

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Գ. Ս., ՄԱՐՏԻՐՅԱՆ Ա. Ի.

ԱՏՈՄԱՅԻՆ ՍՊԵԿՏՐՈՍԿՈՊԻԱ

(ուսումնամեթոդական աշխատանք)

ԵՐԵՎԱՆ
ԵՊՀ ՀՐԱՏԱՐԱԿԶՈՒԹՅՈՒՆ
2015

ՀՏԴ 539.184(07)
ԳՄԴ 22.344:22.38g7
Գ 888

*ԱՇխատանքի հրահարական է երաժիշակորել
ԵՊՀ դեղագիտության և փմիայի ֆակուլտետի
խորհուրդը (թիվ 10 արձանագրություն, 30.04.2015 թ.)*

Գրախոս՝
քիմ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Օ. Ա. ԶԱՄԱԼՅԱՆ

ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Գ. Ս., ՄԱՐՏԻՐՅԱՆ Ա. Ի.

Գ 888 Ատոմային սպեկտրոսկոպիա (ուսումնամեթոդական աշխատանք)/ *Գրիգորյան Գ. Ս., Մարտիրյան Ա. Ի.* : -եր., ԵՊՀ հրատ., 2015, 34 էջ:

Ներկայացվող աշխատանքում բերված են ատոմային սպեկտրոսկոպիային վերաբերող հիմնական տեսական նյութը և համապատասխան լաբորատոր փորձերի նկարագրությունը:

Այն նախատեսված է քիմիայի, երկրաբանության և կենսաբանության ֆակուլտետների ուսանողների, ինչպես նաև ատոմային սպեկտրային անալիզի հետ առնչվող հետազոտողների համար:

ՀՏԴ 539.184(07)
ԳՄԴ 22.344:22.38g7

ISBN 978-5-8084-2037-3

© ԵՊՀ հրատ., 2015
© Գրիգորյան Գ. Ս., 2015
© Մարտիրյան Ա. Ի., 2015

ԱՏՈՄԱՅԻՆ ՍՊԵԿՏՐՈՍԿՈՊԻԱ

ՏԵՍԱԿԱՆ ՄԱՍ

Անալիզի ատոմային սպեկտրային մեթոդը մետաղների և որոշ ոչ-մետաղների (**Si, As, B, Se u Te**) որակական և քանակական որոշման շատ զգայուն և ընտրողական մեթոդ է: Ներկայումս այն լայնորեն կիրառվում է քիմիական, բժշկական, երկրաբանական, փորձագիտական և այլ նպատակներով:

Անալիզի ատոմային սպեկտրային մեթոդը հիմնված է քիմիական տարրի գազանման ազատ ատոմների կողմից որոշակի ալիքի երկարության էլեկտրամագնիսական ճառագայթի կլանման կամ առաքման վրա: Գրգռված ատոմների առաքման սպեկտրների չափման վրա հիմնված անալիզի մեթոդները կրում են ***ատոմային էմիսիոն սպեկտրաչափություն*** ընդհանուր անվանումը: Ատոմների գրգռման և դրանց առաքման սպեկտրների ստացման համար կիրառում են բարձր ջերմաստիճանային բոց, կայծային պարպումներ, հաստատուն հոսանքի էլեկտրական աղեղ, ինչպես նաև գերբարձր հաճախության պլազմա: Այն մեթոդները, որոնցում նյութի գրգռման և առաքման սպեկտրների ստացման համար հետազոտվող նմուշի լուծույթը ներարկվում է բոցի մեջ, սովորաբար անվանում են ***բոցային էմիսիոն կամ բոցի ատոմային էմիսիոն սպեկտրոսկոպիա***: Մեթոդները, որոնցում գրգռումն իրականացվում է էլեկտրական աղեղի կամ կայծի մեջ նմուշի ներմուծմամբ, անվանում են ***էմիսիոն սպեկտրային***: Ատոմային էմիսիոն մեթոդներով տարրի քանակական որոշումը կատարվում է ըստ սպեկտրում հետազոտվող տարրի համապատասխան երկարության ալիքի (սպեկտրային գծի) ինտենսիվության չափման և ստանդարտի հետ համեմատությամբ, առավել հաճախ գրաֆիկական եղանակով՝ ըստ որոշվող տարրի կոնցենտրացիայից սպեկտրային գծի ինտենսիվության կախվածության աստիճանավորման կորի:

Անալիզի մեթոդը, որը հիմնված է գազանման ատոմների կողմից ուլտրամանուշակագույն կամ տեսանելի մարզի ալիքների կլանման

վրա, կոչվում է **ատոմային արտորբջիոն սպեկտրոսկոպիա**: Այս մեթոդում որոշվող նյութը ներարկում են բարձրջերմաստիճանային բոցի մեջ կամ էլեկտրաջերմային գրաֆիտե վառարան, որտեղ այն տրոհվում է գազանման ատոմների: Այնուհետև բոցի միջով անցնող ուլտրամանուշակագույն կամ տեսանելի ճառագայթը ընտրողաբար կլանվում է գազանման ատոմների կողմից, ընդ որում, որոշվող տարրի ատոմների կողմից կլանված լույսի ինտենսիվությունը ուղիղ համեմատական է նմուշում այդ տարրի քանակությանը:

1. ԱՏՈՄԱՅԻՆ ԷՄԻՍԻՈՆ ՄԵԹՈԴ (ԳՐԳՈՒՄ ԲՈՑՈՒՄ)

Մետաղների մեծ մասը բոցի մեջ ներմուծելիս տալիս են բնութագրական առաքման սպեկտրներ: Սպեկտրալուսաչափի օգնությամբ բոցում գրգռված ատոմների առաքման որոշակի սպեկտրային գծի ինտենսիվության չափումը հիմք է ծառայում քանակական անալիզի տարածված մեթոդի՝ **բոցային էմիսիոն** կամ **բոցի ատոմային էմիսիոն սպեկտրաչափության** համար: Այս մեթոդը հաճախ անվանում են նաև **բոցային լուսաչափություն**: Այս անվանումը կապված է նախկինում այնպիսի սարքերի կիրառման հետ, որտեղ հետազոտվող ալիքը առանձնացվում էր սպեկտրի այլ ալիքներից օպտիկական ֆիլտրերի օգնությամբ, իսկ ալիքի ինտենսիվությունը չափում էին լուսաչափի միջոցով: Ներկայումս անալիզի այս մեթոդում կիրառում են սպեկտրալուսաչափեր, որոնք ունեն մոնոքրոմատոր և սպեկտրային ալիքի ճառագայթման ինտենսիվության չափման ու գրանցման տարբեր սարքեր՝ համակցված հաշվողական տեխնիկայի հետ:

Բոցի ատոմային էմիսիոն սպեկտրաչափությունը հարմար մեթոդ է լուծույթում մետաղների փոքր քանակների որոշման համար: Գրգռման համապատասխան պայմանների դեպքում այս մեթոդի օգնությամբ սկզբունքորեն հնարավոր է որոշել քիմիական տարրերի պարբերական համակարգի բոլոր մետաղները:

Ատոմային էմիսիոն սպեկտրաչափությունում մետաղների առաքման սպեկտրների ստացման համար հետազոտվող նմուշը ներմու-

ծում են բոցի մեջ: Բոցում ատոմների գրգռումից առաջացած ճառագայթումն ընկնում է մոնոքրոմատորի վրա, որտեղ այն տրոհվում է առանձին սպեկտրային ալիքների: Ընտրված ալիքի երկարությունը, որը բնութագրական է որոշվող տարրի համար, գրանցում են դետեկտորի միջոցով, որը միացած է էլեկտրական չափող սարքին: Հետազոտվող մետաղի կոնցենտրացիան հաշվարկվում է տվյալ սպեկտրալ ալիքի ինտենսիվությամբ, գրաֆիկական եղանակով՝ ըստ որոշվող տարրի կոնցենտրացիայից սպեկտրային ալիքի ինտենսիվության կախվածության աստիճանավորման կորի, որը կառուցվում է ստանդարտ լուծույթների օգնությամբ:

Բոցի մեջ ներմուծված հեղուկ նմուշը կարճ ժամանակահատվածում ենթարկվում է հետևյալ փոփոխությունների.

1. Լուծիչը գոլորշիանում կամ այրվում է, իսկ բոցում մնում են նմուշի պինդ մասնիկների չնչին քանակներ,

2. Պինդ նյութերն անցնում են գազանման վիճակի և մասնակի տրոհվում են գազանման ատոմների,

3. Բոցում գտնվող գազանման ատոմների մի մասը գրգռվում է: Գրգռված ատոմները շատ արագ վերադառնում են հիմնական վիճակի՝ արձակելով ուլտրամանուշակագույն կամ տեսանելի տիրույթների ճառագայթներ: Արձակվող ճառագայթի ինտենսիվությունը կախված է գրգռված ատոմների քանակից: Քանի որ արձակվող լույսը հավասարաչափ տարածվում է բոլոր ուղղություններով, միայն նրա մի մասն է գրանցվում դետեկտորի կողմից: Եթե սարքում այրիչի դիրքը դետեկտորի նկատմամբ անփոփոխ է, ապա չափվող լույսի փնջի էներգիան ուղիղ համեմատական է նմուշում տարրի կոնցենտրացիային:

4. Մետաղների որոշ ատոմներ բոցում իոնացվում են: Հեշտությամբ իոնացվում են ցածր իոնացման պոտենցիալ ունեցող մետաղները: Այդպիսի մետաղներից են ալկալիական և որոշ հողալկալիական մետաղները: Բոցի ջերմաստիճանի բարձրացման հետ բարձրանում է մետաղների ատոմների իոնացման աստիճանը: Մետաղների ատոմների իոնացումը ոչ ցանկալի երևույթ է, քանի որ այն հանգեցնում է ճառագայթման ինտենսիվության նվազեցման: Որոշվող տարրի ատոմների իոնացումը ճնշելու համար օգտագործում են օդ-

պրոպանային բոց, իսկ նմուշի հետազոտվող լուծույթի մեջ ավելացնում են հեշտ իոնացվող տարրի աղ ավելցուկով, օրինակ՝ ցեզիումի քլորիդ:

5. Որոշ ոչ ցանկալի կողմնակի ռեակցիաներ կարող են հանգեցնել բոցում գազանման ատոմների և հետևաբար՝ գրգռված ատոմների թվի փոքրացման: Այդպիսիք են օքսիդների առաջացման ռեակցիաները: Եթե առաջացող օքսիդները ջերմակայուն են, ինչպես օրինակ՝ հազվագյուտ և դժվարահալ տարրերինը (ցիրկոնիում, իտրիում և այլն), ապա գրգռված ատոմների ճառագայթման ինտենսիվությունը նվազում է: Սետաղների՝ օքսիդներ առաջացնելու ունակությունը բոցի ջերմաստիճանի աճի հետ նվազում է:

Գազանման ատոմների գրգռումը կապված է վալենտական էլեկտրոնների անցմամբ ավելի բարձր էներգիական մակարդակ: Ավելի ցածր էներգիական մակարդակ կամ հիմնական վիճակի այդ էլեկտրոնի վերադարձման դեպքում արձակվում է ուլտրամանուշակագույն կամ տեսանելի ճառագայթում: Առաքվող ճառագայթման ալիքի հաճախականությունը կախված է ատոմի 2 վիճակների էներգիաների տարբերությունից.

$$v = \frac{E_2 - E_1}{h},$$

որտեղ E_2 -ը և E_1 -ը՝ համապատասխանաբար ատոմի գրգռված և ավելի ցածր կամ հիմնական վիճակների էներգիաներն են, իսկ h -ը՝ Պլանկի հաստատունն է:

Էմիսիոն սպեկտրներում մետաղների ատոմների մեծ մասի համար առաքվող ալիքների թիվը համապատասխանում է ատոմում հնարավոր էլեկտրոնային անցումների թվին: Սպեկտրում ամենաինտենսիվն այն գիծն է, որը համապատասխանում է էլեկտրոնի անցմանը ամենացածր գրգռված վիճակից հիմնական վիճակի: Օրինակ՝ նատրիումի սպեկտրում առավել ինտենսիվ 589,2 *նմ* սպեկտրային գիծը (D-գիծը) համապատասխանում է էլեկտրոնի անցմանը 3p գրգռված վիճակից 3s հիմնական վիճակի: Ինտենսիվությամբ երկրորդ՝ 330,0 *նմ* սպեկտրային գիծը համապատասխանում է

4p→3s անցմանը: Մնացած անցումներին սպեկտրում համապատասխանում են ավելի թույլ ինտենսիվությամբ գծեր:

Աստիճանավորման կորի կառուցումն անհրաժեշտ պայման է քանակական ատոմային էմիսիոն անալիզի իրականացման համար: Նման կորի կառուցման համար օգտագործում են սպեկտրաչափերի գրանցող սարքի բացթողման (թափանցելիության) սանդղակը (T%): Ալիքի անհրաժեշտ երկարության հաստատումից հետո այրիչի կայուն բոց են ներմուծում համեմատական լուծույթ և ֆոնային ճառագայթումը կարգավորող բռնակով սարքի սանդղակի վրա հաստատում են զրոյական բացթողում: Այնուհետև բոց են ներարկում ամենախիտ ստանդարտ լուծույթը և բացթողման սանդղակի վրա հաստատում են 100% միջը: Դրանից հետո ստանում են սարքի ցուցանիշները մնացած ստանդարտ լուծույթների համար՝ չափելով դրանք որոշվող տարրի կոնցենտրացիայի նվազման կարգով, և կառուցում են կոնցենտրացիայից ճառագայթման ինտենսիվության կախվածության գրաֆիկ (աստիճանավորման կոր): Նմուշների լուծույթների անալիզների իրականացման և աստիճանավորման կորի կառուցման պայմանները պետք է լինեն հնարավորինս նման: Այս պայմանների նույնության ստացման համար աստիճանավորման կորը կառուցում են անալիզից առաջ, հետո, երբեմն էլ նմուշների յուրաքանչյուր խմբի անալիզի ընթացքում:

Պետք է նշել, որ շատ սարքերի զգայնությունը հեշտ է կարգավորվում, հետևաբար աստիճանավորման կորերը կարող են կառուցվել որոշվող տարրերի կոնցենտրացիաների լայն միջակայքերի համար: Սակայն ատոմային էմիսիոն անալիզի մեթոդի հարաբերական ճշտությունը, որը կազմում է ± 2 -ից մինչև 5%, բավարար է փոքր կոնցենտրացիաների և ակնհայտորեն բավարար չէ նյութի մեծ կոնցենտրացիաների որոշման համար: Ուստի, այս մեթոդով անալիզի դեպքում անհրաժեշտ է օգտագործել համեմատաբար նոսր լուծույթներ:

Եթե նմուշի բաղադրությունը ազդեցություն չի թողնում անալիզի արդյունքների վրա, ապա ստանդարտ լուծույթները կարող են պարունակել միայն որոշվող տարրի որոշակի, հայտնի քանակություններ: Եթե նմուշի բաղադրության փոփոխությունները ազդում են ո-

որոշման արդյունքների վրա, ապա ստանդարտ լուծույթները բացի որոշվող տարրից պետք է պարունակեն նաև հետազոտվող նմուշի բոլոր հիմնական բաղադրամասերը:

Որոշ անցանակալի ազդեցություններ կարող են դժվարացնել ատոմային էմիսիոն անալիզի իրականացումը: Այդ խոչընդոտներից մեկն է համարվում պրոպան-օդ բոցի ֆոնային ճառագայթումը: Այդ ճառագայթման ինտենսիվությունը սպեկտրալ տիրույթի մեծ մասում մեծ է: Ֆոնային ճառագայթումը 305-320 նմ տիրույթում ունի մեկ ինտենսիվ շերտ, բայց այն չի վերածածկվում շատ մետաղների սպեկտրային գծերի հետ: Սակայն համեմատաբար բարձր կոնցենտրացիայով լուծույթների անալիզի ժամանակ տեղի է ունենում ֆոնային ճառագայթման և նմուշի ճառագայթման վերադրում, այդ պատճառով շատ դեպքերում անհրաժեշտ է լինում սպեկտրային գծերի ինտենսիվությունից հանել ֆոնային ճառագայթման ինտենսիվությունը:

Մյուս խոչընդոտն այն է, որ ատոմների առաքված ճառագայթումը կարող է կլանվել այդ տարրի այլ ատոմների կողմից, որոնք այդ դեպքում գրգռվում են: Այս երևույթը, որը կրում է «ինքնակլանում» անվանումը, փոքրացնում է հետազոտվող տարրի սպեկտրային գծի ինտենսիվությունը: Ինքնակլանումը փոքրացնելու համար անհրաժեշտ է անալիզի ժամանակ օգտագործել նոսրացված լուծույթներ: Այլ տարրերը նույնպես կարող են փոխել որոշվող տարրի սպեկտրային գծի ինտենսիվությունը: Սովորաբար դա բերում է գծի ինտենսիվության փոքրացման, բայց առանձին դեպքերում առաքվող ճառագայթման ինտենսիվությունը կարող է և աճել: Լուծույթում որոշ անիոնների առկայությունը նույնպես նպաստում է մետաղների սպեկտրային գծերի ինտենսիվության նվազմանը: Դրա օրինակ կարող է ծառայել ֆոսֆատի ազդեցությունը կալցիումի որոշման արդյունքների վրա: Այդ դեպքում լուծույթում առաջանում է կայուն, չլուծվող կալցիումի ֆոսֆատ, որը խոչընդոտում է կալցիումի որոշմանը:

Ատոմային էմիսիոն սպեկտրային մեթոդը լայնորեն կիրառվում է քիմիայի, բժշկության, երկրաբանության, գյուղատնտեսության, դատաբժշկության և այլ բնագավառներում: Ավելի հաճախ այս մեթոդը

կիրառվում է ալկալիական և հողալկալիական մետաղների որոշման համար: Տարրերի որոշման ատոմային էմիսիոն այս եղանակը քիմիական մեթոդներից առանձնանում է իր արագությամբ և բարձր ընտրողականությամբ: Ներկայումս ատոմային էմիսիոն սպեկտրաչափերը արյան մեջ նատրիումի արագ որոշման համար սովորական սարքեր են հանդիսանում բժշկական լաբորատորիաներում: Այս մեթոդով նատրիումի որոշման զգայունությունն այնքան բարձր է, որ որոշման եղանակներից մեկում չափումից առաջ անալիզվող շիճուկը նոսրացվում է 200 անգամ: Որոշման տևողությունը կազմում է ընդամենը 30 վրկ:

Ատոմային էմիսիոն մեթոդի կարևոր ձեռքբերումներից կարելի է համարել հազվագյուտ տարրերի և սկանդիումի բարդ խառնուրդների անալիզը: Հազվագյուտ տարրերն այնքան մոտ են իրենց քիմիական հատկություններով, որ դրանց որոշումը բարդ խառնուրդներում հնարավոր է միայն երկարատև քրոմատոգրաֆիական բաժանումից հետո: Թթվածնա-ացետիլենային բոցի կիրառումով ատոմային էմիսիոն մեթոդը հնարավորություն է տալիս հայտնաբերել հազվագյուտ տարրեր դրանց բարդ խառնուրդներում՝ առանց նախնական բաժանման:

2. ԱՏՈՄԱՅԻՆ ԱԲՍՈՐԲՑԻՈՆ ՄԵԹՈԴ

Ատոմային աբսորբցիոն սպեկտրոսկոպիան գազանման վիճակում գտնվող ատոմների կողմից ուլտրամանուշակագույն կամ տեսանելի ճառագայթման կլանման չափման վրա հիմնված մեթոդ է: Գազանման ատոմական վիճակի վերածելու համար, մնուշի լուծույթը ներարկում են բարձրջերմաստիճանային բոց կամ էլեկտրաջերմային գրաֆիտե վառարան: Որպես ճառագայթման աղբյուր օգտագործում են սնամեջ կաթոդով լամպ, որի կաթոդը սովորաբար պատրաստված է որոշվող մետաղից: Ներկայումս սնամեջ կաթոդով լամպերի փոխարեն օգտագործում են մաև բարձրիաճախային գազալիցքաթափման լամպեր («EDL» լամպեր), որոնց կիրառումը բարձրացնում է տարրերի որոշման զգայունությունը՝ նվազեցնելով որոշ-

ման սահմանը 2÷4 անգամ: Բոցում գտնվող տարրի ատոմները կլանում են միայն տվյալ լույսի աղբյուրի արձակած ճառագայթումը: ճառագայթման աղբյուրներից արձակված էլեկտրամագնիսական ալիքների երկարության միջակայքը և բոցում որոշվող տարրի կլանման տիրույթը շատ նեղ են, դրա համար մյուս տարրերի խանգարիչ կլանումը գործնականում չի անդրադառնում անալիզի արդյունքների վրա:

Ատոմային աբսորբցիոն մեթոդը զգալիորեն տարբերվում է ատոմային էմիսիոն մեթոդից: Երկու դեպքերում էլ հետազոտվող լուծույթը ներարկում է բարձր ջերմաստիճանային բոց, սակայն ատոմային էմիսիոն մեթոդը կապված է բոցում գրգռված ատոմների կողմից առաքվող ճառագայթման չափման, իսկ ատոմային աբսորբցիոն սպեկտրոսկոպիան հիմնված է բոցում գտնվող չեզոք, չգրգռված ատոմների կողմից որոշակի երկարությամբ ալիքների կլանման չափման վրա:

Համեմատած ատոմային էմիսիոն եղանակի հետ ատոմային աբսորբցիոն մեթոդն ունի մի շարք առավելություններ՝

1. Այս մեթոդում կողմնակի մետաղների ազդեցությունն ավելի քիչ է զգացվում, քան ատոմային էմիսիոն մեթոդում,

2. Ատոմային աբսորբցիոն մեթոդում անալիզի արդյունքները գործնականում կախված չեն դրա իրականացման պայմաններից,

3. Ատոմային աբսորբցիոն մեթոդի դեպքում որոշ մետաղների որոշման վերարտադրելիությունը և զգայունությունը ավելի բարձր է, քան ատոմային էմիսիոն մեթոդում:

Ատոմային աբսորբցիոն մեթոդի հիմնական թերությունն այն է, որ յուրաքանչյուր որոշվող տարրի համար անհրաժեշտ է ճառագայթման առանձին թանկարժեք աղբյուր (սնամեջ կատոդով կամ բարձր հաճախային զազալիցքաթափման լամպ):

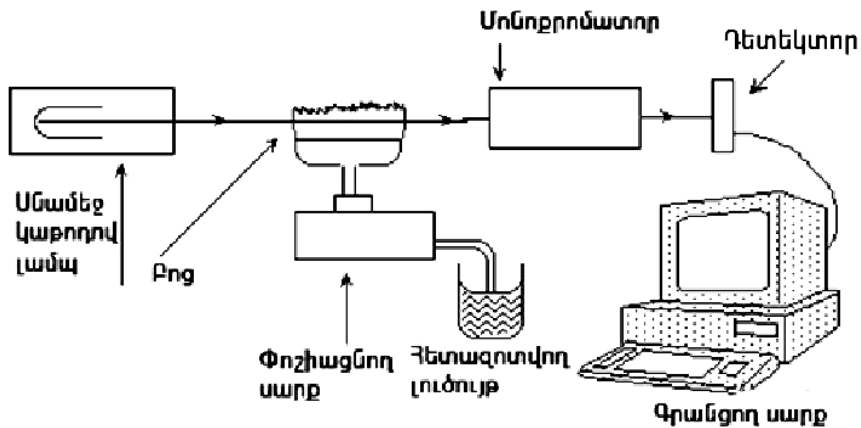
Օդ-ացետիլենային բոցի կիրառումը հնարավորություն է տվել մշակել 68 տարրերի (ներառյալ 15 հազվագյուտ տարրեր) որոշման ատոմային աբսորբցիոն սպեկտրաչափական եղանակները: Բոլոր այդ տարրերը, բացի Si, As, B, Se և Te մետաղներ են: Ինչպես ատոմային աբսորբցիոն, այնպես էլ ատոմային էմիսիոն մեթոդը հիմնականում կիրառում են տարրերի միկրոքանակների որոշման համար:

Որոշման ճշտությունը կազմում է՝ 2-3%: Պետք է նշել, որ ազոտի ենթօքսիդ-ացետիլենային բոցի կիրառումը հնարավորություն է տվել մշակել ևս 26 տարրերի (հիմնականում լանթանոիդների և ակտինոիդների) որոշման ատոմային աբսորբցիոն եղանակները, որոնք նախկինում այս մեթոդով հնարավոր չէր իրականացնել: Ներկայումս ատոմային աբսորբցիոն մեթոդի օգնությամբ հնարավոր է որոշել պարբերական համակարգի ցանկացած մետաղ:

Ատոմային աբսորբցիոն սպեկտրոսկոպիայում (ԱԱՍ) հետազոտվող նմուշի լուծույթը բարձր ջերմաստիճանային բոցի մեջ կամ էլեկտրաջերմային գրաֆիտե վառարան ներարկելիս լուծիչը ցնդում կամ այրվում է, իսկ մոլեկուլները ենթարկվում են ջերմային քայքայման՝ ատոմային գազի առաջացումով: Ընդ որում, գազանման վիճակում գտնվող ատոմների մեծ մասը բոցում կամ էլեկտրաջերմային գրաֆիտե վառարանում գտնվում է հիմնական վիճակում, և միայն դրանց քիչ մասն է գրգռվում և լույս արձակում: Չգրգռված ատոմները կլանում են սնամեջ կաթոդային լամպից արձակված, դրանց համար բնորոշ, ճառագայթումը՝ անցնելով գրգռված վիճակի:

Լույսի կլանումը գազանման ատոմների կողմից նման է սպեկտրալուսաչափական հետազոտություններում մոլեկուլների և իոնների կողմից էլեկտրամագնիսական ճառագայթման կլանմանը: Այս մեթոդների հիմնական տարբերությունը կայանում է նրանում, որ գազանման վիճակում գտնվող ատոմների կլանման սպեկտրները (ինչպես և առաքման սպեկտրները) կազմված են հստակ գծերից, իսկ լուծույթում իոնների և մոլեկուլների սպեկտրների համար բնորոշ է լայն կլանման շերտերի առկայությունը: Դա բացատրվում է նրանով, որ մոլեկուլներն ունեն բարդ քիմիական կառուցվածք և լուծույթում փոխազդում են լուծիչի հետ: Այդ պատճառով, էներգիական մակարդակների միջև հնարավոր անցումների թիվն ավելի շատ է, քան ատոմներում:

Նկ. 1-ում բերված է բոցային ատոմացմամբ ատոմային աբսորբցիոն սպեկտրաչափի ուրվապատկերը.



Նկ.1. Ատոմային աբսորբցիոն սպեկտրալուսաչափի ուրվագրերը

Բոցային ատոմացմամբ ատոմային աբսորբցիոն սպեկտրաչափի հիմնական հանգույցներն են.

1. **Ճառագայթման աղբյուրը:**

Ինչպես նշվեց վերևում, ատոմային աբսորբցիոն սպեկտրոսկոպիայում որպես ճառագայթման աղբյուր հիմնականում կիրառում են սնամեջ կաթոդային լամպը: Լամպի կաթոդն իրենից ներկայացնում է հետազոտվող մետաղից պատրաստված բաժակ, որի մեջ էլեկտրական պարպման շնորհիվ տեղի է ունենում նյութի գոլորշիացում և գրգռում իներտ գազի (հելիումի կամ արգոնի) մթնոլորտում, որով մոտ 100 Պա ճնշման տակ լցված է լամպը: Հալման ցածր ջերմաստիճան ունեցող մետաղների դեպքում լամպի կաթոդը պատրաստում են գրաֆիտից, որի վրա նստեցվում է ուսումնասիրվող մետաղի աղը:

Ատոմային աբսորբցիոն անալիզի մեթոդում սնամեջ կաթոդային լամպի կիրառման առավելություններից մեկն այն է, որ դրա ճառագայթման սպեկտրային գծերը ընկած են ալիքի երկարությունների շատ մեղ միջակայքում՝ 0,001 մմ կարգի: Օգտագործելով անընդհատ ճառագայթման աղբյուրը և մոնիթորոմատոր հնարավոր չէ ստանալ ալիքի երկարությունների այսպիսի մեղ միջակայքով շերտ:

Որոշվող տարրի կլանման գիծը մի փոքր լայն է արձակվող շերտից, որն էլ թույլ է տալիս չափել կլանման գիծն իր մաքսիմումում:

Սնամեջ կաթոդով լամպի ճառագայթումն ուղղում են անմիջապես բոցի մեջ, որտեղ և ներարկում են մմուշի լուծույթը: ճառագայթման մի մասը կլանվում է գազանման վիճակում գտնվող ատոմների կողմից, իսկ մնացած մասն անցնում է բոցի միջով: Մոնոքրոմատորի միջոցով բոցի միջով անցած ճառագայթների փնջից առանձնացնում են անհրաժեշտ սպեկտրային ալիքը և ֆոտոէլեմենտի կամ լուսաբազմապատկիչի միջոցով չափում դրանց ինտենսիվությունը:

2. Մոդուլյատոր:

Որպեսզի հեռացվի բոցի ճառագայթման խանգարիչ ազդեցությունը ատոմային աբսորբցիոն սպեկտրաչափերում սնամեջ կատոդով լամպը սնուցում են մոդուլացված փոփոխական հոսանքով, իսկ լամպի ճառագայթման ինտենսիվությունը չափում են փոփոխական հոսանքի դետեկտորի միջոցով, որը հարմարեցված է մոդուլացման հաճախականության վրա: Այս դեպքում դետեկտորից դուրս եկող ազդանշանը չի զգում բոցի ցանկացած չմոդուլացված էմիսիոն ճառագայթումը:

Մոդուլացման մեկ այլ մեթոդի էությունը կայանում է մեխանիկական անջատիչի օգտագործման մեջ: Սնամեջ կաթոդով լամպը սնվում է հաստատուն հոսանքի աղբյուրից, իսկ սարքի դետեկտորը հարմարեցված է միայն մոդուլացիայի հաճախականության վրա և չի արձագանքում բոցի ֆոնային էմիսիոն ճառագայթմանը:

3. Գազի ճնշման կարգավորիչներ:

Բոցերի մեծ մասը ստանում են համապատասխան այրիչներով այրվող գազի (պրոպան, ացետիլեն կամ ջրածին) և օքսիդիչի (օդ, թթվածին կամ ազոտի ենթօքսիդ) խառնուրդն այրելով: Ներկայացվող պահանջների բոցի ստացման համար անհրաժեշտ է անընդհատ վերահսկել այրվող խառնուրդի բաղադրությունը և գազերի տրման արագությունները: Դրա համար ատոմային աբսորբցիոն սարքում տեղադրում են ճնշման կարգավորիչներ, կարգավորող փականներ, մանոմետրեր և ռեոմետրեր:

4. Այրիչ և փոշիացնող սարք:

Սովորաբար այրիչը և փոշիացնող սարքն իրենցից ներկայացնում մեկ միասնություն, այսինքն համակցված են: Փոշիացնող սարքը նախատեսված է բոցի մեջ հաստատուն վերարտադրողական արագությամբ մոուլչի ներարկման համար: Բոցը ստանում են հատուկ կառուցվածքով այրիչների միջոցով, որոնք թույլ են տալիս ստանալ հաստատուն երկարության բոց (5 կմ 10 սմ): Կայուն, հանդարտ բոցը, որն ունի ցածր ֆոնային ճառագայթում, ստանում են նախապես այրվող գազերի խառնուրդով: Նմուլչի և այրվող գազերի խառնուրդը տեղի է ունենում մինչև դրանց բոց մտնելը: Ատոմային աբսորբցիոն սպեկտրոսկոպիայում կիրառվող այրիչների առանձնահատկությունը կայանում է նրանում, որ բոց են մտնում փոշիացրած լուծույթի միայն մանր մասնիկները, իսկ խոշորները պահվում են հատուկ ֆիլտրի միջոցով:

Բոցը պետք է լինի՝

1. թափանցիկ (ունենա մեծ թափանցելիություն) սպեկտրային ամբողջ տիրույթում՝ 190 նմ-ից մինչև 850 նմ,

2. բոցի ճառագայթումը պետք է լինի այնքան թույլ, որ հնարավոր լինի ձևափոխիչի միջոցով այն վերացնել,

3. բոցում տարրի ատոմացումը պետք է լինի հնարավորինս շատ,

4. տարրի իոնացումը բոցում պետք է լինի հնարավորինս քիչ:

Գործնականում ատոմային աբսորբցիոն սպեկտրոսկոպիայում կիրառվում են մի քանի գազային խառնուրդներ և համապատասխան այրիչներ: Պրոպան-օդ գազային խառնուրդի բոցն ունի համեմատաբար ամենացածր ջերմաստիճան (բոցի առավելագույն ջերմաստիճանը հասնում է մինչև 1700 °C): Այս բոցը 220 նմ տիրույթում ունի մեծ թափանցելիություն և թույլ սեփական առաքման սպեկտր: Պրոպան-օդ խառնուրդի բոցի ջերմաստիճանը բավարար է ատոմացնելու ալկալիական մետաղները, մագնեզիումը, կալցիումը, պղինձը, կապարը, արծաթը, ոսկին, ցինկը, կադմիումը, մանգանը, երկաթը:

Ացետիլեն-օդ գազային խառնուրդն ատոմային աբսորբցիոն մեթոդում ունի մեծ կիրառություն: Դրա առավելագույն ջերմաստիճանը հասնում է 2300°C: Բոցը 220 նմ տիրույթում ունի մեծ թափանցե-

լիություն և թույլ սեփական առաքում: Այն բարձր արդյունավետությամբ ապահովում է մոտ 30 մետաղների ատոմացումը: Այս բոցում իոնացվում են միայն ալկալիական մետաղները Li (1%), Na (4%), K (30%), Rb (41%), Cs (65%):

Ացետիլեն-ազոտի մոնօքսիդ խառնուրդի բոցի առավելագույն ջերմաստիճանը հասնում է 2950°C: Բոցն ունի մեծ թափանցելիություն սպեկտրի ամբողջ տիրույթում, սակայն ունի նաև ուժեղ սեփական առաքում: Այն կիրառվում է այն մետաղների անալիզի ժամանակ, որոնք ացետիլեն-օդ բոցում առաջացնում են ջերմակայուն օքսիդներ, մասնավորապես, հազվագյուտ տարրերի անալիզի դեպքում:

Ատոմային աբսորբցիոն մեթոդում անհրաժեշտ է ընտրել բոցի օպտիմալ պայմանները՝ ցանկացած այրվող գազ ունի իր բնորոշ այրման պարամետրերը և ջերմաստիճանը: Բոցային ատոմիզատորով ատոմային աբսորբցիոն մեթոդի կիրառմամբ մշակվել են բազմաթիվ եղանակներ, որոնք հնարավորություն են տալիս կատարել նմուշների տարրային անալիզ: Բարդ խառնուրդների անալիզի դեպքում տարբեր բոցային խառնուրդների կիրառումն ապահովում է տարրերի ընտրողական ատոմացումը և հայտնաբերումը:

5. Մոնոքրոմատոր և դետեկտոր:

Որոշակի էլեկտրամագնիսական ճառագայթման առանձնացման համար սովորական սարքերում տեղադրում են ինտերֆերենցային ֆիլտրեր կամ մոնոքրոմատոր, որը սպեկտրալ տարալուծող համակարգ է և առանձնացնում է ալիքի երկարությունների նեղ տիրույթ: Կիրառական որոշ խնդիրների լուծման համար անհրաժեշտ է ունենալ այնպիսի մոնոքրոմատոր, որը կապահովի 190-800 նմ տիրույթում ցանկացած երկարության ալիքի ճշգրիտ առանձնացում: Ճառագայթումը, ընկնելով դետեկտորի վրա, փոխակերպվում է էլեկտրական հոսանքի, որն էլ չափվում է կամ անմիջապես, կամ էլ նախապես ուժեղացումից հետո: Սովորաբար, այդ տիպի սարքերը կիրառվում են ալկալիական և որոշ չափով հողալկալիական մետաղների որոշման համար: Ժամանակակից ատոմային աբսորբցիոն սպեկտրաչափերի մեծ մասում որպես մոնոքրոմատոր օգտագործվում է դիֆրակցիոն ցանցը: Դրանք ունեն մուտքային նեղ ճեղք՝ սպեկտ-

րալ գծերի բավարար առանձնացման համար, և զգայուն դետեկտորներ: Այդպիսի սարքերի կիրառումը նպաստում է անալիզի ժամանակ կողմնակի խանգարող ազդեցությունների վերացմանը:

Սովորաբար էժան սպեկտրային սարքերը համեմատած թանկարժեքների հետ ունեն ավելի սահմանափակ հնարավորություններ: Չափման համար ընտրված սպեկտրային գիծը պետք է ապահովի բավարար զգայունություն: Դրա վրա չպետք է ազդեն այլ տարրերի սպեկտրային գծերը և ֆոնային ճառագայթումը: Անհրաժեշտ է առանձնացնել բոցի առավելագույն ճառագայթման տիրույթը: Այրվող խառնուրդի բաղադրիչների փոխհարաբերությունը և դրա տրման արագությունը պետք է լինեն այնպիսին, որպեսզի չափվող սպեկտրային գիծն ունենա կայուն ինտենսիվություն և նվազագույն ֆոն: Անալիզի զգայնության բարձրացման համար որոշվող նյութերը երբեմն լուծում են ոչ թե ջրում, այլ օրգանական լուծիչներում, օրինակ՝ սպիրտներում:

Ատոմային աբսորբցիոն մեթոդում չափվում է D օպտիկական խտությունը՝ բոցի վրա ընկնող I_0 և նրանից դուրս եկող I ճառագայթման ինտենսիվությունների հարաբերության տասնորդական լոգարիթմը: Գտնվելով կայուն չգրգռված վիճակում տարրերի ատոմները ընդունակ են ընտրողաբար կլանել որոշակի ալիքի երկարության ճառագայթ, անցնելով ստորին՝ հիմնական վիճակից վերին՝ գրգռված վիճակի: Այսինքն ճառագայթի կլանման ժամանակ էլեկտրոնը իր հիմնական էներգիական մակարդակից անցնում է ավելի բարձր էներգետիկական մակարդակ: Ազատ ատոմների կողմից լույսի կլանումը նկարագրվում է Բուգեր-Լամբերտ-Բերի լուսակլանման հիմնական օրենքով, որն արտահայտվում է հետևյալ բանաձևով.

$$D = \varepsilon c l,$$

որտեղ D -ն՝ օպտիկական խտությունն է, ε -ն՝ կլանման մոլային գործակիցը (l գմոլ $^{-1}$ գսմ $^{-1}$), c -ն՝ որոշվող տարրի մոլային կոնցենտրացիան (մոլ գլ $^{-1}$), իսկ l -ը՝ կլանող շերտի հաստությունը (սմ):

Կլանող շերտի հաստության և անցնող ճառագայթի ալիքի երկարության հաստատուն արժեքների դեպքում տվյալ տարրի համար

օպտիկական խտությունը (աբսորբցիայի մեծությունը) գծային կախվածության մեջ է տարրի կոնցենտրացիայից: Հենց այս փաստի վրա է հիմնված ատոմային աբսորբցիոն մեթոդում տարրերի քանակական անալիզը:

Կլանումը կախված է լուսային փնջում գտնվող ատոմների թվից: Եթե բոցի ջերմաստիճանը բավարար է քիմիական միացությունը տրոհելու ազատ ատոմների, ապա կլանումը կախված չէ նրա ջերմաստիճանից: Սակայն որոշ դեպքերում բոցի շատ բարձր ջերմաստիճանի դեպքում գրգռված ատոմների թիվն ավելանում է, որը բերում է չգրգռված ատոմների թվի փոքրացմանը և կլանման նվազմանը: Եթե բոցի պարամետրերը և դրա մեջ նմուշի տրման արագությունը հաստատուն են, ապա կլանումը (օպտիկական խտությունը) ուղիղ համեմատական է նմուշում առկա որոշվող տարրի կոնցենտրացիային:

Աստիճանավորման կամ աշխատանքային կորի կառուցումը (որոշվող տարրի կոնցենտրացիայից օպտիկական խտության կախվածությունը) ատոմային աբսորբցիոն մեթոդում համընկնում է կլանման էլեկտրոնային սպեկտրոսկոպիայում նմանատիպ կորերի կառուցմանը: Պարզագույն դեպքում ստանդարտ լուծույթների պատրաստման համար օգտագործում են որոշվող մետաղի աղը: Այդ նպատակով ընտրված աղը հնարավորության սահմաններում պետք է համապատասխանի այն աղին, որի կազմում գտնվում է մետաղը հետազոտվող նմուշում: Եթե հետազոտվող մետաղը առկա է չնչին կամ հետքային քանակներով, որոնք հնարավոր չէ առանձնացնել նմուշի այլ բաղադրամասերից, ավելի հարմար է կիրառել ստանդարտ լուծույթների ավելացման եղանակը: Ստանդարտ լուծույթներում բացակայող կողմնակի աղերի բարձր կոնցենտրացիան, կարող է հանգեցնել սխալի, որը կապված է նմուշի ներմուծման արագության փոփոխությունից և բոցում դրա ատոմացման աստիճանից: Քանի որ շատ դժվար է երկար ժամանակ պահպանել բոցի ցուցանիշները և հետազոտությունների անցկացման պայմանները, ապա աստիճանավորման կորը անհրաժեշտ է կառուցել հետազոտվող նմուշների յուրաքանչյուր խմբի համար:

Բոցային ատոմային աբսորբցիոն անալիզի զգայունությունը սահմանափակվում է բոցում տեղի ունեցող կողմնակի ռեակցիաների և մասնիկների գտնվելու կարճ ժամանակի պատճառով (10^{-3} վրկ): Հետևաբար զգայունությունը բարձրացնելու համար անհրաժեշտ է այդ երկու ազդեցությունները բացառել կամ կրճատել: Դրան կարելի է հասնել ատոմացումը իրականացնելով հատուկ գրաֆիտե վառարանում՝ ապահովելով չեզոք մթնոլորտ, որը կբացառի կողմնակի ռեակցիաները: Նմանատիպ վառարանը պետք է վայրկյանների ընթացքում և վերարտադրելի կերպով տաքանա մինչև անհրաժեշտ ջերմաստիճանը (50 -ից մինչև 3000°C) և ունենա փոքր զանգված (ջերմային իներցիայի նվազեցման համար):

Ատոմային աբսորբցիոն անալիզի ոչ բոցային մեթոդները (էլեկտրաջերմային ատոմացումը, հիդրիդային համակարգը) լայնորեն կիրառվում են տարրերի հետքային քանակների հայտնաբերման համար: Էլեկտրաջերմային ատոմային աբսորբցիոն մեթոդը նման է բոցային ատոմացման մեթոդին: Որոշակի քանակությամբ անալիզվող նմուշի ատոմացումը կատարվում է գրաֆիտե կյուվետում (գրաֆիտե վառարանում): Նմուշի չորացումը, մոխրացումը և ատոմացումը կատարվում է նախօրոք մշակված ծրագրով իներտ գազի միջավայրում՝ էլեկտրաէներգիայի միջոցով գրաֆիտե վառարանի տաքացմամբ:

Քանի որ էլեկտրաջերմային ատոմացման դեպքում որոշվող տարրի ատոմների ազատ վիճակում գտնվելու ժամանակը ավելի մեծ է, քան բոցում, հայտնաբերման սահմանը (չնայած նմուշի չնչին քանակների) շատ ցածր է:

Հեղուկ նմուշը ներմուծում են գրաֆիտե վառարան միկրոդրագատորի միջոցով (5 - 100 մկ) և տաքացնում են տվյալ տարրի հայտնաբերման համար համապատասխանեցված ծրագրով: Նմուշի էլեկտրաջերմային ատոմացումը կարելի է բաժանել հինգ հիմնական փուլերի.

1. դրագատորի միջոցով նմուշի ներմուծում գրաֆիտե վառարան,
2. նմուշի չորացում (լուծիչի հեռացում),
3. մոխրացում (պիրոլիզ, օրգանական և մատրիցայի այլ բաղադրատարրերի հեռացում),

4. ատոմացում (մոլեկուլների տրոհում և վերածում ատոմային գոլորշու),

5. գրաֆիտե վառարանի ջերմային մաքրում (բարձր ջերմաստիճանի և իներտ գազի ուժեղ հոսքի միջոցով):

Նշված ամեն փուլին համապատասխանում է օպտիմալ ջերմաստիճան և տևողություն: Ծրագրում նշվում է նաև փուլից փուլ անցման ջերմաստիճանի աստիճանական աճի արագությունը (սահուն կամ կտրուկ):

Որոշվող տարրերի հետ գրաֆիտե վառարանում կարող են ընթանալ հետևյալ կողմնակի քիմիական ռեակցիաները.

1. կարբիդների առաջացում,

2. նիտրիդների և ցիանիդների առաջացում (որպես իներտ գազ ազոտի օգտագործման դեպքում),

3. մատրիցի տարրերի հետ միացությունների առաջացում (անիոնային և կատիոնային էֆեկտ):

Կողմնակի ռեակցիաները բարձրացնում են տարրի հայտնաբերման սահմանը:

Տարրերի հեռացումը գրաֆիտե վառարանից կարելի է ներկայացնել հետևյալ շարքով՝ Cd, Te, Bi, (Pb, Zn), Ag, Sb, Cu, Mn, (Sn, Co, Ni, Fe), Cr, Mg, Ca, Sr, Ba, Al:

Այսպես, ոչ բոցային, էլեկտրաջերմային ատոմացման եղանակի առավելությունն է համարվում հայտնաբերման բարձր զգայնությունը, անալիզի համար նմուշի (լուծույթի) քիչ քանակի օգտագործումը, որոշ դեպքերում պինդ նյութերի անալիզի իրականացման հնարավորությունը:

ԱՏՈՄԱՅԻՆ ԱԲՍՈՐԲՅՈՆ ՍԱՐՔԻ ՆԱԽԱՊԱՏՐԱՍՏՈՒՄԸ, ԱՆԱԼԻԶԻ ԸՆԹԱՅԸ ԵՎ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ԳՐԱՆՑՈՒՄԸ

Ատոմային աբսորբցիոն սարքի միջոցով նմուշի անալիզը հիմնականում կատարվում է հետևյալ կերպ.

1. Հայտնաբերումը բոցային ատոմացմամբ

Հայտնաբերվող տարրին համապատասխանող սնամեջ կատոդով լամպն անհրաժեշտ է նախապես միացնել ամենաքիչը 15 րոպե: Այդ ժամանակամիջոցում մոնոխրոմատորը բերում են համապատասխան ալիքի երկարության, ընտրում են նպատակահարմար մոնոքրոմատորի ճեղքի լայնությունը և ստուգում սնամեջ կատոդային լամպին տրվող հոսանքի ուժը: Դրանից հետո կարգավորում են այրող գազի և օդի ճնշումները, այրում են բոցը և կարգավորում հեղուկի մուտքը փոշիացնող սարք, որից հետո հաստատում են սարքի գրոյական դիրքը:

Ատոմային աբսորբցիոն սպեկտրաչափի նախապատրաստումն ավարտելուց հետո չափում են որոշվող տարրի ստանդարտ լուծույթների խմբի կլանումը և կառուցում աստիճանավորման կորը՝ կոնցենտրացիայից օպտիկական խտության կախվածությունը:

Տարրերի որոշումը բոցային ատոմացմամբ ատոմային աբսորբցիոն սպեկտրաչափով սովորաբար կատարվում է նմուշի ուղղակի փոշիացմամբ, եթե որոշման զգայնությունը բավարարում է: Եթե ուղղակի եղանակի զգայնությունը չի բավարարում, ապա անհրաժեշտ է նմուշը խտացնել: Դա կարելի է կատարել էքստրակտելով կամ գոլորշիացնելով, եթե դա թույլ են տալիս որոշվող տարրի հատկությունները և հաշվի է առնվում նմուշի հանքայնացումը: Զգայնության բարձրացման կարելի է հասնել նաև կիրառելով էլեկտրաջերմային ատոմացման եղանակը:

2. Հայտնաբերումը էլեկտրաջերմային ատոմացմամբ

Կատարում են լամպի տեղադրում, մոնոքրոմատորի և ճեղքի լայնության կարգավորում: Դրանից հետո տեղադրում են գրաֆիտե վառարանը (կյուվետը) լույսի ճառագայրիին այնպես, որ լույսի փունջը և վառարանի պատերը լինեն զուգահեռ և հետևաբար ա-

տոմացման հանգույցը կլանի հնարավորինս քիչ լույս, ինչը ստուգվում է դուրս հանող սարքի միջոցով:

Եթե սարքը համալրված է ֆոնային կարգավորիչով, ապա հավասարեցնում են սնամեջ կատողով լամպի և դետեկտիվային կամ ջրածնային լամպերի լույսերի ինտենսիվությունները: Կարգավորում են սարքի զրոյական գիծը:

Գրաֆիտե վառարանի տաքացման օպտիմալ ծրագիրը (չորացման, մոխրացման, ատոմացման ջերմաստիճանը և տևողությունը) որոշվում է առաջին հերթին ատոմացման հանգույցի երկրաչափական տվյալներով, որոշվող տարրի բնույթով, փորձարկվող նմուշի ծավալով: Դրա համար օպտիմալ ծրագրի ընտրությունը պետք է կատարվի ատոմացման հանգույցի արտադրող ֆիրմայի հրահանգների համաձայն:

Դրանից հետո կարգավորում են իներտ գազի և սառեցնող ջրի հոսքերի արագությունները, որից հետո սարքը պատրաստ է չափում կատարելու:

Չափումը սկսվում է ստանդարտ լուծույթներից՝ մեկը մյուսի հետևից ներարկելով ատոմացման հանգույց: Սարքը արձանագրում է կոնցենտրացիայից կախված կլանման ազդանշանի իմպուլսները (անալիտիկ ազդանշանը արտահայտվում է պիկի տեսքով): Կորի կառուցումից հետո դոզատորով ատոմացման հանգույց են ներարկում նմուշները և կատարում քանակական անալիզ:

Աստիճանավորման կորի վերարտադրելիությունը ստուգում են յուրաքանչյուր տասը նմուշ չափելուց հետո՝ ստանդարտ լուծույթի միջոցով: Եթե նկատվում է ազդանշանի նկատելի նվազում, ապա փոխում են գրաֆիտե վառարանը և կառուցում նոր կոր:

Համակարգչին միացված ատոմային աբսորբցիոն սպեկտրաչափերը թույլ են տալիս կառուցված համապատասխան աստիճանավորման կորի միջոցով էկրանի վրա անմիջապես ստանալ հետազոտվող նմուշի կոնցենտրացիայի արժեքը (մգ/լ, մկգ/լ, մոլ/լ): Մեծ քանակությամբ նմուշների անալիզի դեպքում դա բավականին հեշտացնում է աշխատանքը: Սարքերում միկրոպրոցեսորի առկայությունը թույլ է տալիս կոնցենտրացիայի հաշվարկումը նույնիսկ աստիճանավորված կորի ազատ, ոչ գծային տեսքի դեպքում: Միկրո-

պրոցեսորը մեծ հնարավորություններ ունի իմպուլսային ազդանշանների մշակման ժամանակ, որոնք ստացվում են ոչ բոցային ատոմացման հանգույցների հետ աշխատելու դեպքում: Այդ դեպքում անհրաժեշտ է լինում չափել ազդանշանի բարձրությունը կամ պիկի մակերեսը: Ազդանշանի պիկի մակերեսի չափումը գերադասելի է այն դեպքերում, երբ ազդանշանի կորն ունի բարդ տեսք (մի քանի պիկեր) կամ եթե ազդանշանները ունեն հիմքի տարբեր լայնություններ: Միկրոպրոցեսորը հնարավորություն է տալիս կատարել ազդանշանի ինտեգրում, անկախ նրա տեսքից: Այդ ժամանակ սպեկտրաչափը պետք է ունենա կայուն զրոյական գիծ: Ժամանակակից սարքերը մմուշի ատոմացումից առաջ այն ավտոմատ կերպով զրոյացնում են:

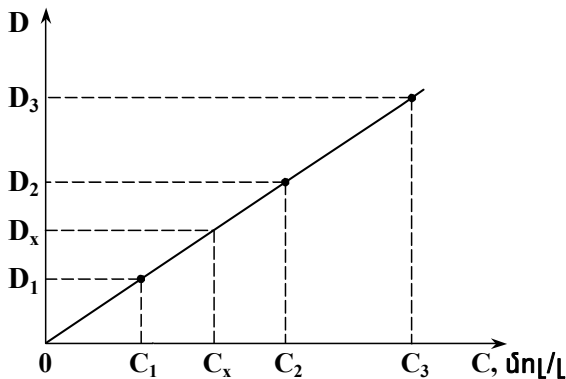
Ստանդարտ լուծույթների փոշիացումից հետո (հիմնականում 3-ից 5-ը) կատարում են 8-10 մմուշի չափում, որից հետո աստիճանավորման կորի ճշտությունը պարտադիր ստուգում են առնվազն մեկ ստանդարտ լուծույթով: Ստանդարտ լուծույթների ազդանշանների մեծությունների միջև շեղումը չպետք է գերազանցի տվյալ կոնցենտրացիայի մակարդակի համար ստանդարտ շեղման եռակի չափին: Չափումների ավարտից հետո ստուգում են ամբողջ աստիճանավորման կորը: Անհրաժեշտ է նշել, որ կոնցենտրացիայի որոշման ավելացման մեթոդը հիմնականում կիրառվում է բարդ մմուշների, ինչպես նաև հետքային քանակների անալիզի ժամանակ:

ԿՈՆՑԵՆՏՐԱՑԻԱՅԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ

ԱՍՏԻՃԱՆԱՎՈՐՄԱՆ ԳՐԱՖԻԿԻ ՄԵԹՈԴ

Համաձայն լուսակլանման հիմնական օրենքի, որոշակի ալիքի երկարության և կլանման շերտի անփոփոխ հաստության պայմանների դեպքում օպտիկական խտության նյութի կոնցենտրացիայից կախվածության գրաֆիկը (աստիճանավորման գրաֆիկ) պետք է լինի կոորդինատների սկզբնակետով անցնող ուղիղ գիծ:

Աստիճանավորման գրաֆիկի մեթոդով մետաղի կոնցենտրացիան հեղուկ մոլուշում որոշելու համար սկզբնական ստանդարտ լուծույթի նոսրացումով պատրաստում են տարբեր կոնցենտրացիաների ստանդարտ լուծույթների շարք (C_1 , C_2 , C_3 և այլն): Տվյալ մետաղին բնորոշ կլանման շերտի մաքսիմումին համապատասխանող ալիքի երկարության տակ ատոմային աբսորբցիոն սարքի միջոցով չափում են այդ ստանդարտ լուծույթների օպտիկական խտությունները (D_1 , D_2 , D_3 և այլն): Ստացված տվյալների հիման վրա կառուցում են աստիճանավորման գրաֆիկը՝ օպտիկական խտության կախվածությունը մետաղի կոնցենտրացիայից (նկ. 2): Այնուհետև, օգտվելով այդ գրաֆիկից, տվյալ D_x օպտիկական խտության արժեքով որոշում են հետազոտվող մոլուշում մետաղի C_x կոնցենտրացիան:



Նկ. 2. Աստիճանավորման գրաֆիկ

Քանի որ փորձից փորձ անցնելիս շատ դժվար է պահել հաստատուն բոցի միևնույն ցուցանիշները և անալիզի իրականացման մյուս պայմանները, ապա աստիճանավորման կորն անհրաժեշտ է կառուցել հետազոտվող տվյալ նմուշների խմբի համար:

Այս մեթոդի թերությունն այն է, որ համեմատաբար մեծ կոնցենտրացիաների և բարդ համակարգերի դեպքում դիտվում է շեղում ուղղագծային կախվածությունից:

ԱՎԵԼԱՅՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Այս մեթոդը օգտագործում են բարդ բաղադրությամբ լուծույթների քանակական անալիզի ժամանակ, քանի որ այն թույլ է տալիս «հաշվի առնել» կողմնակի բաղադրիչների ազդեցությունը: Ավելացման մեթոդով մետաղի կոնցենտրացիայի որոշումը հիմնված է հետազոտվող լուծույթի և հայտնի քանակության ստանդարտի ավելացմամբ նույն լուծույթի օպտիկական խտությունների համեմատության վրա:

Մետաղի կոնցենտրացիան նմուշում որոշում են հաշվարկային (համեմատական) կամ գրաֆիկական եղանակով:

Ավելացման մեթոդով մետաղի կոնցենտրացիայի համեմատական որոշումը

Լուսակլանման հիմնական օրենքի գործելու և կլանման շերտի անփոփոխ հաստության պայմաններում հետազոտվող նմուշի օպտիկական խտության (D_x) հարաբերությունը հայտնի քանակության ստանդարտի ավելացմամբ նույն լուծույթի օպտիկական խտությանը (D_{x+a}) հավասար կլինի դրանց մեջ հետազոտվող մետաղի կոնցենտրացիաների հարաբերությանը`

$$D_x / D_{x+a} = C_x / (C_x + C_a):$$

Այստեղից հետևում է, որ

$$C_x = C_a D_x / (D_{x+a} - D_x),$$

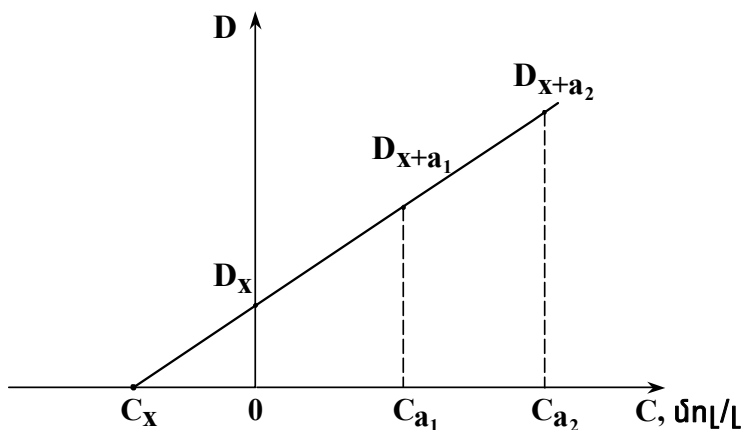
որտեղ D_x -ը հետազոտվող լուծույթի օպտիկական խտությունն է, D_{x+a} -ն՝ օպտիկական խտությունն է ստանդարտի ավելացումից հետո, իսկ C_x -ը և C_a -ն՝ համապատասխանաբար հետազոտվող և ավելացված ստանդարտ լուծույթներում որոշվող մետաղի կոնցենտրացիաները (հաշված ստացված լուծույթի ընդհանուր ծավալի համար): C_a -ն կապված է ավելացվող ստանդարտ լուծույթի կոնցենտրացիայի հետ հետևյալ կերպ՝

$$C_a = C_{ստ} V_{ստ} / (V_{ստ} + V_x),$$

որտեղ $C_{ստ}$ -ը ավելացվող ստանդարտ լուծույթում մետաղի կոնցենտրացիան է, իսկ V_x -ը և $V_{ստ}$ -ը՝ համապատասխանաբար հետազոտվող և ստանդարտ լուծույթների ծավալները: Ավելացվող ստանդարտ լուծույթը անհրաժեշտ է վերցնել այնպիսի քանակությունով, որպեսզի տեղի չունենա «ճշտության կորուստ», այսինքն $D_{x+a} - D_x$ նվազագույն տարբերությունը պետք է լինի 0,1-ից ոչ պակաս:

Ավելացման մեթոդով մետաղի կոնցենտրացիայի գրաֆիկական որոշումը

Գրաֆիկական եղանակով հետազոտվող լուծույթում մետաղի կոնցենտրացիայի որոշման համար հետազոտվող լուծույթը բաժանում են n հավասար մասերի, ավելացնում են նույն քանակությամբ տարբեր կոնցենտրացիաների ստանդարտ լուծույթներ կամ տարբեր քանակությամբ նույն կոնցենտրացիայով ստանդարտ լուծույթ և չափում օպտիկական խտության արժեքները: Այնուհետև, կառուցում են օպտիկական խտության՝ ավելացված ստանդարտի կոնցենտրացիայից (հաշվի առնելով նոսրացումը) կախվածության գրաֆիկը (նկ. 3):



Նկ. 3. Ավելացման մեթոդով մետաղի կոնցենտրացիայի գրաֆիկական որոշումը

Այդ նպատակով աբսցիսների առանցքի վրա տեղադրում են ավելացված ստանդարտ լուծույթներում հետազոտվող մետաղի կոնցենտրացիաների արժեքները՝ C_{a1} , C_{a2} և այլն (հաշված ստացված լուծույթի ընդհանուր ծավալի համար): Այդ կետերով տանում են օրդինատին զուգահեռներ և տեղադրում չափված համապատասխան օպտիկական խտության արժեքները (D_{x+a1} , D_{x+a2} և այլն): Առնվազն երեք կետեր (D_x , D_{x+a1} , D_{x+a2}) ստանալուց հետո դրանցով անցկացնում են ուղիղ գիծ՝ մինչև աբսցիսների առանցքի հետ հատվելը C_x կետում: Այդ կետի բացարձակ արժեքը հավասար է հետազոտվող լուծույթում մետաղի կոնցենտրացիային:

Մեծ կոնցենտրացիաների դեպքում, երբ լուծույթում տեղի է ունենում բաղադրիչների միջև փոխազդեցություն, ավելացման մեթոդը կարող է բերել իրական տվյալների խիստ մեծացման՝ ուղղագծայնության խախտման հետևանքով:

ԼԱԲՈՐԱՏՈՐ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐ

Աշխատանք 1.

Կադմիումի որոշումը խմելու և հանքային ջրերում

Խմելու և հանքային ջրերում կադմիումի որոշումը հանդիսանում է բավական դժվար խնդիր, քանի որ շատ դեպքերում դրա քանակները ուսումնասիրվող նմուշներում հետքային են՝ $\leq 0,001$ մկգ/մլ: Սովորաբար, մաքուր խմելու և հանքային ջրերում պարունակվում է մինչև $0,0005$ մկգ/մլ կադմիում, իսկ սահմանային թույլատրելի կոնցենտրացիան (ՍԹԿ) հավասար է $0,001$ մկգ/մլ: Ներկայումս ատոմային արտոբջիոն մեթոդը հանդիսանում է ջրերում կադմիումի որոշման լավագույն եղանակը: Անալիզն իրականացվում է ավելացման (հավելումների) եղանակով գրաֆիտե վառարանում (էլեկտրաջերմային ատոմացում) կամ օդ-ացետիլենային բոցում՝ օգտագործելով սնամեջ կաթոդով կալցիումի լամպը, որը արձակում է $228,8$ նմ ալիքի երկարության ճառագայթ: Որոշ դեպքերում (զգայնության նվազման հաշվին) կարելի է օգտագործել նաև օդ-պրոպանային բոցը: Սնամեջ կաթոդով լամպի փոխարեն կադմիումի բարձրհաճախային գազալիցքաթափման լամպի (EDL) կիրառումը կարող է բարձրացնել զգայունությունը՝ նվազեցնելով որոշման սահմանը $2\div 4$ անգամ: Բարձրհաճախային գազալիցքաթափման լամպերը, ի տարբերություն սնամեջ կաթոդով լամպերի, աշխատում են ավելի երկար և արձակում են մոտավորապես 30 անգամ ավելի պայծառ ճառագայթ:

Խմելու և հանքային ջրերում կադմիումի քանակները որոշում են ավելացման եղանակով: Կադմիումի $0,1$ մկգ/մլ կոնցենտրացիայով մեկ ստանդարտ լուծույթի նոսրացումով պատրաստում են համապատասխանաբար $0,002$, $0,004$, $0,006$, $0,008$ և $0,01$ մկգ/մլ կադմիում պարունակող ստանդարտ լուծույթների շարք: Այդ նպատակով 100 մլ-ոց չափիչ կոլբաների մեջ լցնում են 2 , 4 , 6 , 8 և 10 մլ $0,1$ մկգ/մլ կոնցենտրացիայով կադմիումի ստանդարտ լուծույթ, ավելացնում թորած ջուր մինչև միշը և թափահարում: Հետազոտվող ջուրը բաժանում են 5 հավասար մասերի, ավելացնում են նույն քա-

նակությանը 0,002, 0,004, 0,006, 0,008 և 0,01 մկգ/մլ կոնցենտրացիաների կադմիումի ստանդարտ լուծույթներ: Սարքի կարգավորումից հետո չափում են ստացված լուծույթների օպտիկական խտությունները և կառուցում օպտիկական խտության` ավելացված ստանդարտի կոնցենտրացիայից (վերահաշված ստացված լուծույթի ընդհանուր ծավալի համար) կախվածության գրաֆիկը, որը պետք է լինի ուղիղ գիծ (տես նկ. 3): Այդ գիծը արեցիսների առանցքը հատում է բացասական կետում: Այդ կետի բացարձակ արժեքը հավասար է հետազոտվող նմուշում կադմիումի կոնցենտրացիային:

Աշխատանք 2.

Կալցիումի որոշումը արյան մեջ, արյան շիճուկում և կենդանի հյուսվածքներում

Կալցիումի որոշումը արյան շիճուկում, կենդանի հյուսվածքներում և արյան մեջ իրականացվում է ատոմային արտաբերիցիոն մեթոդով օդա-ացետիլենային կամ օդա-պրոպանային բոցում` օգտագործելով սնամեջ կաթոդով կալցիումի լամպը, որն արձակում է 422,7 նմ ալիքի երկարությամբ ճառագայթ:

Արյունը և արյան շիճուկը պարտադիր նոսրացնում են, որպեսզի իրար հավասարվեն նմուշների և ստանդարտ լուծույթների մածուցիկությունները, որը կարող է փոփոխել բոցի մեջ դրանց ներարկման արագությունը: Բացի դրանից, նշված նմուշներում միշտ առկա է ֆոսֆատ իոնը, որը խանգարում է ատոմային արտաբերիցիոն եղանակով կալցիումի որոշմանը: Ֆոսֆատ իոնի խանգարող ազդեցությունը չեզոքացնելու համար ստանդարտ լուծույթներին և հետազոտվող նմուշներին ավելացնում են լանթանի (III) կամ ստրոնցիումի որևէ աղ, օրինակ` LaCl_3 կամ SrCl_2 : Արյունը և արյան շիճուկը հետազոտման համար նոսրացնում են 3-ից մինչև 20 անգամ 0,1% ստրոնցիումի քլորիդի ջրային լուծույթով, այնպես որ կալցիումի որոշվող կոնցենտրացիան լինի 1-ից մինչև 10 մկգ/մլ տիրույթում: Այդ նպատակով, օրինակ, 50 մլ-ոց չափիչ կոլբայի մեջ լցնում են 2,5 մլ արյան շիճուկ, ավելացնում 0,1% SrCl_2 -ի ջրային լուծույթ մինչև նիշը և

թափահարում: Կենդանի հյուսվածքների դեպքում դրանք նախօրոք այրում են մուֆեչային վառարանում, մնացորդը լուծում խիտ աղաթթվում, իսկ այնուհետև ստացված լուծույթը նոսրացնում են 0,1% լանթանի քլորիդի ջրային լուծույթով, այնպես որ կալցիումի կոնցենտրացիան գտնվի $1 \div 10$ մկգ/մլ տիրույթում:

Կալցիումի 0,1 մգ/մլ մեկ ստանդարտ լուծույթի նոսրացումով պատրաստում են ստանդարտ լուծույթների շարք, այնպես, որ դրանք պարունակեն համապատասխանաբար 1, 2, 5, 8 և 10 մկգ/մլ կալցիում, ինչպես նաև այնպիսի քանակությամբ լանթանի (III) աղ, որքան առկա է նշված եղանակով հետազոտման համար պատրաստված լուծույթներում: Այնուհետև չափում են ստանդարտ լուծույթների համար օպտիկական խտությունները, ընդ որում չափումները կատարում են առնվազն երեք անգամ և վերցնում դրանց միջինը: Ստացված տվյալներով կառուցում են աստիճանավորման գրաֆիկը՝ օպտիկական խտության կախվածությունը մետաղի կոնցենտրացիայից: Այն պետք է լինի ուղիղ գիծ: Հետո, օգտվելով այդ գրաֆիկից, որոշում են հետազոտվող լուծույթներում կալցիումի կոնցենտրացիան՝ ելնելով դրանց համար ստացված օպտիկական խտության արժեքներից:

Աշխատանք 3.

Նատրիումի որոշումը իզոտոնիկ և Ռինգերի լուծույթներում

Որոշումը իրականացվում է ատոմային էմիսիոն եղանակով օդապրոպանային բոցում՝ մոնոքրոմատորի ալիքի երկարության 589,2 մմ արժեքի դեպքում:

Նատրիումի քլորիդի մեկ ստանդարտ լուծույթի նոսրացումով պատրաստում են 10, 50 և 100 մկգ/մլ կոնցենտրացիաներով ստանդարտ լուծույթների շարք: Այդ նպատակով 100 մլ-ոց չափիչ կոլբաների մեջ լցնում են 1, 5 և 10 մլ 1 մգ/մլ կոնցենտրացիայով նատրիումի քլորիդի ստանդարտ լուծույթ, ավելացնում թորած ջուր մինչև միշը և թափահարում: Սարքի կարգավորումից և բոցի կայունացումից հետո չափում են պատրաստված ամենամեծ կոնցենտրա-

ցիայով (100 մկգ/մլ) ստանդարտ լուծույթի բացթողման արժեքը (T, %) և սարքի միջոցով հասցնում այն 100%-ի: Նույնը անում են նաև թորած ջրի համար՝ բերելով բացթողման արժեքը 0%: Այնուհետև չափում են մյուս ստանդարտ լուծույթի համար բացթողման արժեքները: Ստացված տվյալներով կառուցում են աստիճանավորման գրաֆիկը՝ բացթողման գործակցի կախվածությունը նատրիումի կոնցենտրացիայից: Այնուհետև 100 անգամ նոսրացնում են ելային հետազոտվող լուծույթները: Այդ նպատակով 100 մլ-ոց երկու չափիչ կոլբաների մեջ լցնում են մեկական մլ իզոտոնիկ (ֆիզիոլոգիական) և Ռինգերի լուծույթներ, ավելացնում թորած ջուր մինչև միշը և թափահարում: Հետո չափում են այդ լուծույթների համար բացթողման արժեքները և, օգտվելով կառուցված աստիճանավորման գրաֆիկից և հաշվի առնելով նոսրացումը որոշում նատրիումի կոնցենտրացիան ելային իզոտոնիկ և Ռինգերի լուծույթներում:

Նատրիումի կոնցենտրացիան իզոտոնիկ և Ռինգերի լուծույթներում կարելի է որոշել նաև ատոմային արտաբեցիոն եղանակով օդացետիլենային բոցում՝ օգտագործելով սնամեջ կատոդով նատրիումի լամպը: Սակայն, այդ դեպքում բոցում նատրիումի իոնիզացիան բացառելու համար և՛ ստանդարտ, և՛ հետազոտվող լուծույթներին ավելացնում են մինչև 0,1% ցեզիումի քլորիդ:

Աշխատանք 4.

Կապարի որոշումը կաթում և ջրում

Սննդամթերքում կապարի սահմանային թույլատրելի կոնցենտրացիաներին վերաբերվող պահանջները բերված են «Պարենային հումքի և սննդամթերքի անվտանգությանը և սննդային արժեքներին ներկայացվող հիգիենիկ պահանջներ N2-III-4.9-01-2003» որոշման մեջ: Ըստ այդ փաստաթղթի կապարի սահմանային թույլատրելի կոնցենտրացիան (ՍԹԿ) կաթնամթերքում և ջրերում հավասար է 0,01 մկգ/մլ: Ներկայումս ատոմային արտաբեցիոն մեթոդը հանդիսանում է կաթնամթերքում, խմելու և հանքային ջրերում կապարի որոշման լավագույն եղանակներից մեկը: Անալիզն իրականացվում է

ըստ նորմատիվային փաստաթղթերի (ГОСТ 23957.1-2003, ГОСТ 30178-96)՝ գրաֆիտային վառարանում (էլեկտրաջերմային ատոմացում) կամ օդա-ացետիլենային բոցում՝ օգտագործելով սնամեջ կաթոդով կապարի լամպը, որը արձակում է 283,8 *նմ* ալիքի երկարության ճառագայթ: Պետք է նշել, որ էլեկտրաջերմային ատոմացման հանգույցով ԱԱՍ-ները ունեն կապարի որոշման ավելի բարձր զգայունություն, քան բոցային ատոմիզատորներով սարքերը:

Ջրում և կաթում կապարի քանակները որոշում են ավելացման եղանակով: Կապարի 1 *մկգ/մլ* կոնցենտրացիայով մեկ ստանդարտ լուծույթի նոսրացումով պատրաստում են համապատասխանաբար 0,01, 0,02, 0,04, 0,06, 0,08 և 0,1 *մկգ/մլ* կապար պարունակող ստանդարտ լուծույթների շարք: Այդ նպատակով 100 *մլ*-ոց չափիչ կոլբաների մեջ լցնում են 1, 2, 4, 6, 8 և 10 *մլ* 1 *մկգ/մլ* կոնցենտրացիայով կապարի ստանդարտ լուծույթ, ավելացնում թորած ջուր մինչև նիշը և թափահարում: Հետագոտվող նմուշը բաժանում են 6 հավասար մասերի, ավելացնում են նույն քանակությամբ 0,01, 0,02, 0,04, 0,06, 0,08 և 0,1 *մկգ/մլ* կոնցենտրացիաների կապարի ստանդարտ լուծույթներ: Սարքի կարգավորումից հետո չափում են ստացված լուծույթների օպտիկական խտությունները: Չափումները կատարում են առնվազն երեք անգամ և վերցնում դրանց միջինը: Ստացված տվյալներով կառուցում են օպտիկական խտության՝ ավելացված ստանդարտի կոնցենտրացիայից (վերահաշված ստացված լուծույթի ընդհանուր ծավալի համար) կախվածության գրաֆիկը, որը պետք է լինի ուղիղ գիծ (տե՛ս նկ. 3): Այդ գիծը աբսցիսների առանցքը հատում է բացասական կետում, որի բացարձակ արժեքը հավասար է հետագոտվող նմուշում կապարի կոնցենտրացիային:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. **Weltz B., Sperling M.**, Atomic Absorption Spectrometry (3rd Edition). – Wiley-VCH, Weinheim, 1998. – 964 pp.
2. **Хавезов И., Цалев Д.**, Атомно-абсорбционный анализ. Пер. с болгарского (под редакцией С. З. Яковлевой). – Л.: Химия, 1983. – 144 с.
3. **Брицке М. Э.**, Атомно-абсорбционный спектрохимический анализ. – М.: Химия, 1982. – 224 с.
4. **Отто М.**, Современные методы аналитической химии. Пер. с немецкого (под редакцией А. В. Гармаша). – М.: Техносфера, 2006. – 544 с.
5. **Васильев В. П.**, Аналитическая химия. Книга 2: Физико-химические методы анализа. Учеб. для студентов вузов. – М.: Дрофа, 2004. – 384 с.
6. Физико-химические методы анализа. Учеб. пособие для вузов /под ред. **В. Б. Алесковского**/. – Л.: Химия, 1988. – 376 с.
7. **Беков Г. И., Бойцов А. А., Большов М. А. и др.**, Спектральный анализ чистых веществ /под ред. **Х. И. Зильберштейна**/. – Л.: Химия, 1994. – 336 с.

Բովանդակություն

Ատոմային սպեկտրոսկոպիա	3
Տեսական մաս	3
1. Ատոմային էմիսիոն մեթոդ (գրգռում բոցում)	4
2. Ատոմային աբսորբցիոն մեթոդ.....	9
Ատոմային աբսորբցիոն սարքի նախապատրաստումը, անալիզի ընթացքը և արդյունքների գրանցումը	20
Կոնցենտրացիայի որոշման մեթոդներ	23
Աստիճանավորման գրաֆիկի մեթոդ	23
Ավելացման մեթոդ	24
Ավելացման մեթոդով մետաղի կոնցենտրացիայի համեմատական որոշումը	24
Ավելացման մեթոդով մետաղի կոնցենտրացիայի գրաֆիկական որոշումը	25
ԼԱԲՈՐԱՏՈՐ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐ	
Աշխատանք 1. Կադմիումի որոշումը խմելու և հանքային ջրերում.....	27
Աշխատանք 2. Կալցիումի որոշումը արյան մեջ, արյան շիճուկում և կենդանի հյուսվածքներում	28
Աշխատանք 3. Նատրիումի որոշումը իզոտոնիկ և Ռինգերի լուծույթներում	29
Աշխատանք 4. Կապարի որոշումը կաթում և ջրում	30
Գրականություն.....	32

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Գ. Ս., ՄԱՐՏԻՐՅԱՆ Ա. Ի.

**ԱՏՈՍԱՅԻՆ
ՍՊԵԿՏՐՈՍԿՈՊԻԱ**

(ռւսումնամեթոդական աշխատանք)

Համակարգչային ձևավորումը՝ Կ. Չալաբյանի
Կազմի ձևավորումը՝ Ա. Պատվականյանի
Տեխ. սրբագրումը՝ Վ. Դերձյանի

Տպագրված է «Գևորգ-Հրայր» ՍՊԸ-ում:
ք. Երևան, Գրիգոր Լուսավորչի 6

Չափսը՝ 60x84 $\frac{1}{16}$: Տպ. մամուլ՝ 2.125:
Տպաքանակը՝ 100:

ԵՊՀ հրատարակչություն,
ք. Երևան, 0025, Ալեք Մանուկյան 1