

**AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI**  
**akad.H.M. ABDULLAYEV adına FİZİKA İNSTİTUTU**

---

*Əlyazma hüququnda*

**MANİÇÖHÜR SALMAN AVAZƏLİ**

**BƏRK MADDƏLƏRİN KÜTLƏ**  
**SPEKTROMETRİK TƏDQIQATLARINDA**  
**ELEMENTLƏRİN NİSBİ HƏSSASLIQ ƏMSALI**

**22.03.01 –Elektronika**

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcə almaq üçün  
təqdim olunmuş dissertasiyanın

**AVTOREFERATI**

**BAKİ – 2013**

**Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər akademiyasının H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.**

**Elmi rəhbər:**

**Fizika – riyaziyyat elmlər namizədi**

**K.Z. Nuriyev**

**Rəsmi opponətlər:**

**Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,  
Professor**

**Ə.X. Muradov**

**Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,**

**İ.S. Həsənov**

**Aparıcı təşkilat: Azərbaycan Texniki Universitetinin “Elektronika” kafedrası**

**Dissertasiya müdafiəsi “25\_”\_09\_\_\_\_\_2013-cü il saat\_\_\_\_-də Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutu D01.011 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcəkdir.**

**Ünvan:AZ1143, Bakı şəhəri, H.Cavid prospekti 33. Faks 994124470456. E-mail: [director@physics.ab.az](mailto:director@physics.ab.az)**

**Dissertasiya ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.**

**Avtoreferat “\_\_\_\_”\_\_\_\_\_2013-cü ildə göndərilmişdir.**

**Dissertasiya şurasının**

**Elmi katibi,**

**Fizika-riyaziyyat elmlər doktoru prof.**

**D.H. Araslı**

## GİRİŞ

**İşin aktuallığı.** Bir çox analitik məsələlərin həllində ionlaşma üsulu kimi qığılcımlı boşalma, lazer şüası və ikinci ion emissiyası olan kütlə spektrometrik üsuldən geniş istifadə edilir. Son vaxtlar bu ionlaşma üsulları ilə yaranan ionların yaranma mexanizmlərinə həsr olunmuş çoxlu sayda işlər dərc olunur. Mütəxəssislərin bu sahəyə marağı əsasən iki məqsəd güdür. Birincisi elmi maraq olub bu ionlaşma üsulları zamanı maddədə gedən ionlaşma proseslərin ardıcılığı və onların maddənin ölçülən tərkibinə (kütlə spektrinə) təsirinin öyrənilməsi, başqa sözlə, kütlə spektrometrik üsulun bir elmi istiqamət kimi nəzəriyyəsinin yaradılmasıdır. İkincisi isə təcrübi xarakter olub, kütlə spektrometrik üsulun analitik xarakteristikalarının və nəticələrin təkrarlanmasının dəqiqliyinin artırılmasıdır.

Hələlik isə kütlə spektrometriyası üsulu ilə aparılan kəmiyyət analizində maddənin ölçülmüş tərkibi ilə onun həqiqi tərkibi əksər hallara üst-üstə düşmür. Buna səbəb müxtəlif fiziki-kimyəvi xassələrə malik elementlərin ionlaşma zamanı nisbi çıxışının müxtəlifliyi ilə yanaşı həm də dispersiyaedici və qeydedici sistemlərdə elementlərin kütlələrinə görə diskriminasiyasıdır. Bunu aradan qaldırmaq üçün adətən nisbi həssaslıq əmsalı (NHƏ) adlanan kəmiyyətdən istifadə edirlər. Maddədə hər hansı elementin miqdarını nümunəyə qatılmış məlum tərkibli və məlum konsentrasiyalı “daxili standart” nəzərən hesablayırlar

$$\frac{J_x}{J_{d.st.}} = NH\theta_{d.st.}^x \cdot \frac{N_x}{N_{d.st.}}. \quad (1)$$

Harada ki,  $J_x$  və  $J_{d.st.}$  – təyin olunan elementi və standart elementi çıxışda qeyd olunan siqnalları,  $N_x$  və  $N_{d.st.}$  – həmin elementlərin nümunədəki konsentrasiyalarıdır.

NHƏ-nin qiymətini təcrübi yolla daxili standartlı nümunələri analiz etməklə tapmaq olar. Lakin daxili standartların hazırlanması, maddəyə qatılması və bu zaman onun homogenliyini təmin etmək çətin olduğundan NHƏ-ni nəzəri və ya empirik ifadələrin köməyi ilə hesablanmasına üstünlük verilir. Hazırda istifadədə olan 20-dən artıq empirik və yarımempirik ifadələrin hər birinin əsasında ionların müəyyən yaranma mexanizmi durduğundan onlardan istifadə etməkdə sisteməlik xəta 100 %-i aşır.

Digər tərəfdən tədqiq olunan nümunələrin tərkibi bəzən o qədər mürəkkəb və müxtəlif xassəli olur ki, təcrübi yolla NHƏ-in təyin olunması qeyri-real statusu alır.

Bu baxımdan NHƏ-ni təyin etmək üçün yeni-yeni ionlaşma modellərinin işlənməsi, istifadədə olan düsturların sadələşdirilməsi və nəhayət daxili standartdan imtina edib, “etalonsuz” analiz üsulundan istifadə etmək yollarının araşdırılması müasir kütlə spektrometriyasının aktual məsələlərindən sayılır.

Həqiqətən ölçmələr zamanı NHƏ-nin formalaşmasına kütlə spektrometrik üsulun bütün mərhələləri öz töhvəsini verir. Ən əsası maddənin atomlaşma ( $NH\theta_a$ ), ionlaşma ( $NH\theta_i$ ), yaranan plazmanın dağılması və ion paketinin

formalaşması ( $NH\Theta_f$ ), mərhələsidir. Sonrakı mərhələlər özündə ionların ion-optik sistemdən keçməsi ( $NH\Theta_o$ ), analizatorda kütlələrinə görə bir- birindən ayrılması ( $NH\Theta_d$ ) və qeyd olunması zamanı onların məruz qaldığı diskriminasiyaları ( $NH\Theta_r$ ) özündə birləşdirir. Başqa sözlə, nisbi həssaslıq əmsalının ifadəsini bir neçə  $NH\Theta$  (hər mərhələyə uyğun) hasili şəklində yazmaq olar.

$$NH\Theta = NH\Theta_a \cdot NH\Theta_i \cdot NH\Theta_f \cdot NH\Theta_d \cdot NH\Theta_r \dots$$

$NH\Theta$ -nin bu ifadəsinə daxil olan vuruqların hesablanması onun ümumi qiymətinin tapılmasını bir qədər asanlaşdırır, çünki hər bir vuruğun arxasında nəzəri cəhətdən həll oluna biləcək diskriminasiyanın növü durur.

Beləliklə, dissertasiya işində qarşıya qoyulan **məqsəd** bərk maddələrin element və izotop tərkibinin lazer, qığılıcımlı boşalma və ikinci ion emissiya ionlaşma üsulu ilə kütlə spektrometrik analizi zamanı meydana çıxan sisteməlik xətlərin elementlərini nisbi həssaslıq əmsalına təsirinin nəzəri və təcrübi araşdırılması adı çəkilən üsullarla ionlaşmanın mümkün modellərindən eləsinə və bu modelə uyğun təcrübənin şərtlərinin elə seçilməlidir ki, elementlərin həssaslıq əmsalının qiymətini vahidə, sisteməlik xətlər uyğun olaraq mümkün qədər kiçik olsun ( $S_r < 0,05$ ).

Bu məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlər qoyulmuş və həllinə cəhd olunmuşdur:

1. İonların nisbi çıxışının onların nisbi həssaslıq əmsalından asılılığının tədqiqi (dərc olunmuş məqalələr əsasında);
2. Sisteməlik xətlərin qiymətləndirilməsində cihaz faktorunun rolu;
3. Lazer və qığılıcımlı boşalma ionlaşma üsulu ilə metalların spektri əsasında nümunənin qarışıq elementlərinin nisbi həssaslıq əmsalının təcrübi yolla qiymətləndirilməsi;
4. İkinci ionların nisbi həssaslıq əmsalının qiymətləndirilməsi;
5. Ölçmələrin sisteməlik xətası ilə elementlərin nisbi həssaslıq arasında nəzəri və ya empirik asılılıqların qurulması.

Dissertasiya işində **elmi yeniliklər** aşağıdakılardır:

1. Bərk maddələrin lazer və qığılıcımlı boşalma üsulu ilə kütlə spektrometrik analizi zamanı nisbi həssaslıq əmsalının təcrübi yolla təyin etmək üçün empirik düstur alınmışdır;
2. Lazer və qığılıcımlı boşalma üsulu ilə ionlaşma zamanı ionların nisbi çıxışı nisbi həssaslıq əmsalı ilə mütənasibliyi müəyyən olunmuşdur;
3. İlk dəfə olaraq nisbi həssaslıq əmsalının qiymətinin vahidə yaxınlaşdırmaq üçün lazer ionlaşma üsulunun rejimi və parametrləri müəyyənləşdirilmişdir.
4. Müxtəlif elementlərin atomlaşma və ionlaşma proseslərindəki diskriminasiyaların səbəbləri aydınlaşdırılmışdır;
5. Plazmada gedən proseslərin əsasında ionlaşmanın kvazitarazlıq mexanizmi təsvir olunmuş və bu model əsasında göstərilmişdir ki,  $NH\Theta$  atomlaşma və ionların birqat ionlaşma potensialından eksponensial asılıdır;

6. Eksperimental olaraq müəyyən edilmişdir ki, ikinci ion emissiyası zamanı ionların nisbi çıxışı ionlaşma potensialı ( $\varphi_i$ ) az, atomlaşma enerjisi ( $\varphi_a$ ) çox olan elementlər üçün daha böyük olur.

**Dissertasiya işinin nəticələrinin praktiki əhəmiyyəti və reallaşdırılması.** Dissertasiya işində alınan nəticələr bərk maddələrin kütlə spektrometrik üsulla element və izotop tərkibinin daxili standartsız (etalonsuz) böyük dəqiqliklə təyin etmək üçün istifadə etmək olar. Bu nəticələrin praktiki dəyəri ondan ibarətdir ki, müxtəlif fiziki kimyəvi xassələrə malik qarışıq elementlərdən ibarət olan bərk maddənin bu üsulla ölçülmüş tərkibi onun həqiqi tərkibinə yaxınlaşdırmaq üçün bir sıra mürəkkəb riyazi hesablamalardan istifadə olunurdu.

Dissertasiya işində alınan əsas nəticə lazer, qığılıcılı boşalma və digər üsulun hər biri üçün təcrübənin bütün şərtləri müəyyənləşdirilmiş, istər lazer, istərsə də qığılıcılı boşalmanın rejiminə uyğun tədqiq olunan ionların parametrləri təyin olunmuşdur.

100-ə yaxın maddənin kütlə spektllərinin köməyi ilə maddələrin nisbi həssaslıq əmsalını əks etdirən cədvəllər seçilmiş, NHƏ - ni xarici standart nəzərən təyin etməyə imkan verir. Dissertasiyada alınan nəticələr göstərir ki, bu cədvəllərin köməyi ilə bəzi dielektrik və yarımqeçirici maddələrin də element tərkibini tədqiq etmək mümkündür.

Müdafiəyə çıxarılan əsas elmi müddəalar:

1. Bərk maddələrin kütlə spektrometrik üsulla kimyəvi, element və izotop tərkibinin tədqiqi zamanı ayrı-ayrı elementlərin nisbi çıxışının diskriminasiyasının səbəblərini fiziki-kimyəvi əsasları;

2. Üzvi və qeyri-üzvi maddələrin lazer və qığılıcılı boşalma üsulları ilə ionlaşması zamanı yaranan plazmanın ionlaşma dərəcəsinin və ion tərkibinin tənzim olunma üsulları;

3. Elementlərin nisbi həssaslıq əmsalının onların atomlaşma və ionlaşma enerjilərindən asılılıq təcrübi nəticələri və onların nəzəri izahı;

4. Lazer plazmasının və ya qığılıcılı boşalma ion tərkibinin formalaşmasında ionların rekombinasiyasının rolu.

**İşin aprobasiyası.** İşdə əldə olunan nəticələr Respublika və Beynəlxalq elmi konfranslarda, 2008-ci il Rumıniyada, 2009-cu il İspaniyada, 2010-cu il İranda (Təbriz) keçirilən Energetikanın fiziki və texniki problemlərinə həsr olunmuş IV, V, VI beynəlxalq konfranslarda məruzə edilmiş, Fizika İnstitutunda laboratoriyaların birgə seminarında müzakirə edilmişdir.

**Dərc olunan məqalələr.** Dissertasiya işi mövzusunda respublikada və xarici jurnallarda 7 məqalə dərc edilmişdir (o cümlədən, "Fizika", "Приборы и техника эксперимента", «Журнал технической физики» və «Электронная обработка материалов»).

**Dissertasiyanın həcmi və strukturu.** Dissertasiyanın ümumi həcmi 179 səhifədən, 40 şəkil, 14 cədvəl və 133 sayda istinad olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir.

**İşin birinci fəsl**i üzvi və qeyri – üzvü maddələrin qığılclımlı boşalma, lazer və ikinci ion emissiyası ionlaşma üsulları ilə kütlə spektrometrik analizinə həsr olunmuş işlərin içməlinə həsr olunub.

Göstərilmişdir ki, ionlaşma üsulundan asılı olmayaraq maddələrin kimyəvi analizi zamanı onun ölçülən tərkibi ilə həqiqi tərkibi arasında uyğunsuzluğun səbəbi müxtəlif atomların fiziki-kimyəvi xassələrindən asılı olaraq atomlaşma enerjisinin və ionlaşma potensiallarının müxtəlifliyidir.

Bu zaman istifadə olunan nisbi həssaslıq əmsalı (NHƏ)

$$K_{d.st.}^x = \frac{n_i}{n_{d.st.}} \quad (2)$$

adlanan anlayışdan istifadə edilir. Burada  $n_i$  - tədqiq olunan elementin konsentrasiyası,  $n_{d.st.}$  - daxili standart olan elementin konsentrasiyasıdır. Ədəbiyyatlarda bir çox mütəxəssislər NHƏ-ni təyin etmək üçün empirik və yarımempirik düsturların köməyi ilə təyininə daha geniş yer vermişlər.

Qeyd edilmişdir ki, nisbi həssaslıq əmsalının vakuumda qığılclımlı boşalma zamanı müxtəlif atomlar üçün müxtəlif olması bir çox amillərdən asılıdır. Bu amillərin bir çoxu məşhur işlərdə ətraflı tədqiq olunmuş, onların korreksiyası üçün şərtlər qəbul edilmişdir.

Alınan nəticələrin düzgünlüyünü və dəqiqliyini yaxşılaşdırmaq üçün son vaxtlar daxili standartlardan (bir və ya iki) istifadə edilir. Tədqiqatlar göstərir ki, bu halda maddələrin çoxelementli analizi zamanı xətlərin azalmasına nisbətən nail olmaq olar. Lakin bu halda da nəticələrin düzgünlüyünə daxili standartın fiziki-kimyəvi təsiri böyükdür. Bu o deməkdir ki, qığılclımlı boşalma ion mənbəyinin köməkliyi ilə kütlə spektrometrik analizin dəqiqliyinin artırılması problemi hələ də həll edilməmiş qalır.

Elə buna görə də bir çox elmi mərkəzlərdə bərk maddələrin element və izotop tərkibinin dəqiq tədqiqi üçün qeyd olunan nisbi həssaslıq əmsalının hesablanması üçün bir sıra mexanizmlər irəli sürülmüşdür. Təbii ki, bu mexanizmlərin hansının nə zaman və hansı təcrübi şəraitdə tətbiq edilməsinin mümkünlüyü ionlaşma üsulundan əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır.

Qarşıya qoyulan məqsədə nail olmaq üçün qığılclımlı boşalma üsulu ilə yanaşı lazer üsulu ilə şüalanma üsulundan da geniş istifadə olunmuşdur. Müasir lazer qurğuları çıxışda elə yüksək şüalanma gücünə malik olur ki, onların enerjisini müəyyən nöqtədə fokuslamaq üçün heç də böyük optik sistemdən istifadə etmək vacib deyil. Bucağa görə kiçik dağınıqlığa (1,5 mrad) malik lazer şüasını bərk cismin səthində fokuslamaqla onun intensiv elektrik toplananının maddə ilə güclü qarşılıqlı təsir prosesinin baş verməsinə səbəb olur. Kondensə olunmuş maddənin səthində baş verən bu proseslərin xarakteri lazer şüasının intensivliyinin geniş diapazonundan ( $q = 10^5 - 10^{10}$  Vt/sm<sup>2</sup>) və onun düşmə bucağından asılıdır.

Maddə ilə qarşılıqlı təsirdə olan lazer şüasının enerjisi ionların istiqamətlənmiş hərəkətinin enerjisinə çevrilir. Təcrübələr göstərir ki, lazer impulsunun enerjisinin təxminən 70 % ətrafa yayılan ionların kinetik enerjisinə çevrilir. Bu zaman plazma kütləsinin yayılma sürəti  $v = 2e/(\gamma - 1)$  ifadəsindən almaq

olar, burada  $c = (\gamma RT/M)^{1/2}$  - səs maddədə yayılma sürəti,  $\gamma$  - adibatik göstərici,  $M$  - ionun molekulyar kütləsidir.

Qeyd edək ki, lazer plazmasının ətrafa yayılması zamanı onun elektronlarının sıxlığı  $n_e$ , temperaturu  $T_e$  maddənin səthindən 0,5-5,0 mm məsafədə  $T_e \cdot n_e^{2/3} = \text{const}$  qanununa tabe olur.

Lazer kütlə spektrometriyası zamanı müxtəlif qat ionlaşmış atomların bucağa görə paylanması şüanın müxtəlif intensivliyinə uyğun müxtəlif materiallar üçün öyrənmişdir. Bu işlərin nəticələri ionların bucağa görə paylanma qanunauyğunluğu haqqında nəticə çıxarmağa imkan vermişdir.

1. Enerjiləri 50-300 intervalında olan ionların enerji izotropdur.

2. Lazer şüasının  $q > 10^{10}$  Vt/sm<sup>2</sup> qiymətində enerjisi 250-300 eV-dən çox olan ionlar bucağa görə anizotropdur.

3. Lazer şüasının intensivliyindən, ionların yükündən, enerjisindən, lazer şüasının düşmə bucağından asılı olmayaraq ionların bucağa görə paylanması nümunəsinin səthinə çəkilən normala nəzərən simmetrikdir.

Bu fəsilə göstərilmişdir ki, birqat ionlaşmış atomların nisbi çıxışı nə lazer şüasının intensivliyindən, nə də onların birinci tərtib ionlaşma potensialından asılı deyil, bəzi elementlər üçün NHƏ 1-ə bərabərdir.

Görülən işlərin nəticələri göstərir ki, plazmanın vakuuma yayılmasının ilk anlarında onun tərkibində çoxqat ionlar üstünlük təşkil edirsə, plazma qərarlaşandan sonra birqat ionlar daha çox olur.

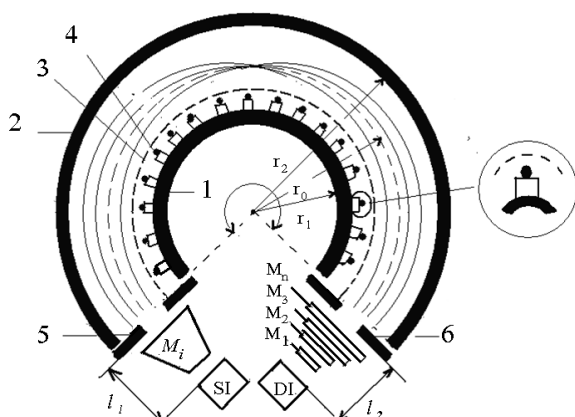
**İkinci fəsilə** təcrübə üsulu və tədqiqat aləti kimi istifadə edilmiş xüsusi konstruksiyaya malik kütlə spektrometrinin təsviri verilmişdir. Burada cihazın texniki göstəricilərini yaxşılaşdırmaq məqsədi ilə xüsusi qurğular hazırlanmış və tətbiq olunmuşdur.

İşdə qarşıya qoyulan əsas məqsəd təcrübə işlərin nəticələrinin qeyri-dürüslüyünə səbəb olan sistematik xətalara azaltmaq məqsədi ilə elementlərin nisbi həssaslıq əmsalının bütün elementlər üçün bərabərləşdirmək olduğundan təcrübə üsulunun seçilməsi, onun texniki göstəricilərinin yaxşılaşdırılması əsas məqsədlərdəndir. Bu məqsədlə dissertasiya işində dreyf fəzası aksial-simmetrik elektrik sahəsindən ibarət olan uçuşmüddətli kütlə analizatorundan istifadə edilmişdir.

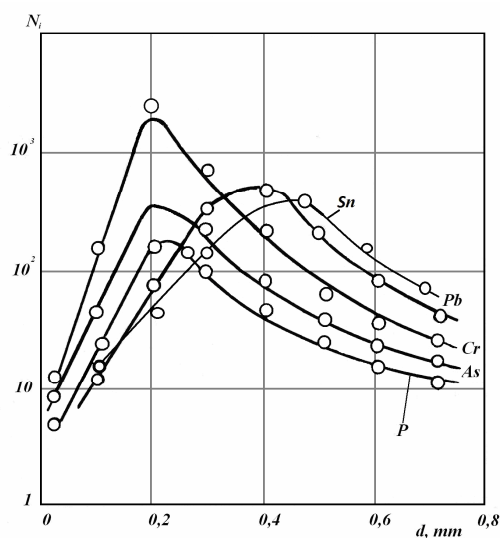
Bunun üçün hər şeydən əvvəl cihazın ayırdetmə qabiliyyətini məhdudlaşdıran amillər araşdırılmış və aydın olmuşdur ki, bunun əsas səbəbi tədqiq olunan ionların özünün məxsusi fəza yüküdür. Müəyyən kütləli ionlardan ibarət olan ion paketinin daxilində hökm sürən müsbət fəza yükü ionların kulon qarşılıqlı itələmə qüvvəsi hesabına bir-birindən aralandırır. Bu zaman ion paketi hər üç istiqamətdə ( $x, y, z$ ) genişlənir və ardıcıl hərəkət edən iki pik ionları bir-birinə qarışır, bu zaman cihazın ayırdetmə qabiliyyəti azalır. Təcrübələr göstərir ki, ion cərəyanının elə qiyməti var ki, bundan böyük qiymətlərdə ayırdetmədən danışmağa dəyməz.

Bu fəsilə cərəyanın kritik adlandırılan bu qiyməti hesablanmış, onun təcrübə qiymətlə yaxınlığı göstərilmişdir. Fəza yükünün təsirini aradan qaldırmaq üçün aksial-simmetrik analizatorun daxilində süni yolla elektronların fəza yükü yaradılmışdır. Elektron cərəyanının qiyməti elə seçilmişdir ki, onların yaratdığı

Aparılan təcrübələr üç ionlaşma üsulunun köməyi ilə keçirildiyi üçün həm lazer, həm vakuumba qığılcımlı boşalma, həm də ikinci ion emissiyası ilə ionların alınması üçün istifadə edilən qurğuların təsviri və iş prinsipi ətraflı verilmişdir.



Şək. 1 Aksial simmetrik elektrik sahəsinə malik enerji-kütlə analizatoru  
1,2-daxili və xarici elektrodlar, 3-idarəedici tor,  
4-qızdırılan katod, 5,6-giriş və çıxış diafraqmaları,  
 $M_i$  -ion paketi, Sİ-ion mənbəyi, Dİ-ion detektoru.



**Şək.2** Misin qarışıq elementlərinin I qat ionlarının nisbi çıxışının laser şüasının dametrindən asılılığı,  $q = 5 \cdot 10^9 \text{ W/sm}^2$

Hisbi həssaslıq əmsalının ölçülməsi, onun ölçmələrin sistematik xətasına təsirini öyrənmək üçün təcrübənin şərtlərinin seçilməsi, onların nəzəri hesablanması və təcrübə təsdiqi eksperimental işin vacib məsələləridir. Bu fəsilə nümunənin seçilməsi, onun təmizlənməsi, səthinin aşılması və digər proseslər böyük dəqiqliklə təsvir olunmuşdur.

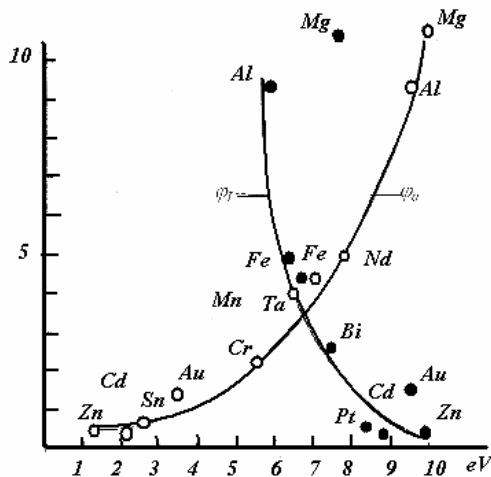
Göstərilmişdir ki, lazer şüasının intensivliyini dəyişmək üçün onun fokal müstəvisini nümunədən əvvəl və sonra yerləşdirmək və ya şüanın nümunəsinin səthinə düşmə bucağı səthdən qopan ionların kütlə spektrini dəqiqliyinə təsir edir.

**İşin üçüncü fəslində** bərk maddələrin element və izotop analizi zamanı meydana çıxan nisbi həssaslıq əmsalının təyininin və onun qiymətinin azaldılması yolları araşdırılmışdır. Bu fəslə daxil olan materialların əksəriyyəti orijinal olub, dərc olunmuş təcrübə və nəzəri işlərin nəticələrindən təşkil olunmuşdur. Fəslin girişində bərk maddələrin səthinə intensiv lazer şüası ilə təsir etdikdə, orada gedən fiziki proseslər araşdırılmış və lazer şüasının əsas parametrləri seçilmişdir.

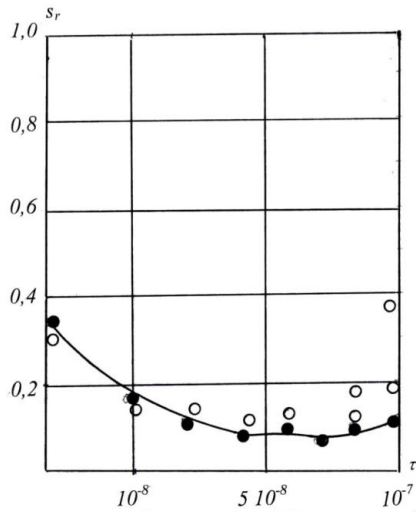
Araşdırmalar göstərmişdir ki, lazer şüasının bərk halda olan nümunənin səthi ilə qarşılıqlı təsir zamanı işıq kvantları maddənin elektronları tərəfindən udulur. Bu elektronların digər elektronlarla təsiri nəticəsində nümunənin səthinin lokal bir hissəsi, yüksək temperatur qədər qızır. Şüanın intensivliyindən asılı olaraq bu qarşılıqlı təsir müxtəlif mexanizmlərlə baş verir. Lakin analitik təcrübələr üçün əsas məsələ bu qarşılıqlı təsirdən yaranan ionlar maddənin tərkibini necə əks etdirir.

Təcrübələr göstərir ki, işıq selinin intensivliyinin kiçik qiymətlərində ( $q \sim 10^6 - 10^7 \text{ Vt/sm}^2$ ) maddənin buxarlanmasından yaranan atomların sayı bərk maddənin istilik keçirməsindən çox onun gizli buxarlanma istiliyi ilə təyin olunur. Bu halda maddənin dağılması prosesinin xarakterini şüalanan obyektin istilikkeçirmə məsələlərinin həllindən almaq olar.

Əgər düşən lazer şüasının intensivliyi hər hansı  $q$  qiymətindən çox olarsa, atomların həyacanlanması, ionlaşması və nümunənin udma əmsalı hesabına qazın temperaturu artır. Bu zaman buxar düşən şüanı tamamilə udur ki, bu da orada baş verən prosesləri xarakterizə edir.  $q$ -ün bu hala uyğun sərhəd qiymətini buxarın qazodinamik tənliyinin həllindən almaq olar.



**Şək. 3** İonların nisbi çıxışının onların  $\varphi_i$ -ionlaşma potensialının və  $\varphi_a$ -atomlaşma enerjisindən asılılığı



**Şək.4** Ölçmələrin nisbi sisteməlik xətlərinin ( $S_r$ ) ayrı-ayrı piklərin intensivliyindən asılılığı

Bu zaman birqat ionlaşmış atomların nisbi çıxışını hesablaməq üçün iki üsuldan istifadə olunmuşdur:

- Saha – Eqqert tənliyi əsasında (ionlaşma prosesi plazmada gedir);
- Saha – Lənqmür tənliyi əsasında (ionlaşma nümunənin səthinin lazer şüası ilə qızdırılmış hissəsində gedir).

Çoxsaylı təcrübələr göstərir ki, birqat ionların nisbi çıxışının lazer şüasının intensivliyindən asılılığı  $N \sim q^{0.8} d^2$  asılılığına yaxındır (burada  $d$  - lazer şüasının diametridir). Bununla əlaqədar olaraq paslanmayan poladın qarışıq elementləri olan  $Cr, Mn, Fe, Ni, Cu$  müxtəlif qat ionlaşmış atomlarının çıxışının lazer şüasının intensivliyindən asılılığı aydınlaşdırılmışdır. Bu zaman lazer şüasının intensivliyinin dəyişmə diapazonu  $10^8 - 10^{10}$  Vt/sm<sup>2</sup> idi.

Ölçmələr göstərmişdir ki, şüanın intensivliyinin  $10^9 - 10^{10}$  Vt/sm<sup>2</sup> olduqda birqat ionların konsentrasiyasının

$$\frac{N_m^+}{N_n^+} = \left( \frac{M_m^+}{M_n^+} \right)^{1/2} \quad (3)$$

düsturu ilə hesablanan nisbi çıxışı demək olar ki, bütün qarışıq elementləri üçün nə şüanın intensivliyindən, nə də birinci ionlaşma potensialından asılı deyildir.

Bunu izah etmək üçün plazmada baş verən rekombinasiya prosesini nəzərə almaq kifəyətdir. Doğrudan da plazmanın elektron və ion toplananları arasında enerji mübadiləsi müddəti lazer şüasının davamətmə müddətindən çox kiçik olduğu üçün plazmanın halının lokal termodinamik tarazlıq vəziyyəti kimi qəbul etmək olar. Bu zaman plazmanın yüksək temperaturu onda çoxqat ionların üstünlük əmələ gətirməsi üçün şərait yaradır.

Nisbi həssaslıq əmsalını hesablamaq üçün hər bir elementin ionlarının kütlə spektrində yükə görə paylanmasını bilmək vacibdir. Fərz edək ki, plazmanın ionlaşma dərəcəsinin kiçik qiymətlərində ionların statistik çəkirlərinin fərqi kiçik olduğu üçün nəzərə almamaq olar, onda iki atomun nisbi ionlaşmasının ifadəsini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\frac{N^+ N^0}{N_x^0 N_y^+} = \exp\left(\frac{\phi'_x - \phi'_y}{k T_p}\right) \quad (4)$$

burada  $\phi'_x$  və  $\phi'_y$  - iki uyğun elementin birinci tərtib ionlaşma potensiallarıdır.

Əgər daxili (və ya xarici) standart element kimi bu elementlərdən birini qəbul etsək (məsələn,  $^{56}\text{Fe}$ ) NHƏ əmsalının ifadəsinin köməyi ilə istənilən qarışıq elementi üçün tapmaq olar.

Spektrdə çoxqat ionlaşmış ionlar olan halda daxili (və ya xarici) standartla görə nümunəyə daxil olan hər hansı bir qarışıq elementin miqdarının birini təyin etmək üçün istifadə edəcəyimiz NHƏ-nin ifadəsi belə olardı

$$K_x = \frac{1}{C_x} \frac{\sum_{i=1}^z N_x^i}{\sum_{i=1}^z N_{st}^i} \frac{C_{st}}{K_{st}}, \quad (5)$$

burada  $C_{st}$  - daxili standart elementin nümunədə miqdarı;  $C_x$  -  $x$  elementinin nümunədə həqiqi miqdarıdır.

Həm lazer, həm də qığılıcımli boşalma yolu 100 – dən artıq sikl ölçmələr əsasında alınmış NHƏ – nin bu yarımempirik ifadəsinin köməyi ilə nümunənin qarışıq elementlərinin ionlarının ( $z=1,2,3,4$ ) hər birinin nisbi çıxışını hesablamaq mümkündür. Qeyd edək ki, bu zaman lazer şüasının intensivliyi ( $q$ ) və ya qığılıcımli boşalmanın enerjisinin sabitliyi gözlənilməlidir.

Bu fəsilə həm də bərk maddələrin ikinci ion emissiyası (İİE) üsulu ilə ionlaşmasında NHƏ-nin araşdırılmasının təcrübi nəticələri verilmişdir. Enerjisi 2,5 - 5,5 keV və cərəyan sıxlığı 0,1 - 0,5 mA/sm<sup>2</sup> olan ilkin ionlar arqon, oksigen və ksenon qazlarının qövs boşalması plazmasından alınmasıdır. Təcrübələr 27 təmiz metalın nisbətən geniş yayılmış izotopları üzərində aparılmışdır.

Təcrübələr göstərir ki, müxtəlif elementlərin ikinci ionlarının nisbi çıxışı  $Ar^+$  ionları üçün iki tərtib,  $O^+$  üçün üç tərtib təşkil edir. Bu isə analizatorun həssaslığına bilavasitə təsir göstərir. İşdə elementlərin nisbi həssaslıq əmsalının onların atomlaşma enerjisi və ionlaşma potensialından asılılığı tədqiq olunmuşdur. Təcrübələr göstərir ki, elementlərin NHƏ-si onların birinci ionlaşma potensialından ( $\phi'$ ) asılılığı kvadratik xarakter daşıyır.

Həmin elementlərin sublimasiya enerjisinin NHƏ-yə təsiri heç də ionlaşma enerjisindən az deyil. Başqa sözlə ikinci ion emissiyası zamanı  $x_i$  elementinin nisbi çıxışı kiçik ionlaşma potensialına malik ionlar üçün böyük, böyük atomlaşma enerjisində malik ionlar üçün isə kiçik olur. Bu istiqamətdə görülmə işlər sırasında önəmli nəticələrdən biri də nisbi həssaslıq əmsalının elementlərin Mendeleyevin dövrü cədvəlində onların yerləşdiyi sıra nömrəsindən asılılığıdır. Təcrübələr göstərir ki, eyni sırada yerləşən metallar üçün ( $Mg, Zn, Al, Cd, Ti, Sn, Pb$ ) NHƏ-nin

qiyməti sıra nömrəsi artdıqca xətti azalır. NHƏ-nin düz xəttədən ibarət asılılığı müxtəlif qruplar üçün paraleldir.

Əyrilərin bu cür gedışı bir qrupun daxilində yerləşən elementlərin izoelektronluğu ilə izah etmək olar, başqa sözlə bu elementlərin valent elektronlarının sayının eyniliyi ilə əlaqələndirmək olar. Bu elementlərin fiziki xassələri bir-birinə yaxındır.

Beləliklə, çoxlu sayda təcrübi işlərin nəticələri göstərir ki, bu cür ölçmələrdə ikinci ion emissiya əmsalı böyük intervalda dəyişir. Bu dəyişiklik birinci ionların həm enerji, həm də kimyəvi xassələri ilə təyin olunur.

Bu fəsilə həmçinin, vakuuma dağılan plazma daxilində ionların rekombinasiyasının elementlərin HNƏ-sinə təsirinin təcrübi araşdırmalarının nəticələri verilmişdir. Paslanmayan poladın qarışıq elementlərinin birqat və çoxqat ionlaşmış atomlarının sayının lazer şüasının diametrindən ( $d$ ) asılılığı göstərir ki, kütlə spektrində  $z=1,2,(3)$  qat ionlaşmış atomlar üstünlük təşkil edir. Lazer şüasının diametri artdıqca spektrdə daha yüksək dərəcə ionlaşmış atomlar görünür.

Beləliklə, matrisanın bir və çoxqat ionlarının yaranması ilə qarışıq elementlərinin yaranması arasında müəyyən korrelyasiya müşahidə olunur. Bu baxımdan ilkin nəticələr əsasında kiçik zamanda matrisanın ionlarının nisbi çıxışı əsasında onun qarışıq elementlərinin qeyd olunma şərtini operativ proqnozunu vermək olar.

Dissertasiyada plazmanın ionlaşma tarazlığına ionların rekombinasiyasının təsiri nəzərə alaraq araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, lazer şüasının hədəfə təsiri zamanı hökm sürən proseslərdən biri (ionlaşma, sürətlənmə və rekombinasiya) üstünlük təşkil edir. Kəmiyyət analizinin dəqiqliyini artırmaq üçün lazer şüasının ləkəsinin diametrinin seçilməsinə elmi yaxınlaşma əldə olunmuşdur.

**Dördüncü fəsil** elementlərin və izotopların nisbi həssaslıq əmsalının qiymətləndirilməsində yol verilən xətlərin azaldılmasına və etalonsuz ölçmələrin mümkünlüyünün araşdırılmasına həsr olunmuşdur. Burada lazer və qığılımlı boşalma üsulu ilə maddələrin (elementlərin) izotop analizinin tədqiqinin nəzəri və təcrübi nəticələri verilmişdir.

Təcrübi yolla izotopların nisbətinin təyini tərkibində 2,17 atom faizi olan La-663 bürünc nümunəsi üzərində aparılmışdır. Təcrübə zamanı lazer impulsunun müxtəlif davamətmə müddətlərində aparılmışdır. Bu zaman hər davamətmə müddətinə uyğun 20 kütlə spektri alınmış və hesablamalar birqat ionlaşmış atomlar əsasında aparılmışdır. Hesablamalar üçün təbiətdə yayılmasına görə müxtəlif izotopları olan qalay ( $S_n$ ) qəbul edilmişdir. Təcrübələr göstərir ki,  $S_n$ -in 120, 122 və 124 a.k.v. izotoplarının intensivliyini hesablanması zamanı sisteməlik xəta 0,21 qədər artır. Bu zaman  $S_r=0,03-0,05$  olur. Ölçmələrin sisteməlik xətlərinin kiçik qiymətləri böyük kütləli izotoplar üçün elementlərin diskriminasiya effektini müşahidə etməyə imkan verir.

Təcrübənin və hesablamaların nəticələri göstərir ki, təsadüfi xətlər ədəbiyyatda verilən qiymətlərə yaxın olub, çox ehtimal ki, kütlə spektrinin qeyd olunma prosesi ilə bağlıdır.

Dissertasiya işində qarşıya qoyulan məsələlərdən biri də qığılcımlı kütlə-spektrometrik üsulu ilə daxili standartdan istifadə etmədən (etalonsuz) bərk maddələrin tərkibini öyrənilməsinin mümkünlüyünün tədqiqidir.

Bu məqsədlə 20-yə yaxın təmiz metal nümunələr tədqiq olunmuşdur. Nümunələrdəki qarışıq elementlərin miqdarı  $10^{-2}\%$ -dən kiçik idi. Hər nümunə üzrə 100 qığılcımlı boşalma nəticəsində alınan kütlə spektrometrlərinin orta qiyməti götürülmüşdü. Bu zaman impulsun amplitud qiyməti 10 kV, təkrarlanma tezliyi 0,5 Hs, davamətmə müddəti  $(2-8)10^{-8}$  san.

Hər bir nümunənin xarici standartla görə nisbi ionlaşmasının tədqiqi göstərdi ki, bu nisbət elementlərin Mendeleyev dövrü sistemdə tutduğu yerdən və atom kütləsindən asılıdır. Bu cür asılılıq elementlərin ionlaşma potensiallarının tərs qiymətinin onların atom kütlələrindən asılılığını keyfiyyətcə təkrar edir.

Bu isə onu göstərir ki, nisbi ionlaşmanın atom kütləsindən və sublimasiya istiliyindən asılıdır. Hesablamalar göstərir ki, eyni yarımqrup elementləri içərisində ionlaşma potensialı kiçik olan element bir qığılcım müddətində daha çox maddə kütləsi itirir. Bu onunla izah olunur ki, böyük kütləli elementi ionlaşma temperaturuna qədər qızdırmaq üçün daha çox boşalma enerjisi tələb olunur.

Silisiyum, alüminium və polad nümunələrinin matrisa elementinin nisbi ionlaşmasının onun qarışıq elementinin nisbi konsentrasiyasından asılılığı öyrənilmişdir. Bu silsilə təcrübələr göstərmişdir ki, qığılcımlı boşalmanın təsiri ilə matrisanın nə maddə kütləsinin nümunədən kənara tullanması, nə də onun ionlaşma dərəcəsi nümunədə olan qarışıq elementlərin miqdarından asılı deyil.

Matrisa elementinin qarışıq elementlərin təyin olunma həssaslığına təsirinin tədqiqi göstərir ki, bu həssaslıq, başqa sözlə qarışıq elementin pikinin hündürlüyünün onun konsentrasiyasına nisbəti həmin elementin ionlaşma qabiliyyəti ilə mütənasibdir. Bu ölçmələrdə aparılan analizin hesablanmış dürüstlük faizi təxminən 15 %-dir.

Beləliklə, qarışıq elementinə görə həssaslıq matrisaya görə həssaslıqdan fərqi sadə elementlərin ionlaşma dərəcələrinin nisbəti qədərdir. Əgər həm matrisa, həm də qarışıq elementi periodik sistemin eyni yarımqrupuna daxildirsə, onda o elementin piklərinin hündürlüyünün konsentrasiyasına nisbəti bərabər olur.

Bu nəticə bərk maddələrin spektrometrik tədqiqatlarında etalonsuz ölçmələrin mümkünlüyünü sübut etmək üçün əsas nəticələndir.

### **İşdə əldə olunan nəticələr**

1. Təcrübi olaraq sübut olunmuşdur ki, ikinci ion kütlə spektrometriyasında ikinci ionların  $NH\Theta$  - lı elementlərin atomlaşma enerjisindən və ionlaşma potensialından asılıdır. Atomlaşma enerjisi böyük ionlaşma enerjisi isə kiçik olan ikinci ionların nisbi çıxışı daha çox olur.
2. Lazer və ya qığılcımlı boşalma üsulu ilə yaranan plazma bir və çoxqat ionlardan ibarət olmasına baxmayaraq maddənin tərkibini əsasən elementin birqat ionları daha düzgün əks etdirir.

3. İlk dəfə olaraq təcrübi yolla göstərilmişdir ki, qarışıq elementlərin bir və ya çox qat ionlarının maksimal çıxışı ilə lazer şüasının diametri arasında korrelyasiya əsasında lazer plazmasının istənilən ionlaşma dərəcəsini proqnozlaşdırmaq mümkündür.
4. İlk dəfə olaraq müəyyən olunmuşdur ki, plazmanın vakuumda dağılması zamanı rekombinasiya prosesinin onun ion tərkibinə təsiri böyükdür, plazmanın ətrafa dağılması müddətində ion tərkibi orada gedən rekombinasiyalar hesabına formalaşır və sonda əsasən birqat və ikiqat ionlardan ibarət olur. Bu isə öz növbəsində elementlərin NHƏ – nı vahidə yaxınlaşdırır.
5. İlk dəfə olaraq lazer ( və ya qığılıcılı boşalma) plazması halında elementlərin diskriminasiyası onların plazma oblastında olma müddətindən, başqa sözlə atomun kütləsindən asılıdır.
6. Eksperimental olaraq müəyyən olunmuşdur ki, müxtəlif elementlərin NHƏ – nın bir – birinə yaxın olması üçün lazer ionlaşma üsulu ilə aparılan təcrübələrdə parametrlər aşağıdakı kimi olmalıdır:  
 $10977772$   
 , plazmanın başlanğıc radiusu 0,1 – 0,2 mm düşmə bucağı  
 $450$   
 , çoxqat ionların rekombinasiya müddəti lazer impulsunun davamətmə müddətindən çox kiçik olmalıdır ( $\tau_r < 10^{-12} \text{s.}$ )

#### **Dissertasiya mövzusunda müəllifin aşağıdakı işləri dərc edilmişdir**

1. Салман Манучар А., Алиев Б.З., Нуриев К.З. Физическая картина атомизации, ионизации и рекомбинации в лазерной масс-спектрометрии твердых тел // Fizika, 2007, с. 13, № 4, с. 148-150.
2. Салман Манучар А., Нуриев К.З., Нурубейли Т.К., Халилов Д.Д. Источники погрешностей искровой и лазерной масс-спектрометрии при определении состава элементов твердых веществ // Проблемы энергетики, 2009, № 2, с. 69-73.
3. Salman Manuchehr A., Nurubeyli Z.K., Nuruyev K.Z. Mechanism of formation of multicharacterized ions on the surface conductors and dielectrics in laser mass-spectrometry // Article 4<sup>th</sup> International Conference on Technical and Physical Problems of Power Engineering (TPE-2008) (IV-41- IV-44) 4-6 September, Pitesti, Romania.
4. Салман Манучар А., Нуриев К.З., Нурубейли З.К., Тагиева Э.Г., Мамедбейли А.Г. Влияние рекомбинации ионов разлетающейся плазмы на относительную чувствительность элементов в лазерной масс-спектрометрии // Fizika, 2008, с. 14, № 3, с. 116-120.
5. Гашимов А.М., Нуриев К.З., Салман Манучар А., Гурбанов К.Б., Нурубейли З.К. Коэффициенты относительных чувствительностей для безэталонного анализа твердых веществ методом масс-спектрометрии вторичных ионов // Электронная обработка материалов, 2008, № 2, с. 98-1004.

6. Нуруев К.З. Салман Манучар А. Гашимов А.М. Гурбанов К.Б. Нурубейли Т.К. Автоматическая корректировка ионов аксиально симметричном масс-анализаторе // Приборы и техника Эксперимента, 2009, № 2, с. 94-97//
7. Salman Manuchar A. The relative yield of secondary ion of conducting material impurity elements at their mass-spectral analysis // Articl 4<sup>th</sup> International Conference on Technical and Physical Problems of Power Engineering (TPE-2009) pp 236-239 Bilbad Spain
8. Salman Manuchar A. Errors at measurements of isotope relations for solid substances elements by means of a spark mass-spectrometer // Articl 4<sup>th</sup> International Conference on Technical and Physical Problems of Power Engineering (TPE-2010), 14-16 September 2010, Tabriz – Iran.
9. Гашимов А.М., Нуриев К.З., Гурбанов К.Б., Манусар Салман А., Нурубейли З.К., Нурубейли Т.К. Зависимость зарядового состава ионов металлов от плотности лазерного излучения при лазерной масс-спектрометрии // Журнал технической физики, 2009, т. 79, в. 8, с. 99-103.
10. Манусар Салман А., Нуриев К.З., Халилов Д.Д. Исследование фторосодержащихся полимеров с помощью масс-спектрометрии вторичных ионов // Проблемы энергетики, 2010, № 4, с. 38-43.
11. Манусар Салман А., Нурубейли З.К., Нуриев К.З., Нурубейли Т.К. О безэталонном анализе твердых тел искровым масс-спектрометрическим методом //Электронная обработка материалов, 2011, № 3, с. 27-32.
12. ManuçöhürS.A., Nurubəyli T.K., Nuriyev K.Z. Bərk maddələrin element tərkibinin kütlə spektrometrik üsulla etalonsuz təyininin mümkünlüyü // Fizika 2013 cild 19 № 2, səh. 53 – 56//

**Салман Манучар А.**

**Коэффициент относительной чувствительности элементов при масс-спектрометрическом анализе твердых веществ.**

**Аннотация.**

Для масс-спектрометрии твердых тел (лазерной, искровой или вторичной ионной эмиссией) центральной является проблема получения надежных количественных данных. Несмотря на ряд достоинств масс-спектрометрического метода, состав масс-спектра не всегда соответствует истинному составу пробы. Для учета этого несоответствия используют коэффициенты относительной чувствительности (КОЧ) определяемого элемента по отношению к внутреннему стандарту.

На основе данных о степени ионизации ряда простых веществ под действием искрового разряда в вакууме, показано, что отношение чувствительности обнаружения примеси (т.е. КОЧ) к чувствительности регистрации матрицы равно отношению ионизуемости простых веществ. Предложена формула для расчета КОЧ без использования внутренних стандартов. При этом нижний предел обнаружения для большинства примесей равен  $5 \cdot 10^{-4}$  атомных процентов.

Показаны, что количественные измерения методом масс-спектрометрии вторичных ионов (ВИ) связаны с некоторыми трудностями, которые связаны прежде всего большим различием значений коэффициентов ВИЭ. Кроме того, абсолютные величины

этих коэффициентов сильно зависят от экспериментальных условий. Многочисленные эксперименты показывают, что относительный выход ионов различных элементов примесей зависит от первого и второго потенциалов ионизации ( $\varphi_i$ ) и имеет квадратичный вид. Зависимость  $K_i^+$  от энергии связи, свидетельствует о влиянии процессов атомизации, т.е. о влиянии скоростей и энергий испаренных атомов на относительный выход ВИ. Наибольший  $K_i^+$  наблюдается для элементов с меньшим  $\varphi_i$ , но с большей энергией атомизации ( $\varphi_a$ ).

## **SALMAN MANUCHAR**

### **The coefficient of relative sensitivity of the elements in the mass spectrometric analysis of solids.**

#### **SUMMARY**

For mass spectrometry of solids (laser, spark or secondary ion emission) is the central problem of obtaining reliable quantitative data. Despite some advantages of mass spectrometric method, the composition of the mass spectrum does not always correspond to the true composition of the sample. To account for this discrepancy using relative sensitivity coefficients (RSC) of the element relative to the internal standard.

RSC definition or note its importance to unity for the various elements by selecting the experimental conditions under which this equation is satisfied, the subject of this thesis work. The thesis presents the results of experimental work performed by laser, spark by ionization and secondary ion emission (SIE). Considering the dynamics of the laser-plasma cluster defines the conditions of influence of the experimental parameters ( $q$  and  $d$ ) the processes of ionization, acceleration and recombination of ions. It is shown that the initial cluster size  $d$  is an important condition for the impurity ions of a given charge. It will predict the conditions under which the ions are detected trace elements of various charge states in the presence of similar charges matrix.

Based on the degree of ionization of a number of simple substances under the influence of a spark discharge in a vacuum have shown that the sensitivity of detection of impurities (i.e., RSC) the sensitivity of reception power against matrix ionization simple substances. The formula for calculating the RSC without the use of internal standards. The lower limit of detection for most of the impurities equal atomic percentages.

Showing that the quantitative measurement by mass spectrometry of secondary ions (SI) are associated with some difficulties that are associated primarily large difference coefficients RSC. Furthermore, the absolute values of the coefficients are highly dependent on the experimental conditions. Numerous experiments demonstrate that the relative yield of ions of various impurity elements depends on the first and second ionization potential ( $\varphi_i$ ) and has a quadratic form.



Сифариш № 63. Тиражы 100 нцсхя

---

Азярбайъан МЕА Эеолоэийа Институту  
«Нафта - Пресс» няшриййаты,  
Бакы, Щ.Тавид пр.29 А, Тел: 439-39-72  
**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА**  
**ИНСТИТУТ ФИЗИКИ им. Г.М.АБДУЛЛАЕВА**

---

*На правах рукописи*

**САЛМАН МАНУЧАР АВАЗАЛИ**

**КОЭФФИЦИЕНТ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ  
ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ  
ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ.**

**22.03.01 –Электроника**

**АВТОРЕФЕРАТ**

Диссертации, представленной на соискание ученой степени доктора  
философии по физике

**БАКУ - 2013**