šarūnas Masys
Vilniaus universitetas, Teorinės fizikos ir astronomijos institutas, Saulėtekio al. 3, LT-10222 Vilnius
ausra.kyniene@tfai.vu.lt

Elektronų smūgiais jonizuota plazma stebima žvaigždėse, sprogsių supernovų vietoje susidariusiuose ūkuose, galaktikose ir jų spiečiuose. Ši plazma taip pat susidaro ir milžiniškuose eksperimentiniuose termobranduoliniuose reaktoriuose. Modeliuojant ir interpretuojant tokią plazmą reikia žinoti tiksliai įvairių jonų ir atomų nuo vandenilio iki cinko atomines charakteristikas: bangos ilgus ir šuolių tikimybes, energijos lygmenis, sužadavimo ir jonizacijos elektronais skerspjūvius bei spartos koeficientus, rekombinacijos skerspjūvius bei spartos koeficientus [1].

Fe^{8+} jonas ypatingai svarbus Saulės ir žvaigždžių fizikai. Didelis šio jono kiekis yra stebimas prie 7×10^5 K elektronų energijos. Šio jono emisijos spektrai registruojami santykinai šaltame Saulės vainike, jos fiksuotos ir EUV spektrometru esančiu *Hinode* palydove [2]. Geležies jonų atominiai duomenys sudaro galimybes nustatyti stebimos plazmos temperatūrą ir tankį.

Iki šiol, geležies jono jonizacijos elektronais skerspjūvių tikslaus eksperimentinio tyrimo nebuvo atlikta. Tai susiję su Fe^{8+} metastabilių būsenų gausa eksperimente. Sužadinto jono $3p^5 3d^3 F_4$ lygmens apytikslė gyvavimo trukmė yra apie 970 s. TSR sunkiųjų jonų žiede, kuris yra Max-Planck institute Vokietijoje, yra įleidžiami 82,1 MeV $^{56}Fe^{8+}$ jonai. Žiede, šie jonai iki eksperimento būna apie 15 s ir per šį laiką suyra didžioji dalis sužadintose būsenose esančių jonų, išskyrus metastabilioje būsenoje esančius 3F_4 jonus. Eksperimento metu yra registruoti pagrindinės ir sužadintos būsenų jonizacijos elektronais skerspjūviai [2].

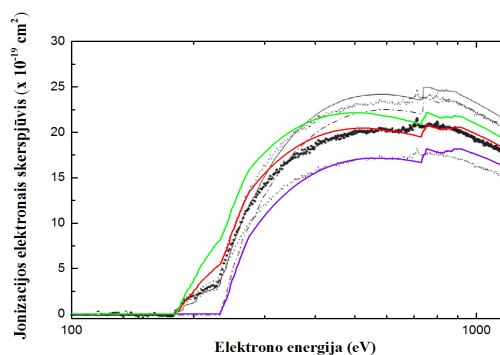
Išmatuoti skerspjūviai buvo palyginti su prieš tai atliktais skaičiavimais, gautais suvidurkintų konfigūracijų, iškraipytųjų bangų artinyje (CADW) [3], ir nustatyta, kad eksperimento metu apie 30 - 42% jonų yra metastabilioje sužadintoje būsenoje. Deja šiuose skaičiavimuose nebuvo atsižvelgta į radiacinį gesinimą. Taip pat reikalingi tikslesni tyrimai, nagrinėjant šuolius tarp lygmenų.

Šiame darbe buvo tirti jonizacijos elektronais skerspjūviai Fe^{8+} jonui. Buvo atliktas tiesioginės jonizacijos ir sužadavimo-autojonizacijos procesų tyrimas pagrindinės $3s^2 3p^6$ konfigūracijos ir pirmos sužadintos $3s^2 3p^5 3d$ konfigūracijos lygmenims. Įvertinti nagrinėtų sužadintų konfigūracijų lygmenų suirimai vykstant elektriniams dipoliniais šuoliams. Skaičiuojant sužadavimo-autojonizacijos skerspjūvius, buvo atsižvelgta į vienelektronius sužadinius iš $2s$,

$2p$, $3s$, $3p$ sluoksnių į aukštesnius sluoksnius iki $n \leq 20$.

Energijos lygmenys, elektrinių dipolinių šuolių ir Ožė šuolių tikimybės, kaip ir sužadavimo bei jonizacijos elektronais skerspjūviai buvo apskaičiuoti FAC paketu, kuriame realizuotas Dirako-Foko-Sleiterio artinys [4]. Tiesioginės jonizacijos bei sužadavimo elektronais skerspjūviai buvo tirti iškraipytųjų bangų artinyje. Energijos lygmenys, sužadavimai ir tiesioginė jonizacija elektronais, radiaciniai dipoliniai ir Ožė šuoliai buvo skaičiuoti konfigūracijoms ir lygmenims.

Nustatyta, kad metastabilių būsenų užpilda eksperimento metu buvo lygi $\approx 20\%$. 1 pav. pateiktos jonizacijos elektronais skerspjūvių eksperimentinės vertės, kurios palygintos su mūsų gautais skerspjūviais. Eksperimento metu modeliavimui naudoti CADW tiesioginės jonizacijos skerspjūviai yra didesni nei suskaičiuoti Dirako-Foko-Sleiterio artinyje jonizacijos skerspjūviai bei modeliuojant užpildas [2] nebuvo atsižvelgta į radiacinį suirimą, dėl kurio netiesioginės jonizacijos elektronais skerspjūvių vetės taip pat sumažėja.



1 pav. Metastabilių būsenų įvertinimo modeliavimas. Ryškūs juodi taškai - eksperimentas [2], blankūs juodi taškeliai - eksperimento paklaidos. CADW duomenys [2]: ištisinė juoda linija - 30% metastabilios būsenos, punktyrinė - 100%. Mūsų skaičiavimai: mėlyna - 0% , raudona - 20% , žalia - 30% metastabilios būsenos.

Reikšminiai žodžiai: jonizacijos skerspjūviai, geležis, jonizacija, sužadavimai

Literatūra

- [1] M. Hahn, J. Phys. Conf. S. **488**, 012050 (2014).
- [2] M. Hahn ir kiti, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **49**, 084006 (2016).
- [3] M.S. Pindzola ir kiti, Nucl. Fusion Spec. Suppl. **27**, 21 (1987).
- [4] M. F. Gu, Can. J. Phys. **86**, 675 (2008).