

არადრეკადი პროცესების მექანიზმის კომპლექსური შესწავლა $K^+ - He$ დაჯახებებში

ლომსაძე რ.ა., გოჩიტაშვილი მ.რ., კვიციანიძე რ.ვ., მოსულიშვილი ნ.ო.,
სახელაშვილი გ.ა.

ოსუ, ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი, ატომური ფიზიკის ლაბორატორია.
e-mail: lomsadze86@hotmail.com

ანოტაცია

ნაშრომში მოყვანილია K^+ იონების He-ის ატომებთან დაჯახების დროს რეალიზებული - ელექტრონის ჩაჭერის (გადამუხტვა), წარმოქმნილი თავისუფალი ელექტრონების (იონიზაცია, ელექტრონის წაგლეჯვა), დამჯახებელი და სამიზნე ნაწილაკების აგზნების პროცესების კვეთის გაზომვის შედეგები და ენერგეტიკული დანაკარგების სპექტრები 0,7-10კეე ენერჯის ინტერვალში. კვლევა წარმოებდა კომპლექსურად: განივი ელექტრული ველის მეთოდით, დამჯახებელი ორმუხტიანი იონის რეგისტრაციის, ოპტიკური და დაჯახებითი სპექტროსკოპიის მეთოდებით. მოცემულ კვლევებში რეალიზებული პროცესების მექანიზმის დასადგენად გამოყენებულია ჩვენს მიერ მიღებული შედეგები და ურთიერთქმედი სისტემის კვაზიმოლეკულური დიაბატური თერმების სქემატური კორელაციური დიაგრამები.

Pacs: 34.50.Fa

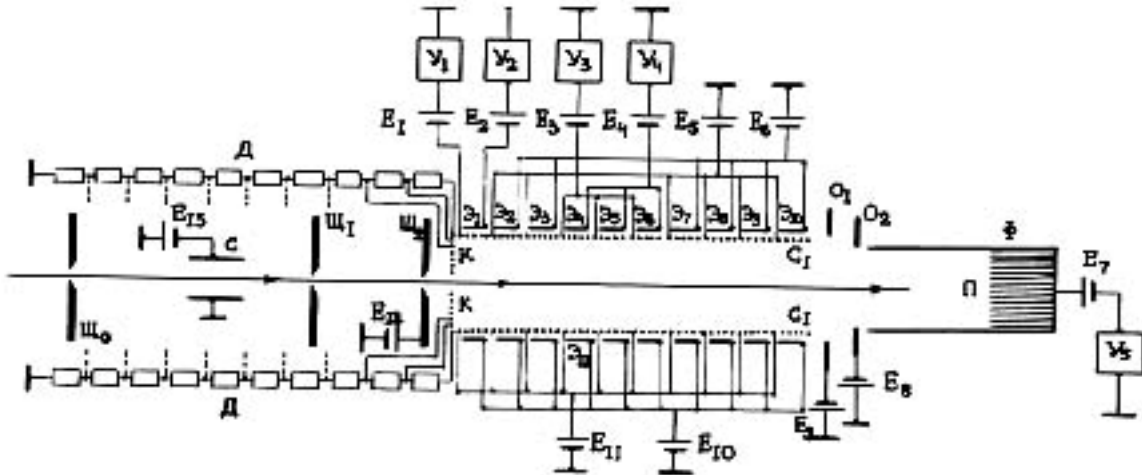
K^+ იონების He ატომებთან დაჯახების დროს რეალიზებული ძირითადი არადრეკადი პროცესები შეიძლება წარმოდგენილი იქნას შემდეგ რეაქციათა მეშვეობით:

- $K^+(3p^6) + He(1s^2) - K^+(3p^6) + He^+(1s) + e$ (იონიზაცია)
- $K^+ + He - K(3p^6 4s) + He^+(1s)$ (გადამუხტვა ძირითად მდგომარეობაში)
- $K^+ + He - K^{2+} + He + \dots$ (წაგლეჯვა)
- $K^+ + He - K(4p) + He^+(1s)$ (გადამუხტვა აგზნებულ მდგომარეობაში)
- $K^+ + He - K(3d) + He^{*+}(2p)$ (გადამუხტვა აგზნებულ მდგომარეობაში)
- $K^+ + He - K^+(3p^5 4s) + He$ (დამჯახებლის აგზნება)
- $K^+ + He - K^+(3p^5 4s^1) + He$ (დამჯახებლის აგზნება)
- $K^+ + He - K^+ - He^{**}(1s 2p; 2p^2)$ (სამიზნისაგზნება)

ასეთი პროცესების კვეთების ექსპერიმენტულ გამოკვლევას მნიშვნელობა ენიჭება როგორც ფუნდამენტური კვლევის თვალსაზრისით (პროცესთა წარმართვის მექანიზმის დადგენა) ასევე გააჩნია გამოყენებითი ხასიათი ისეთი კვლევის დარგების განვითარებისთვის, როგორცაა: ამაჩქარებელი ტექნიკა, გაზური განმუხტვა, რადიოტექნიკა და სხვა. კვეთის სიდიდეები მნიშვნელოვანია ამ დარგში არსებული ზოგიერთი თეორიული მოდელების დაზუსტების თვალსაზრისითაც.

იმის გამო, რომ საკვლევი წყვილი განეკუთვნება ჩაკეტილ გარსიან სისტემას (რეალიზება ხდება მცირე დაჯახების პარამეტრზე), ექსპერიმენტის წარმართვა დაკავშირებულია გარკვეულ სიძნელეებთან (პირველადი იონების დიდ კუთხეებზე გაბნევა, უკუცემული ნაწილაკების დიდი კინეტიკური ენერგია და მათი სრული შეგროვება), ამიტომ საჭირო გახდა მისი კომპლექსური გამოკვლევა.

გადამუხტვის და იონიზაციის სრული კვითები იზომებოდა განივი ელექტრული ველის მეთოდით [1] (იხ. ნახაზი).



განივი ელექტრული ველის მეთოდი

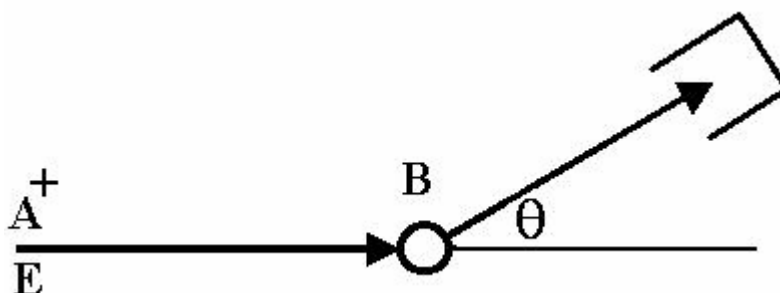
$$\sigma^+ = \sigma_i + \sigma_c \quad \sigma^- = \sigma_i + \sigma_s$$

ნახ.1

ორ პარალელურ ფირფიტაზე მოდებული იყო პოტენციალი და შექმნილი ერთგვაროვანი ველით წარმოებდა მეორადი იონების და ელექტრონების შეკრება. კვითების გამოთვლა წარმოებდა შემდეგი თანაფარდობით. $\sigma^+ = \sigma_i + \sigma_c$; $\sigma^- = \sigma_i + \sigma_s$ სადაც σ^+ ნელი იონების წარმოქმნის სრული კვითია, ხოლო σ^- იონიზაციისა და წაგლეჯვის შედეგად წარმოქმნილი თავისუფალი ელექტრონების სრული კვითი.

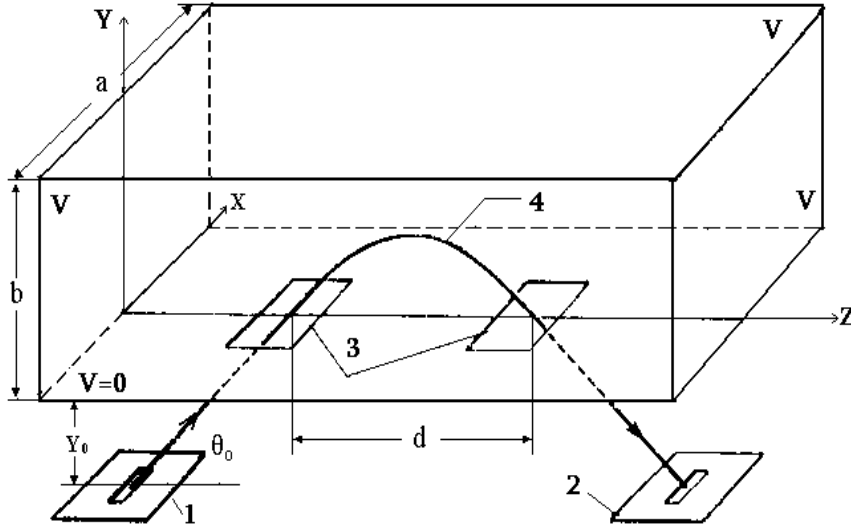
აგზნების კვითის გასაზომად გამოიყენებოდა ოპტიკური სპექტროსკოპიის მეთოდი [2]. გამოსხივების სპექტრული ანალიზი ტარდებოდა დიფრაქციული მესერის მეშვეობით ვაკუუმურ ულტრაიისფერ (50-130ნმ) და ხილულ (400-800ნმ) უბანში.

დიფერენციალური კვითების გასაზომად გამოყენებული იყო დაჯახებითი სპექტროსკოპიის მეთოდი[3]. მეთოდის არსი სქემატურად ახსნილია ნახ.2 -დან.



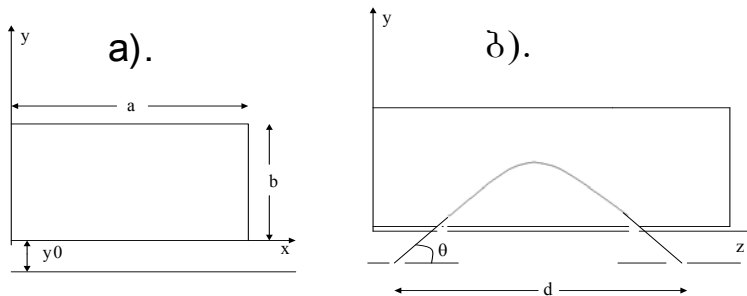
ნახ. 2 გაფანტვის სქემატური სურათი

ფიქსირებული ენერგიის K^+ იონები ეჯახება He სამიზნეს, იფანტება გარკვეულ კუთხეზე და ხვდება ელექტროსტატიკურ ანალიზატორში. ანალიზატორის მემზვობით იზომება გაფანტული ნაწილაკების კინეტიკური ენერგია და განისაზღვრება სხვადასხვა არადრეკადი არხის შესაბამისი ენერგეტიკული დანაკარგი. ანალიზატორის ხედი მოყვანილია ნახაზ 3-ზე, მისი ხედი ჭრილში ნახ. 3.ა,ბ იქვეა მოყვანილი ელექტროსტატიკური ანალიზატორის პარამეტრები.



ნახ.3 კოლოფის ტიპის ელექტროსტატიკური ანალიზატორი

1,2-შესაყვანი და გამოსაყვანი სფეროები, 3-ანალიზატორის ფანჯრები
4-სხივის ტრაექტორია.



ნახ.3. კოლოფის ტიპის ანალიზატორის სქემა ჭრილში:
ა). xoy სიბრტყე ბ). yoz სიბრტყე

$$d = 1.67a; \quad D = 1.26d; \quad b = 0.96a; \quad \theta = 50.45^\circ;$$

$$y = 0.25a; \quad h = 0.06d; \quad S_{\text{ობგ}} = 0.87R - 1d;$$

სადაც d -ხვრელებს შორის მანძილია, D -დისპერსია, a -ანალიზატორის სიგანე, b -სიმაღლე, θ θ -პირველადი სხივის ანალიზატორში შესვლის კუთხე, y -მანძილი წყაროდან ანალიზატორის ელექტროდამდე, R -გარჩევისუნარიანობა, $S_{\text{ობგ}}$ -ხვრელის სიგანე, h -ხვრელის სიმაღლე. ჩვენ შემთხვევაში $d = 60\text{მმ}$, $S_{\text{ობგ}} = 0,1\text{მმ}$.

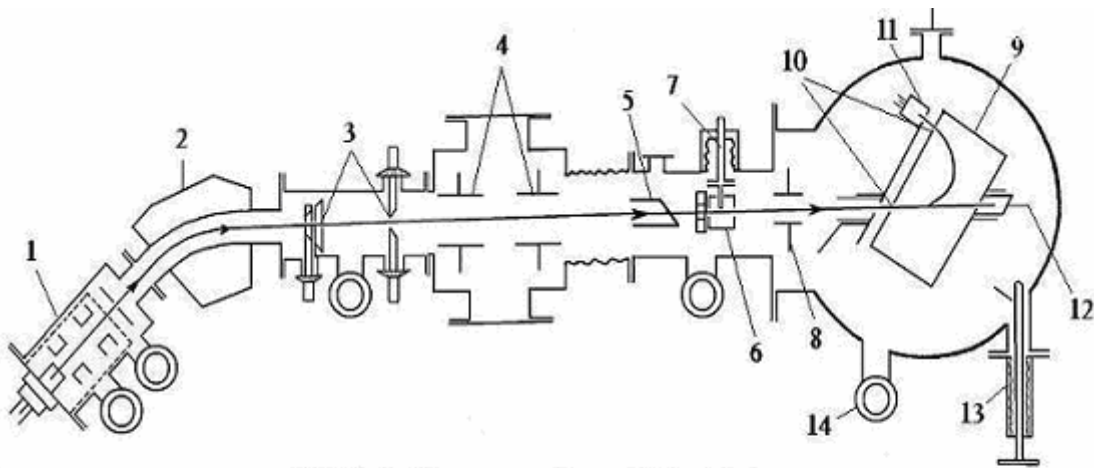
ანალიზატორში სხივის ტრაექტორიის დადგენა წარმოებდა ქვემოთ მოყვანილ ლაპლასის განტოლებათა ამოხსნით [4].

$$\Phi(x, y) = V - \frac{2V}{\pi} \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin \pi x}{\operatorname{sh} \pi y} \right) + 4V \operatorname{sh} [\pi y (2n+1)] \times \sum_{n=0}^{\infty} \frac{e^{-\pi b(2n+1)} \sin [\pi x (2n+1)]}{\pi (2n+1) \operatorname{sh} [\pi b(2n+1)]} \quad (1)$$

$$x''(z) = \frac{1}{2\Phi(x, y)} [1 + x'^2(z) + y'^2(z)] \frac{\partial \Phi(x, y)}{\partial x} \quad (2)$$

$$y''(z) = \frac{1}{2\Phi(x, y)} [1 + x'^2(z) + y'^2(z)] \frac{\partial \Phi(x, y)}{\partial y} \quad (3)$$

გაზომვები ტარდებოდა მას-სპექტრომეტრული ტიპის დანადგარზე, რომლის სქემატური სურათი მოყვანილია 4.ნახაზზე.

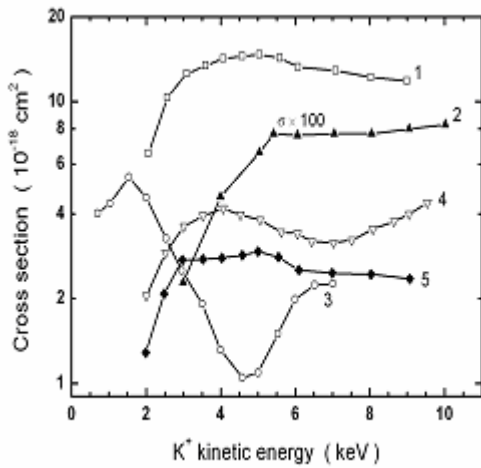


ნახ.4 ექსპერიმენტული დანადგარის სქემა

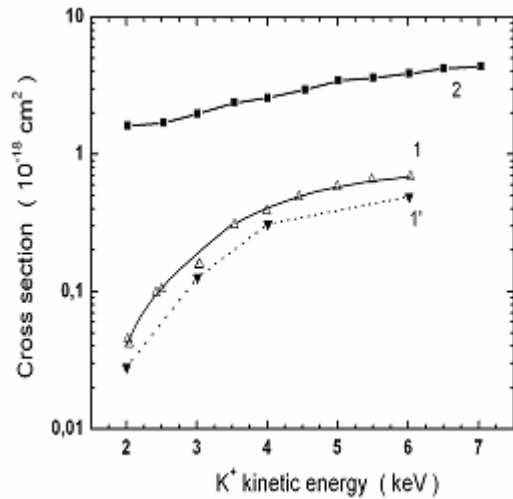
1-იონების წყარო. 2-მაგნიტური მას-ანალიზატორი. 3-მაკოლიმიტრული ხვრელები
4-ფოტოეფექტის სისტემა. 5-ფარადეის ცილინდრი. 6-დაჯახების კამერა. 7-სამიხვე
ნაწილაკების ეფუზიური წყარო. 8-კონდენსატორი. 9-ანალიზატორი. 10-ანალიზატორის
შუდავალი და ვამპიკალი ხვრელები. 11-მეორადი ელექტრონული გამამრავლებელი.
12-იონების კოლექტორი. 13-ანალიზატორის მბრუნებელი სისტემა. 14-დიფუზიური ტუმბო

იგი შედგება შემდეგი ძირითადი ბლოკებისაგან: ზედაპირული იონიზაციის პრინციპზე მომუშავე იონების წყაროსგან; მას-ანალიზატორისაგან; ხვრელების სისტემისა და ელექტროსტატიკური ანალიზატორისაგან. ანალიზატორის პოტენციალის ავტომატური ცვლილება საშუალებას გვაძლევდა შეგვესწავლა ენერგეტიკული დანაკარგების სპექტრი 0-100 ევ. ინტერვალში (ამ ინტერვალში ხდება ძირითად არადრეკად არხთა რეალიზება). დანადგარის გეომეტრია იძლევა საშუალებას შევისწავლოთ გაფანტვის დიფერენციალური კვეთი 0-20 გრადუსის ინტერვალში.

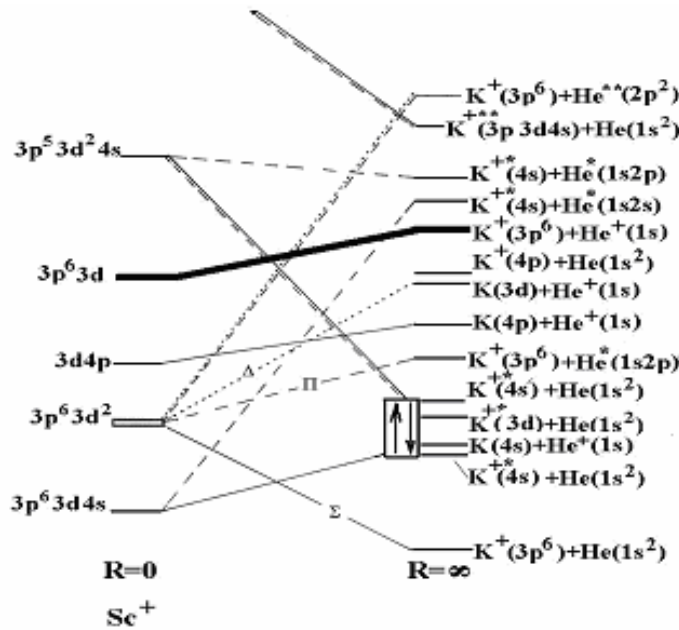
შედგები და განმარტებები მოყვანილია ნახ.5ა და 5ბ. კვეთის სიმცირე, სტრუქტურული ყოფაქცევა, და პროცესთა მექანიზმები დადგენილია ჩვენს მიერ მიღებული შედეგებით და ჩვენს მიერვე აგებული სქემატური კორელაციური დიაგრამით [5]. დიაგრამა მოყვანილია ნახ.6.



ნახ.5ა K^+ -He დაჯახებებში გადამუხტვისა და აგზნების კვეთების K^+ იონების ენერგიაზე დამოკიდებულება: 1-KII(60.16მ, $4s^1-3p^6$), 2-KI(766.56მ, $4p-4s$), 3-K($4s$), 4-HeI(58.46მ, $2p-1s$), 5-KII(61.26მ, $4s-3p^6$).



ნახ.5ბ K^+ -He დაჯახებებში კვეთის აბსოლუტური მნიშვნელობები: 1- K^{2+} იონების წარმოქმნა (ექსპ.) 1' - K^{2+} იონების წარმოქმნა (თეორია), 2-თავისუფალი ელექტრონების წარმოქმნა.



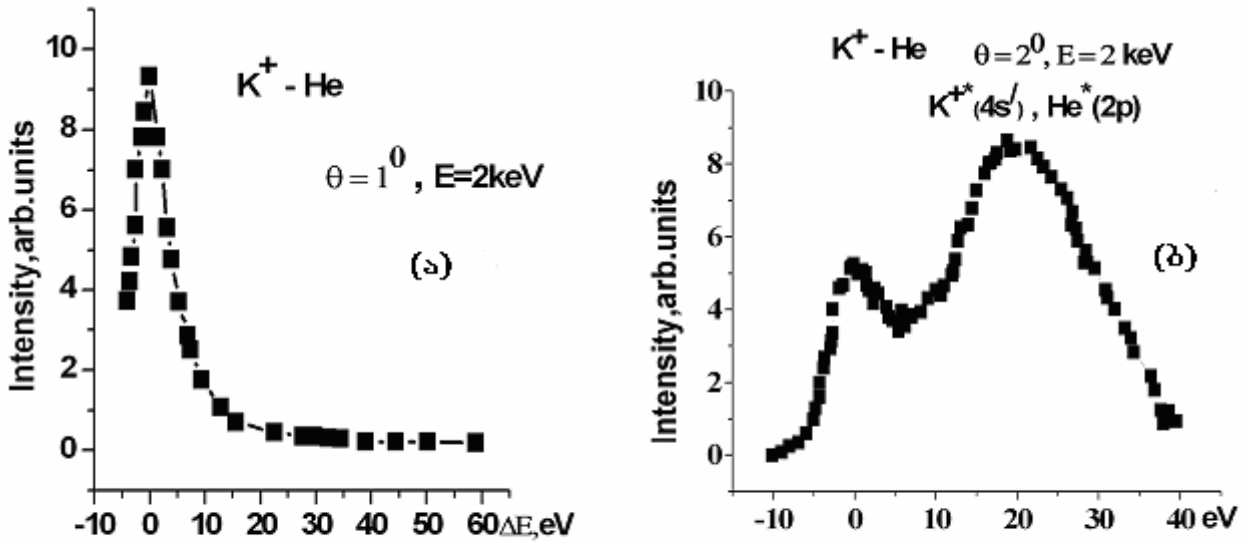
ნახ.6. K^+ -He სისტემის დიაბატური თერმების სქემატური გორაკ-დაბალი დიაგრამა: უწყვეტი ხაზი - Σ მდგომარეობა; წყვეტილი ხაზი - Π მდგომარეობა; წერტილები - Δ მდგომარეობა.

დადგენილია, რომ გადამუხტვის პროცესის შემთხვევაში მექანიზმი არის ელექტრონის ჩაჭერა კალიუმის ატომის ძირითად მდგომარეობაში. ამ დროს ადგილი აქვს ძირითადი არხის $K^+(3p^6) + He(1s^2)$ და გადამუხტვის არხების $K(3p^6 4s) + He^+(1s)$ ურთიერთ თანაკვეთას და $\Sigma - \Sigma$ გადასვლები თამაშობენ მნიშვნელოვან როლს.

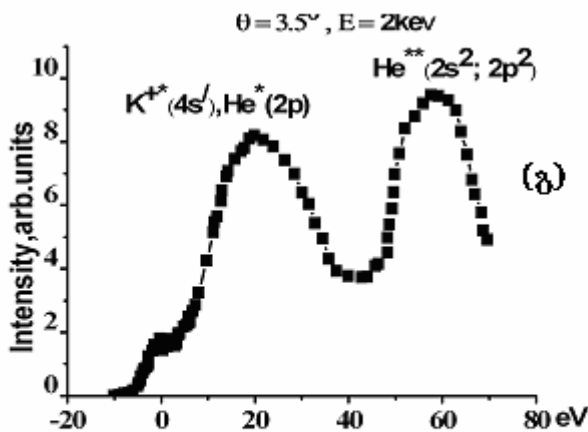
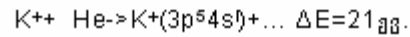
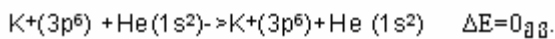
იონიზაციის მექანიზმის დასადგენად ჩვენ შევაფასეთ ურთიერთქმედების შედეგად გამოთავისუფლებული ელექტრონების ენერგია. მათი სიდიდე არ აღემატებოდა 10-12 ევ. შემდეგ მოვახდინეთ ყველა იმ არადრეკადი პროცესების წვლილის შეფასება

რომლის დროსაც ასეთი ნელი ელექტრონები თავისუფლდებიან. ეს პროცესებია: პირდაპირი იონიზაცია [6] - დიაბატური თერმის უწყვეტ სპექტრში გასვლა, სამიზნე ატომის ორმაგი იონიზაცია, გადამუხტვა სამიზნე იონის იონიზაციით; ელექტრონის ჩაჭერა კალიუმის ატომის ავტოიონიზაციურ დონეზე. გამოტანილია დასკვნა, რომ იონიზაციის მექანიზმში ადგილი აქვს კვაზიმოლეკულური ავტოიონიზაციური თერმის დასახლებას და მის დაშლას უწყვეტ სპექტრში (მათ გააჩნიათ უწყვეტი სპექტრი და ელექტრონების დაბალი ენერგია). ამ მდგომარეობებს შეესაბამება ორელექტრონიანი აგზნებული დონეები ($1s2s$; $2p^2$), რაც დაკავშირებულია Σ - Π და Σ - Π - Δ თერმების ღერძის ორმაგ ბრუნვასთან. იხილე კორ. დიაგრამა.

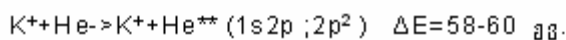
ნაშრომში გაზომილი ენერგეტიკული დანაკარგების სპექტრები - 1° , 2° და 3.5° გაზნევის კუთხეებისთვის მოყვანილია ნახ 7.(ა,ბ,გ).



ნახ. 7 ენერგეტიკული დანაკარგების სპექტრი K^+ -He დაჯახებებში

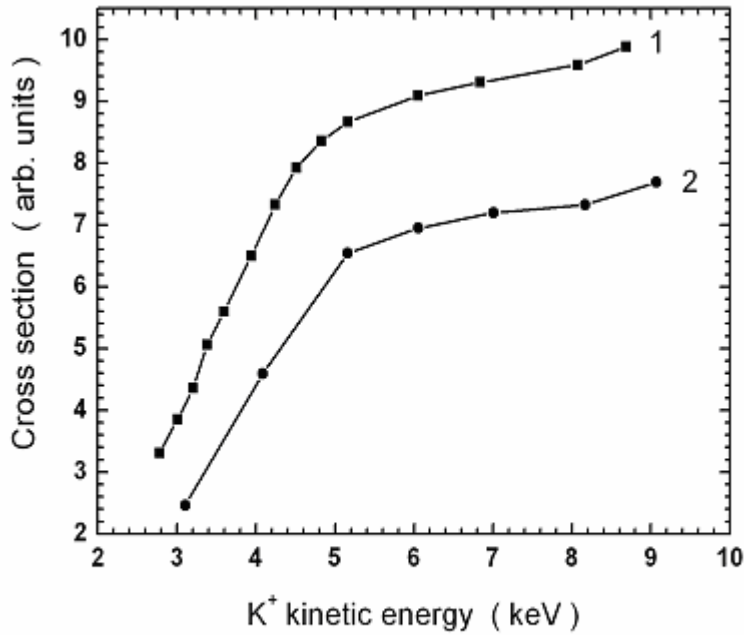


ნახ. 7 ენერგეტიკული დანაკარგების სპექტრი K^+ -He დაჯახებებში



დრეკადი გაზნევის (დანაკარგებით 0 ევ) და ინტენსიური აგზნების ხაზები, რომელიც შეესაბამება K^+ იონის აგზნებას (დანაკარგებით 20-21 ევ.) და ჰელიუმის ატომის ორ ელექტრონიან აგზნებას (დანაკარგებით 58-60 ევ.), იდენტიფიცირებულია.

ნახ. 8 მოყვანილია კალიუმის ატომის და იონის რეზონანსული ხაზების აგზნების ფუნქციები.



ნახ.8. კალიუმის ატომის და იონის აგზნების ფუნქცია K⁺-He დაჯახებებში : 1-KI(766.5nm, 4p-4s); 2-KII(388.9nm, 4p-).

ჩატარებულია ანალიზი და გამოვლენილია ამ ხაზების დასახლების საერთო მექანიზმი. კერძოდ, ხაზების დასახლებაში განმსაზღვრელ როლს თამაშობს 3d დონე (იხილეთ კორელაციური დიაგრამა) და რეალიზება ხდება როგორც გაცვლითი ურთიერთქმედების, ასევე კასკადური გადასვლების ხარჯზე. თავის მხრივ ორივე რეზონანსული ხაზის კვეთის სიმცირე ახსნილია Σ -II - Δ გადასვლის ალბათობათა სიმცირით.

დასკვნა

- K⁺ - He დამჯახებელ წყვილში გადამუხტვის პროცესში ადგილი აქვს ელექტრონის ჩაჭერას ატომის ძირითად მდგომარეობაში, რომელიც განპირობებულია Σ სიმეტრიის პოტენციური მრუდების გადაკვეთის არეში არაადიაბატური გადასვლიათ.
- იონიზაციის ძირითადი მექანიზმი დაკავშირებულია Σ -II და Σ -II- Δ კვაზიმოლეკულური ავტოიონიზაციური თერმების დასახლებასთან და უწყვეტ სპექტრში მათ დაშლასთან.
- K ატომისა და K⁺ იონის რეზონანსული ხაზების აგზნების ფუნქციისთვის გამოვლენილია პროცესთა რეალიზების საერთო მექანიზმი.
- ახსნილია ანომალურად მცირე აგზნების კვეთის სიდიდე K(4p) რეზონანსული ხაზისთვის და საგრძნობლად დიდი კვეთის სიდიდე K⁺(4s) მდგომარეობისათვის.
- დაჯახებითი სპექტროსკოპიის მეთოდის მეშვეობით დამზერულია მაღალაგზნებული მდგომარეობები (ჰელიუმის ატომის ორ ელექტრონიანი აგზნება).

ლიტერატურა:

1. Kikiani B.I., Lomsadze R.A., Mosulishvili N.O. et al, - Investigation of ionization and Charge exchange at collision of K^+ -Ar, Kr, Xe in 0.5-7.0 keV energy range. - Zh.Tekh. Fiz. (1985), 55, 1612 [Sov. Phys. Tech. Phys., (1985) 30, 934].
2. Kikiani B.I., Gochitashvili M.R., Kvizhinadze R.V., and Ankudinov V.A., - Investigation of excitation processes in slow collision of K^+ ions with He, Ne, Ar, H₂, N₂ and Na⁺ - He. - Zh.Eksp. Teor. Fiz., (1984), 87, 1906 [Sov. Phys. JETP., (1984), 60, 1096]
3. Gochitashvili M.R., Lomsadze R.A., Lomsadze B.R., Mosulishvili N.O., Sakhelashvili G. – The efficiency of electrostatic energy analyzer in ion-atom collisions. - Proceedings of I.Javakhishvili Tbilisi State University- Physics, (2004), 39, .
4. Морс Ф.М., Фешбах Г.- Методы Теоретической Физики (1960) т2, стр. 169, ИЛ.
5. Barat M. and Lichten W. - Extension of the electron-promotion model to asymmetric atomic collisions. - Phys. Rev., (1972), A6, 211.
6. Соловьев Е.А. Ионизация водородоподобного атома медленными ионами. – ЖЭТФ, 1981, т. 81, с.1681-1692.

Article received: 2008-11-25