

PLAZMALI İON MƏNBƏYİNƏ MALİK KÜTLƏ SPEKTROMETRLƏRİNDƏ İKİNCİ NÖV İONLARIN NİSBİ HƏSSASLIĞININ TƏYİNİ

K.Z. NURİYEV

Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyi

İşdə bərk maddələrin etalonsuz tədqiqatı zamanı müxtəlif tip plazmalı ion mənbələrinə (cığılıcılı və seyriyən boşalmalı, lazer şüası, ikinci ion emissiyası) malik kütlə spektrometrlərində yaranan ionların nisbi çıxışını əvvəlcədən hesablamıq üçün alqoritm təklif olunmuşdur. Alqoritm ion əmələ gəlmə prosesinin müxtəlif mexanizmlərinin toqquşma təbiətli ümumiləşmiş modeli əsasında nisbi çıxışın analitik ifadəsini almağa imkan verir. Təklif olunan alqoritm kinetik yaxınlaşmanın köməyi ilə plazma zərrəciklərinin sıxlığının zaman – məkan dəyişmələrini araşdırmağa və kvant mexanikası çərçivəsində və toqquşma ilə ionlaşma prosesinin kəsiyinin hesablanmasına imkan verir.

İonları ion mənbəyində plazma üsulu ilə alınan (plazmalı ion mənbələri) kütlə spektrometrləri son vaxtlar maye və bərk maddələrin element (izotop) tərkibini yüksək dəqiqliklə öyrənmək üçün geniş miqyasda tətbiq olunur. Buna səbəb istər cığılıcılı və seyriyən boşalma, istər induktiv əlaqəli plazma, istərsə də lazer şüası ilə ionlaşmaya malik kütlə spektrometrlərində praktik olaraq həтта tək – tək ionlara da qeyd etməyin mümkünlüyüdür [1]. Məhz plahmalı ion kamerasında (bu sıraya ikinci növ ion emissiyasını da daxil etmək olar), yaranan ionların neytral atomalara nisbətini artırmağa, və deməli ion mənbəyinin effektivliyini artırmağa real şərait yaratmışdır. Doğrudan da, lazer şüası ilə ionlaşma kütlə spetrometrinin mütləq həssaslığı $1 \cdot 10^{-19}$ q [2], induktiv əlaqəli plazma və seyriyən boşalmalı plazmanın köməyi ilə nisbi həssaslığın aşağı həddi $10^{-7} \div 10^{-11}$ (atom %), xəta isə 0,01 % aşmır.

Ümumiyyətlə, kütlə spektrometrik sistemlərin istənilən obyektlərin tədqiqində dövrü sistemə daxil olan demək olar ki, bütün elementlərini qeyd etmək üstünlüyü onları maddələrin element tərkibini tədqiq edə bilən bütün üsullardan ən önəmlisi, bəzən isə yeganəlik səviyyəsinə qaldırı.

Başqa anilitik üsullarda olduğu kimi kütlə spektrometrik üsulda da tədqiqat zamanı məlum tərkibə malik nümunədən istifadə olunur. Bu zaman etalon (tərkibi əvvəlcədən məlum olan) nümunəni analiz etməklə müxtəlif naməlum tərkibli nümunələrin element (və ya izotop) tərkibini təyin etmək olar. Qeyd etmək lazımdır ki, bu üsul sadalanan üstünlükləri ilə yanaşı bəzən bir sıra problemlərlə dü üzləşir. Məsələn, bir çox hallarda xüsusi təmiz maddələrin və ya ətraf mühitin obyektlərinin analizi zamanı öyrənilən obyektə adekvat olan və ya təyin olunacaq elementlərin tərkibini xarakterizə edən standart nümunə tapmaq praktiki olaraq mümkün olmur. Belə hallarda mütəxəssislər tədqiqatın etalonsuz analiz, başqa sözlə standart nümunələrdən istifadə etmədən analiz aparmaq məcburiyyətində qalır. Bu isə o deməkdir ki, bütün elementlər üçün nisbi həssaslıq əmsalı (NHƏ) vahidə bərabər qəbul edilir ki, bu da 300 % - lik sistematik xətalara gətirir.

Araşdırmalar göstərir ki, kütlə spektrometrik üsuldan istifadə edən kimyaçı tədqiqatçılar etalonsuz kəmiyyət analizi aparmaq üçün külli miqdarda tədqiqatlar əsasında adekvat standart nümunələr kataloqu yaratmalıdırlar, bu isə yaxın gələcəkdə mümkün olan iş deyil. Bu problemi həll etmək üçün nisbətən real yol təyin ediləcək elementlərin əsas parametrləri, matrisanın fiziki – kimyəvi xüsusiyyətlərini və eksperimentin aparılma şəraitini də nəzərə almaqla NHƏ – ni əvvəlcədən hesablamıq məqsədi ilə onun riyazi ifadəsini ionların yaranmasının məlum mexanizmləri əsasında dəqiqləşdirməkdir.

Bu baxımdan NHƏ – nə (u_i) plazmaya daxil olan və ionların orada gedən fiziki proseslərdə iştirakının müxtəlifliyini (z_i - fiziki amil) və onların kütlə analizatorunun daxilində kütləyə və yük tərkibinə görə diskriminasiyasını (cihaz amili - z_i) nəzərə alan inteqral xarakteristikası kimi baxmaq olar:

$$u_i = z_i \cdot z_i. \quad (1)$$

Qeyd edək ki, ionların analizatorunda diskriminasiyanı onun ion – optik sistemini yüksək dəqiqliklə dərəcələməklə nəzərə almaq olar. Lakin ionların plazmadakı diskriminasiyasını (fiziki amili) nəzərə almaq olduqca çətinidir. Məhz bu səbəbdən plazmalı ion mənbəyində ionların yaranma prosesinin tədqiqi həm nəzəriyyəçi, həm də eksperimentator mütəxəssislərin daim diqqət mərkəzində olub, müxtəlif müəlliflər [3, 4] plazmada ionların yaranma mexanizmini izah etmək üçün orada gedən bəzi fiziki proseslərin eyni ehtimalla olmasını qəbul edən bir sıra nəzəriyyələr irəli sürürlər. Bəziləri isə, əksinə sübut etməyə çalışırlar ki, nə yüksək temperaturlu (cığılıcılı boşalma və lazer şüalanması [5]), nə də alçaq temperaturu (induktiv əlaqəli plazma və seyriyən boşalma [6]) plazmalarda gedən proseslərin bərabər ehtimalı olmasından söhbət gedə bilməz. Qeyri – bərabər statik çəkiyə malik proseslərin araşdırılması isə həm fiziki, həm də riyazi nöqtəyi – nəzərdən olduqca mürəkkəbdir.

Hazırda mövcud olan ion mənbələrini təyinatına görə iki impulsu (lazer və cığılıcılı boşalma) hissəyə ayırmaq olar. İmpulsu ion mənbələri zərrəciklərinin sıxlığı $10^{15} \div 10^{21} \text{ sm}^{-3}$, temperaturu isə 1 eV olan zərrəciklərlə işləyən 2 hissəyə ayırmaq olar [7]. Alçaq temperaturu plazma ilə işləyən mütəxəssislər belə hesab edirlər ki, yüksək temperaturu plazmada (yəni impulsu ion mənbələrində) zərrəciklər yüksək sıxlığa və yüksək toqquşma ehtimalına malik olduqlarına görə müxtəlif ion yüklü ionların nisbətini Sax – Eqqert [8] düsturu ilə hesablamıq olar. Eyni zamanda enerjisi 1 eV, sıxlığı 10^{-3} sm^{-3} olan yüksək temperaturu plazma mütəxəssisləri hesab edirlər ki, plazmanın parametrlərini hesablamıq üçün ideal qaz statistikasını (Bolsman, Fermi – Dirak və i.a. [9]) tətbiq etmək olar.

Beləliklə, hazırda plazmanın parametrlərinin və orada baş verən proseslərin müxtəlif elementlərin nisbi çıxışına təsirinin tədqiqat metodologiyası demək olar ki, yox dərəcəsindədir. Ona görə belə güman edirik ki, bu metodologiya bütün plazmalı ion mənbələri üçün ümumiləşmiş olmalıdır. Ən azı ona görə ki, ion əmələ gətirən bütün fiziki proseslərin bazasında təbiətə eyni olan toqquşma prosesləri durur.

Təqdim olunan işdə məqsəd nəticə etibarlı ilə etalonsuz ölçmələr zamanı sistemə xətaları azaltmaq naminə plazma mənbəli kütlə spektrometrlərində gedən proseslərin öyrənilməsi üçün vahid metodologiyanın işlənməsi və əsaslandırılması cəhədidir.

Plazmalı ion mənbələrində ionların əmələ gəlmə mexanizmini dərk etmək üçün hesablama üsulu qəbul edilmiş modeldən asılı olaraq NHƏ tapılmasıdır. Bu mənada təklif olunan modelləri 4 qrupa bölmək olar:

1. Səthdən qopan atomların elektron mübadiləsi hesabına ionlaşma ehtimalının kvant mexanikasına əsaslanmış hesablanması. Yeri gəlmişkən, bu model yalnız təmiz metal və sadə xəlitələrin səthindən qopan ionlara tətbiq oluna bilər.

2. İkinci növ ionların yarımemprik yaxınlaşmaya əsaslanan nisbi çıxışının intensivliyini təyin etməyə imkan verən «analitik» yaxınlaşma.

3. Plazmadakı ionların konsentrasiyasının real dəyişmə dinamikasına əsaslanan və plazma kimyası [10] çərçivəsində təkamül tapmış kinetik yaxınlaşma.

4. Plazma proseslərinin tədqiqində geniş istifadə olunan plazma fizikası metodlarına əsaslanan «təmiz plazma» yaxınlaşması.

Hazırda ədəbiyyatda ionların yaranmasının kvant mexanikasına söykənən və riyazi baxımdan müxtəlif dərəcəli mürəkkəb modelləri verilmişdir. Nisbətən geniş tədqiqatçı sinfinin rəğbətini qazanmış modellərdən atomların səthdə həyəcalanması [10], hiddətlənməsi [11], səthi ionların metallə əlaqəsinin pozulması [12] modellərini qeyd etmək olar. Bu ionlaşma modellərinin əsasını təşkil edən və atomların elektron mübadiləsinə bəraət qazandıran əsas amil həyəcalanmış atomların relaksasiya müddəti onların metaldan çıxma müddətindən çox – çox kiçik olmasıdır. Digər tərəfdən qarşılıqlı təsir oblastının ölçüləri atomun ölçüləri ilə müqayisə oluna bildiyindən bu oblastda maddənin fiziki – kimyəvi xassələri onun həcmi orta göstəricilərindən fərqlənə bilər [10]. Bu modellərə əsasən plazmanın ionlaşma dərəcəsinə atomların ionlaşma potensialından, atomun hərəkət sürətindən, onun səthdən çıxış işi və analizi elektron quruluşundan ibarətdir. Qeyd edək ki, sonuncu iki amil səthdən qopan ionların metalın sərbəst elektronları hesabına neytrallaşmasını və deməli, ionların nisbi çıxışını təyin edir.

Fenomenoloji modellər ionların yaranma mexanizminin fundamental tədqiqinə əsaslanmamışına baxmayaraq NHƏ empirik və yarımemprik ifadələrin köməyi ilə səthdən qopan ionların nisbi sayına müəyyən dəqiqliklə hesablamağa imkan verir.

Bəzi müəlliflərin fikrincə [13, 14] səthdən qopan ionların tərkibinin formalaşmasında molekullarası elektron mübadiləsinə əsaslanan kimyəvi ionlaşma durur. Bu zaman belə qəbul olunur ki, birinci növ ionların (və ya lazer şüasının) təsiri ilə nümunənin səthində «kvazisərbəst», böyük sıxlığa malik nazik (1-2 mm) plazma təbəqəsi yaranır [13]. Qeyd etmək lazımdır ki, dəfələrlə edilən cəhdlərə baxmayaraq adı çəkilən plazma təbəqəsi eksperimental müşahidə olunmamışdır. Yeri gəlmişkən ikinci növ ionların nisbi çıxış əmsalının plazmada gedən proseslərlə bilavasitə əlaqəsi [15]-də təhqid olunmuşdur.

Beləliklə, deyilənlərdən məlum olur ki, kvant mexanikasına əsaslanmış modellər, yalnız sadə sistemlərə – təmiz metallara və sadə xəlitələrə tətbiq etmək mümkün olursa, fenomenoloji modelləri keyfiyyət analizlərində tətbiqi heç mümkün deyil.

İstənilən halda, təklif olunan nəzəri modellərin nəticələri ilə təcrübənin (xətasını) hər modelin öz riyazi aparatı

daxilində qiymətləndirmək üçün bu prosesləri bir qədər ətraflı araşdıraraq. Kvant mexanikasına əsaslanan yaxınlaşmada əsas məsələ zərrəciklər arasında elementar qarşılıqlı təsirin araşdırılması Şredinger tənliyinin həllinə (ən sadə halda zərrəciklərin mərkəzi – simmetrik sahədə səpilməsinə) gətirilir [16]

$$\Delta u + 2m/h^2 [E - U(r)]u = 0, \quad (2)$$

burada u - dalğa funksiyası, m - zərrəciyin kütləsi, h - Plank sabiti, E - sistemin məxsusi enerjisi, $U(r)$ - bir birindən r - məsafəsində yerləşən zərrəciklərin qarşılıqlı təsir enerjisidir. Dalğa funksiyası u -nın (2) tənliyini ödəyən qiymətləri səpilmə amplitudası adlanan hər hansı $f(u)$ funksiyası ilə mütənəsbir

$$u = f(u) \exp(ikr)/r, \quad (3)$$

burada θ - səpəlmə bucağı, k - dalğa vektorudur. $|f(u)|^2$ qiymətcə bir zərrəciyin digərindən $d\Omega$ cisim bucağı daxilində səpilməsinin dy differensial kəsidir [16]

$$dy = |f(u)|^2 d\Omega. \quad (4)$$

Onda elektronun atomdan qeyri – elastik səpilməsi (elektron zərbəsi ilə ionlaşma) aşağıdakı kimi təyin olunur [16]

$$dy_w = 8p(e^2/hV_e) dq \cdot \left| \left\langle w \left| \sum_b \exp(-iqr_b) 0 \right| \right\rangle \right|^2 d\Omega, \quad (5)$$

burada q - gətirilmiş dalğa vektoru, V_e - elektronun sürəti, e - elektronun yükü, w - zərrəciyin statik halıdır.

(5)-dən, təcrübədə istifadə edilə biləcək real analitik ifadə yalnız Kulon – Born yaxınlaşması daxilində, yəni toqquşan zərrəciklərin birinin enerjisinin o birisindən qat – qat çox olduqda qəbul oluna bilər [17]. Əksər hallarda bu yaxınlaşmanın enerjisi bir neçə keV olan zərrəciklərin sükunətdə olan zərrəcikləri bombardman olunması halında tətbiq etmək olar (ikinci növ ion emissiyası).

Ümumiyyətlə qeyd etmək lazımdır ki, bir – biri ilə möhkəm əlaqəli zərrəciklər kimi baxılan plazma proseslərinin tədqiqində kvant mexanikası yaxınlaşmasından istifadə etmək praktiki nöqteyi – nəzərdən bir o qədər də tədqirə layiq deyil. Plazma proseslərinin tədqiqi plazma fizikasında tətbiq olunan üsulların köməyi ilə öyrənmək daha məqsədəuyğun sayılır.

İkinci növ ionların yaranma mexanizminin tədqiqi kvant mexanikası yaxınlaşmasından fərqli olaraq «təmiz plazma» yaxınlaşmasına əsaslanan enerjinin, impulsun və momentin saxlanılması qanunlarından, həm də daşınma tənliyindən alınan aşağıdakı tənliklər sisteminin həlli üzərində qurulub [18]

$$\begin{aligned} (\partial c / \partial t) + \nabla(c v) &= \nabla(D v c), \\ c(\partial v / \partial t) + c(v \nabla)v &= -\nabla p + \nabla(\mu \nabla v) + g[\bar{S} \times \bar{B}] \\ c(\partial v / \partial t) + c(v \nabla)u &= -c \nabla u + \nabla(\varepsilon \nabla u) + g S^2 - R + J, \\ \partial f_j(x, E) / \partial x &= z_j e [dU(x)/dx] \cdot [\partial f_j(x, E) / \partial E] - \\ &- f_j(x, E) / \lambda_j + \partial(E) / \lambda_j \end{aligned} \quad (6)$$

burada t - zaman, x - koordinat, p və u - təzyiq və plazmanın daxili enerjisi, ρ - plazmanın sıxlığı, $\vec{S}$ və $\vec{B}$ - xarici elektrik sahəsinin intensivliyi və maqnit induksiyası, E - zərrəciklərin kinetik enerjisi, D - ambipolyar diffuziya əmsalı, μ - elektronların yürüklüyü, R - plazmanın şüalanma itkisi, A - plazmaya verilən enerji, $f_j(x, E) - E$ enerjili j - tip zərrəciyin x nöqtəsində olmasının ehtimalı, $z_j - j$ - tip zərrəciyin yükü, λ - sərbəst qaçış yolunun uzunluğu.

(6) tənliklər sistemini sadələşdirmək məqsədi ilə [19] - da qəbul edilmiş bir və ya iki komponentli sistemlər üçün aldıkları həllər plazmanın müxtəlif parametrləri üçün bir - birini təkzib edən müxtəlif qiymətlərə gətirdi. Bu cür sadələşdirmələr xatirinə plazma parametrlərinin ideallaşdırılması ionların yaranma effektivliyinin real qiymətləndirməsini qeyri - mümkün edir ki, bu da «təmiz plazma» yaxınlaşmasının əsas çatışmayan cəhəti sayılır.

Kimyəvi plazma çərçivəsində inkişaf tapmış kinetik yaxınlaşma metodu [20] plazmada təmərküzləmiş yüklü zərrəciklər toplusunun faza xarakteristikalarını nəzərə almadan hər hansı j - tipli zərrəciklərin n_j konsentrasiyasının zamana görə dəyişməsin aşağıdakı tənliklər sistemi vasitəsilə ifadə edir

$$dn_j/dt = \sum_{b=1}^N n_j \cdot n_y \delta(b), \quad (7)$$

burada $\delta(b) - j$ və y tipli zərrəciklərin qarşılıqlı təsir prosesinin sürətidir. Burada ən əsas çətinlik müxtəlif toqquşma proseslərinin $\delta(b)$ sürətinin təyin olunmasıdır. Məsələn, elektron zərbəsi ilə ionlaşma prosesləri üçün

$$\delta(b) = \langle y, V_e \rangle = \int_{\varphi}^{\infty} V_e(T_e) y(E_a) F(E_a) dE_a, \quad (8)$$

burada φ - uyğun elementin atomunun birqat ionlaşma potensialı, V_e -, T_e $F(E_a)$ - elektronun sürəti, temperaturu və paylanma funksiyasıdır.

Hər şeydən əvvəl qeyd etmək lazımdır ki, plazmanın yaranmasında aparıcı rol oynayan proseslər eyni statistik çəkiyə malik olmadığından orada əmələ gəlmiş yüklü zərrəciklərin (əsasən elektronların) enerjiyə görə paylanma funksiyasının dayanıqlığı (zamana görə) haqqında danışmağa dəyməz. Digər tərəfdən $F(E_e)$ paylanma funksiyası kimi Maksvel, Bolsman və ya başqa funksiyalardan alınan nəticələr eksperimentlə uzlaşmır. Bu o deməkdir ki, plazma özünün yaranma mərhələlərində zaman və məkana görə dəyişən paylanma funksiyalarına malik zərrəciklərdən ibarət olur. Belə olan halda nəzəriyyə ilə eksperimenti uzlaşdırmaq üçün yeganə çıxış yolu $\delta(b)$ -nın $F(E_e)$ -dən təcrübə yolu ilə alınmış yarımempirik asılılığından istifadə etməkdir.

Doğrudanda [3, 4] işlərində müəlliflər ionların nisbi çıxışını hesablamaq üçün yarımempirik xarakterli «analitik» yaxınlaşmadan istifadə etmişlər. Bunun üçün onlar lazer şüası ilə tədqiq olunan səth arasında gedən fiziki proseslərin eyni statistik çəkili qəbul edərək bir neçə uzlaşdırıcı parametrlərin köməyi ilə ionların nisbi çıxışı haqqında mülahizə yürüdürlər. Bu yaxınlaşmanın ən parlaq təzahürü ionların yaranmasının lokal termodinamik tarazlıq [21] və kvazitarazlıq [22] modelləridir. Bu modellər çərçivəsində elektronun temperaturunu elə seçmək olar ki, qəbul olunmuş

fərziyələr daxilində γ_i^+ -ni 30 % xəta ilə hesablamağa imkan verir. γ_i^+ təcrübə və nəzəri qiymətlərini daha yaxınlığına əldə etmək üçün hesablama düsturlarına çoxlu sayda uzlaşdırıcı parametrlər daxil olunmalıdır.

Yuxarıda göstərilən səbəblər üzündən plazmalı ion mənbələrində plazmanın yaranmasını və qərarlaşmasını tədqiq etmək üçün adları çəkilən yaxınlaşmalara praktikada ayrı - ayrı tətbiq edirlər. Təbiidir ki, bu səbəblərə görə həmin ion mənbələrində yaranan çoxkomponentli plazmadan çıxan ionların nisbi çıxışının hesablanması sistemə xətəyə əhəmiyyətli dərəcədə azaltmaq mümkün olmur. Elə həmin səbəblərdəndir ki, bərk cisimlərin (xüsusən metal və xəlitələrin) etalonsuz kəmiyyət analizinin nəticələri həqiqətə lazımi qədər yaxın olmur.

Yuxarıda aparılan analiz və plazmalı ion mənbələrində ionların yaranma proseslərinin tədqiqi üsullarının sistemləşdirilməsi göstərdi ki, həmin mənbələr kimi çoxkomponentli sistemlərdən çıxan ionların nisbi çıxışını tədqiq etmək üçün (7) kinetik tənliklər sistemi həll olunmalı və hökmən aydınlaşdırılmalıdır ki:

- plazma kütləsində gedən toqquşma proseslərinin hansı xəlitəyə daxil olan elementlərin nisbi çıxışını təyin edir;
- plazma kütləsinin hansı makroparametrləri (atom və elektronların sıxlığı) həyacanlandırıcı amil kimi nümunəyə daha çox təsir edir;
- plazmada gedən proseslərin hansının sürəti onun formalaşmasında və ionların yaranmasında daha böyük rol oynayır.

Aparılan tədqiqat işlərinin nəticələrinin emalı zənnimizcə aşağıdakı alqoritmə götürülməlidir.

Hər şeydən əvvəl ionların nisbi çıxışının (γ_i^+) plazmanın yaranmasında iştirak edən atomların fiziki - kimyəvi xassələrindən və onların sistemə (plazmaya) təsirinin tip və parametrlərindən asılılığı müəyyənəşdirilməlidir. Bunun üçün böyük həcmdə eksperimental məlumatlar bazası yaranmalıdır. Hər her şeydən əvvəl ionların nisbi çıxışının γ_i^+ yuxarıda göstərilən parametrlərlə korreksiyanı tapmaq üçün təklif olunan hər hansı modelini (məsələn, kvazitarazlıq) mexanizmi riyazi operatorundan istifadə etmək kifayətdir

$$\gamma_i^+ = A \exp\left(-\frac{\varphi_a^x - \varphi_a^e}{k T_a}\right) \exp\left(-\frac{\varphi_i^x - \varphi_i^e}{k T_e}\right), \quad (9)$$

burada φ_a^x və φ_i^e - uyğun olaraq elementin əlaqə (atomlaşma) və birqat ionlaşma potensialları, T_a və T_e isə atomlaşma və ionlaşma temperaturları, k - Bolsman sabitidir.

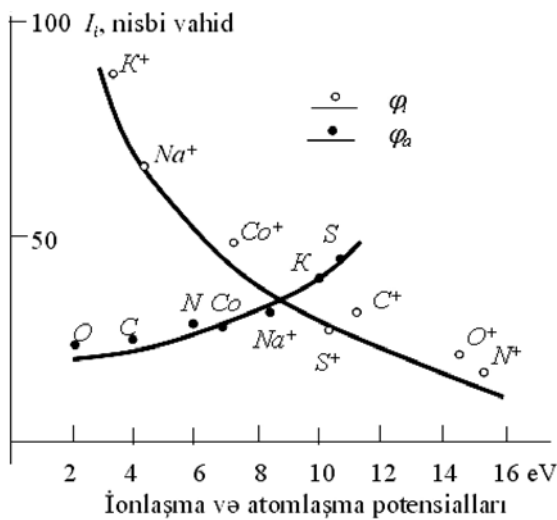
(9) - daki γ_i^+ -nin φ_a^x və φ_i^x arasındakı korrelyasiyasıya əyrisi şəkl. 1 [23] - də verilmişdir. Hər üç ionlaşma üsulu (induktiv əlaqəli plazma, lazer şüası və seyriyən boşalma üçün) $\gamma_i^+(\varphi_i)$ asılılığı kvadratik azalan, $\gamma_i^+(\varphi_a)$ isə təqribən monoton artan asılılıqdır. $\gamma_i^+(\varphi_i)$ asılılığı yaranmış plazmada elektron toqquşması tipli ionlaşmanın üstünlüyünü, $\gamma_i^+(\varphi_a)$ asılılığı isə ionlaşmaya əlaqə enerjisinin və ionlaşmanın sürətinin təsirinin olduğunu göstərir.

Növbəti mərhələdə qarşılıqlı təsirdə olan zərrəciklər sistemində yaranmış plazmanın zaman - məkan təkamülünün fiziki və riyazi təsviri araşdırılmalıdır. Bunun üçün hər hansı

bir yaxınlaşma (məsələn, kvazitarazlıq) metodundan istifadə edirək plazma kütləsinə daxil olan zərrəciklərin sürətə və enerjiyə görə paylanma funksiyasının ifadəsi tapılmalıdır.

Sonrakı mərhələ (7) kinetik tənliklər sisteminin həllidir. Bunun üçün əsas toqquşma proseslərinin (σ) bilmək vacibdir. Hər növ elementin toqquşma kəsiyini hesablamaq üçün kvant mexanikası yaxınlaşmasında (5) tənliyində zərrəciklərin xarakteristik enerjilərinin nəzərə alınmaqla (məlum təcrübə nəticələrinə əsasən) istifadə etmək olar. Nəhayət «təmiz plazma» yaxınlaşmasının köməyi ilə plazma kütləsinin makroparametrləri olan atom, ion və elektronların sıxlığını bilib müəyyən növ zərrəciyin (elementin) sıxlığının zamana görə dəyişməsinin (6) köməyi ilə analitik ifadəsini almaq olar. Başqa sözlə, çoxkomponentli sistem olan plazmadan çıxan ionların nisbi çıxışını əvvəlcədən hesablamaq üçün ifadə almaq olar.

Yuxarıda təklif olunan alqoritm lazer plazmasında yaranan ionların nisbi çıxışını hesablamaq üçün konkret misal üzərində təbii edək.



Şəkil 1.

Şək. 1-dən göründüyü kimi $\gamma_i^+(\varphi_i)$ əyrisi kvadratik xarakter daşıyır. Bu o deməkdir ki, ionların elektron zərbəsi ilə yaranma prosesinin kəsiyi Siton düsturu [24] ilə ifadə oluna bilər

$$a_e = A(T_e^{1/2}/\varphi_i^2) \exp(i\varphi_i/T_e), \quad (10)$$

burada A - sabit, T_e plazma elektronlarının temperaturu, φ_i - elementin ionlaşma potensialıdır. (7) kinetik tənliyini 3 zərrəcikdən ibarət sistem üçün ifadəsi aşağıdakı kimi olar

$$d n_i / d t = n_a \cdot n_e \cdot \alpha_e, \quad (11)$$

burada n_i, n_a, n_e - ion, atom və elektronların sıxlıqları, α_e - atomların elektron zərbəsi ilə ionlaşma kəsiyidir.

Məlumdur ki, bir (məsələn, x) elementin ionlarının başqa (məsələn, y) elementinin ionlarına nisbətən çıxış əmsalı həmin elementlərin atomlarının uyğun ionlaşma sürətlərinin nisbəti ilə təyin olunur

$$\gamma_y^x = \frac{a_{ex}}{a_{ey}}. \quad (12)$$

(12) – də (10) –u nəzərə alsaq

$$\gamma_y^x = \left(\frac{\varphi_y^2}{\varphi_x^2} \right) \exp \left[-(\varphi_x - \varphi_y)/T_e \right] \quad (13)$$

alırıq. [25] verilən lazer şüasının enerji sıxlığı Q (Vt / sm²) ilə T_e arasında empirik əlaqəni nəzərə alsaq ($T_e = 2 \cdot 10^{-5} Q^{2/3}$), (13) – ün köməyi ilə γ_y^x tapmaq olar.

Beləliklə, təklif olunan alqoritm lazer şüası ilə ionlaşma mənbələrinə məxsus kütlə spektrometrlərində etalonsuz analiz zamanı ionların nisbi həssaslığını nisbətən kiçik xətalara hesablamğa imkan verir.

- [1] Yu. A. Bikovskiy, V.N. Nevolin. Lazernaya mass – spektrometriya. M. Energoatomizdat, 1985, 128 s.
- [2] İ.D. Kovalyov, N.V. Larin, A.İ. Suçkov. Journ. analit. ximii, 1985, t. 40, s. 1971 – 1983.
- [3] J.F. Eloy. Scanning Electron Microscopy. 1986. No. 4, p. 1243 – 1250.
- [4] Yu.B. Afanasyev, N.Q. Basov. Vzaimodeystvie moshnoqo lazernoqo izlucheniya s plazmoy. M., Radiotekhnika, 1978, t.17.
- [5] Yu.A. Bikovskiy, S.M. Silnov. Fizika plazmi. 1987, t. 15, s. 731.
- [6] J. Abril. Comp. Phys Comm. 1988, v. 51, p. 413.
- [7] S.A. Verie, R. Gibbels, F. Adams. Mass - spectrometry Reviews. 1990, v. 9, p. 71 – 77.
- [8] J.R.W. Smithwick, D.M. Lynch, J.C. Franklin. Journ. Amer. Soe. Mass – spectrometry. 1993, No. 4, p. 278 – 285.
- [9] P. Willams. Appl. surt. sci. 1982, v. 13, No. 1-2, p. 241.
- [10] G. Blaise, A. Nourtier. Surt, Sci. 1979, v. 90, No. 2, p. 495.
- [11] M.L. Ju, K. Mann. Phys. Rev. Lett. 1986, v. 57. No. 2, p. 1476.
- [12] V.Q. Litovçenko Vtorichnaya ionnaya i ionno – fotonnay emissiya. Xarkov: XQU, 1980, s. 17.
- [13] V.Q. Litovçenko, R.İ. Marçenko, V.P. Melnik, B.N. Romanyuk. Vtorichnaya ionnaya i ionno – fotonnaya emissiya. Xarkov, XQU, 1988, s. 40.
- [14] O.S.T. Tsong. Surt. Sci. 1978, v. 75, v. 1, p. 1591.
- [15] L.D. Landau, E.M. Lifşits. Kvantovaya mexanika (perelyatevistkaya teoriya). M., Nauka, 1974.
- [16] Fizika ionno – ionnıx i elektronno – ionnıx stolknoveniy. / Per. s anql. pod red. Firsova O.B., M., Mir, 1986, 248 s.
- [17] A.V. Nedospasov, V.D. Xaim. Osnovı fiziki protsessov v ustroystvax s nizko temperaturnoy plazmoy. M., Energoatomizdat. 1991, 224 s.
- [18] A. Verie, P. Juhase, De Wolf, M. Gibbelsk K. Scanning Microscopy. 1988, v. 2, p. 1853.
- [19] S.L. Pojarov, P.K. Xabibullaev. Diagnostika ionnoqo sostava plazmi. Taşkent, FAN, 1987, s. 15.
- [20] C.A. Andersen. Nat. Bur. Stand. Spec. Publ. 1975. No. 427, p. 79.
- [21] V.S. Fayberg, Q.İ. Ramendik. Journ. analit. ximii. 1991, № 2, s. 241 – 252.
- [22] Z.K. Nurubeyli. Trudi pyatoy mejd. konferentsii SİGT, q. Odessa, 2004.
- [23] M.J. Seaton. Proc. Phys. Sci. 1962, v. 79, p. 1105 – 1117.

- [24] Yu.A. Bikovskiy, K.Q. Oksenoyd, Q.İ. Ramendik, S.M. Silnov, E.A. Sotniçenko. Rol protsessov ionizatsii primesnix atomov, uskoreniya i rekombinatsii ionov v

lazerno – plazmennom mass – spektrometrii. Preprint MİFİ, Moskva, 1980, № 003 – 89, 24 s.

К.З. Нуриев

**МЕТОД РАСЧЕТА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ВТОРИЧНЫХ ИОНОВ
В МАСС – СПЕКТРОМЕТРАХ С ПЛАЗМЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ИОНОВ**

В работе проведено исследование процессов ионообразования в различных плазменных источниках масс – спектрометров на основе анализа литературных данных. Дан алгоритм для расчета относительной интенсивности вторичных ионов на основе единой ударной природы ионообразования.

K.Z. Nuriyev

**THE METHOD FOR CALCULATION OF RELATIVE INTENSITY OF THE SECONDARY
IONS IN MASS – SPECTROMETERS WITH PLASMA TYPE IONS SOURCE**

The research of processes of ions formation in various plasma type sources of mass – spectrometers carried out on the basis of analysis of referneed data sources is described in the article.

The algorithm for calculation of relative intensity of the secondary ions on the basis of single impact nature of ion formation is given.

Received: 18.01.05