

ИЗОТОПОН ҮҮСГҮҮРТЭЙ РЕНТГЕН ФЛУОРЕСЦЕНЦИЙН АНАЛИЗЫН ҮЕД БАГА ЭНЕРГИЙН МУЖИД ҮҮСЭХ ТИЙРЭГДСЭН ЭЛЕКТРОНЫ ТОРМОЗЫН СПЕКТРИЙН ТООЦОО

Б.Эрдэмчимэг, П.Зузаан

А.Ю. Портной*, Г.В. Павлинский*

Монгол Улсын Их Сургууль, Цөмийн судалгааны төв

* *Applied physics institute at Irkutsk State University.*

Түлхүүр үг: Тийрэгдсэн электрон, Комптоны сарнил,
тормозын цацраг, цацраг идэвхт изотопон үүсгүүр,
рентгенфлуоресценцийн анализ, Am^{241}

Товч утга: Тийрэгдсэн электроны тормозын цацрагийн спектрал түгэлт флуоресценц болгож байгаа материалын элементийн найрлагаас хэрхэн хамаарахыг тодорхойлох онолын илэрхийллийг дэвшүүлэв. Энэ илэрхийллээ Am^{241} , Cd^{109} цацраг идэвхт үүсгүүрүүдийн монохроматик анхдагч цацрагийн хувьд авч үзлээ. Дээрх түгэлтийн тооцоог Cu, Si, O гэх мэт хэд хэдэн элементийн хувьд тооцоолсон.

ОРШИЛ

Рентген флуоресценцийн анализад фоныг тооцоолох нь аналитик дохионы ялгаралыг (контрастность) хамгийн их байлгах ажлын тохиромжтой горимыг сонгоход, дээж дэх элементүүдийн мэдрэх чадварыг дээшлүүлэхэд зайлшгүй чухал. Бид энэ тохиолдолд фон гэсэн ойлголтыг бүртгэгдсэн шугамын тасралтгүй спектр дээр гарсан болон хэмжигдсэн шугамтай хамт давхцан бүртгэгдсэн фоны хэсгийн хувьд авч үзлээ.

Рентген флуоресценцийн анализад фоны спектр дараахь процессуудаас шалтгаалан үүссэн байдаг. Үүнд:

- Анхдагч цацрагийн дээжнээс болон багажны хэсгүүдээс сарнисан сарнил (когерент болон когерент биш) [1-5]
- Фото, Оже электронууд болон тийрэгдэлтийн электроны дээжинд үүсгэх электроны тормозны цацраг [6]

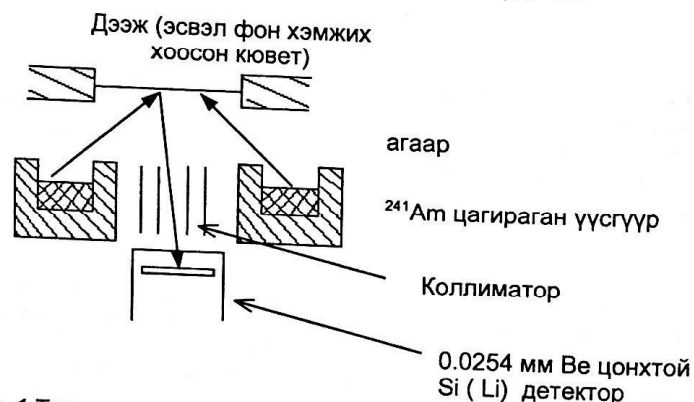
Өмнө нь рентген цацрагийн фоныг аналитик дохио гаргах болон бүртгэх системтэй нь холбон авч үзэж байсан [5, 7-11]. Энэ фон нь флуоресценц гаргаж байгаа дээжтэй хамааралгүй бөгөөд зарчмын хувьд үүнийг багажийг сайжруулах замаар алга болгож болно. Харин рентген флуоресценцийн цацрагийн фоныг үүсгэх

процесст Комптоны сарнилын үед үүсэх тийрэгдэлтийн электроны тормозлох процессыг авч үзээгүй байсан.

Энэ ажлын зорилго нь рентген цацрагийн фоныг дээжинд үүссэн тийрэгдсэн электроны тасралтгүй тормозын цацрагтай холбоотой хэсгийг онолоор тооцоолж туршлагын үр дүнтэй харьцуулах юм.

1. ТУРШИЛТ

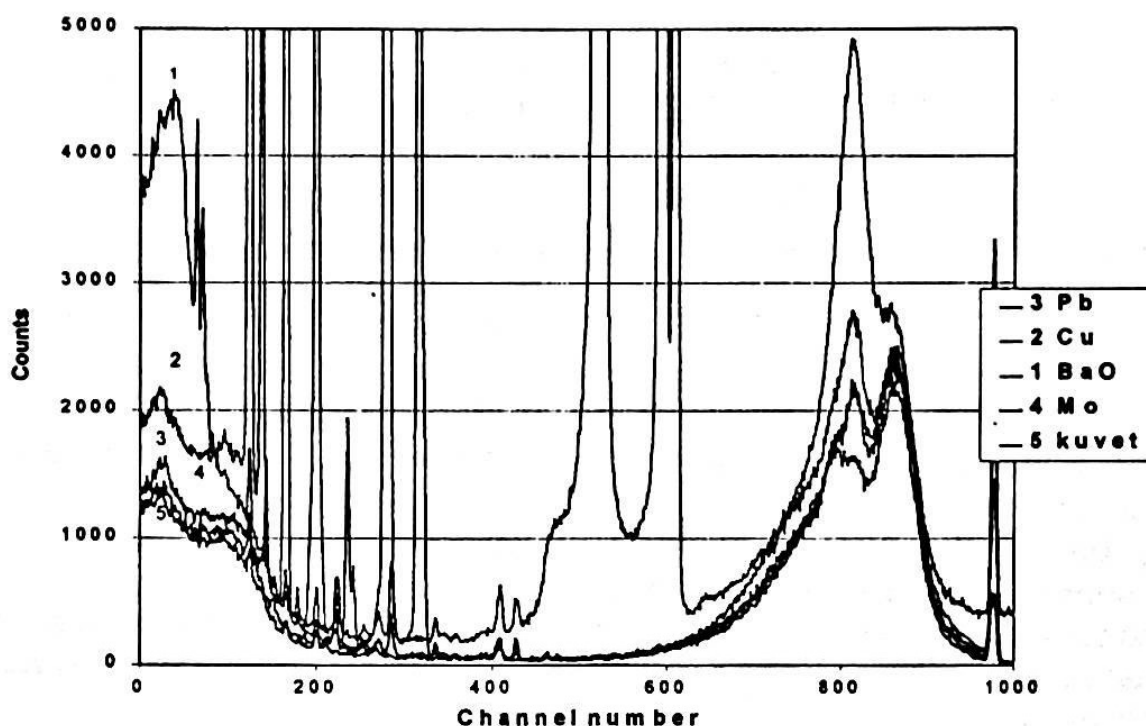
Дээжийг өдөөх изотопон үүсгүүр хагас дамжуулагч детектор бүхий төхөөрөмж ашиглан туршилтыг явуулав.



Зураг .1.Туршилтын схем

Нэлээд төвөгтэй асуудал нь дээжинд үүсч байгаа фоныг багаж төхөөрөмжнөөс сарнин үүсч байгаагаас нь ялгах юм. Хагас дамжуулагч детектороор Pb, Mo, Cu, BaO, хоосон кюветыг бүртгэсэн спектрал түгэлтийг авч үзье.

Туршилтаас харахад дээжгүй хоосон кюветыг хэмжих үеийн цацрагийн спектрал түгэлт хүнд металл болох Mo, Pb-ийнхтай (хүчилтөрөгч агуулаагүй) бараг тохирч байна. (характеристик шугамыг нь авч тооцохгүйгээр) Бид фоны энэ хэсгийг аппаратын гадаргуугаас сарних комптоны нэг болон олон дахин сарнил, анхдагч рэлейн сарнил, тийрэгдэлтийн электроноос үүссэн тормозын цацрагийнх гэж үзээд дараахь тооцооноос хассан болно.



Зураг.2. Төхөөрөмжний хэсгээс анхдагч цацрагийн сарнихтай хамааралтай болон электроны тормозын цацрагаар үүсэхтэй холбоотой фоныг үүсгэгчийн сонголт. Үүсгүүр нь ^{241}Am байв.

2. ОНОЛ

Комптоны харилцан үйлчлэлийн процессыг дараахь схемээр явагддаг гэж үзье. өндөр энергитэй монохроматик фотон-
> (комптоны харилцан үйлчлэл) -> тийрэгдэлтийн электрон-> тормозын цацраг.

Тооцоог хялбаршуулахын тулд дараахь нөхцөлүүдийг тавьж өгье. Дээж нэгэн төрөл бөгөөд цул гэж үзье. Ингэхэд бодис дахь электроны чөлөөт гүйлтийн урт нь рентген квантын чөлөөт гүйлтийн уртаас олон дахин бага бөгөөд тормозын цацраг комптоны харилцан үйлчлэл эхлэхэд үүснэ гэж үзэж болно. Иймээс тийрэгдсэн электроны хөдөлгөөний чиглэл дурын байх бөгөөд тэдгээрийн урсгалыг изотроп гэж тооцож болно. Тэгвэл E_0 энергитэй анхдагч монохроматик цацрагийн сарнилаар үүсэх E энергитэй тормозын цацрагийн спектрал эрчим дараахь тэгшитгэлээр илэрхийлэгднэ.

$$\frac{dN_c(E)}{dE} = \frac{const}{\frac{\mu(E_0)}{\sin(\varphi)} + \frac{\mu(E)}{\sin(\psi)}} \int_0^{E_{c \max}} P_{E_0 \rightarrow E_s} P_{E_s \rightarrow E} dE_s \quad (1)$$

Үүнд : $P_{E_0 \rightarrow E_s}$ -комптоны харилцан үйлчлэлийн үр дүнд E_s - энергитэй фотон, E_0 - энергитэй тийрэгдсэн электрон үүсэх магадлал

$P_{E_s \rightarrow E}$ - тийрэгдсэн электрон E энергитэй фотон гаргах магадлал
 $\mu(E_0)$ ба $\mu(E)$ - анхдагч болон тормозын цацрагийн масс шингээлтийн коэффициент
 φ ба ψ - дээжийн гадаргуутай харьцуулан авч үзсэн анхдагч цацрагийн тусах болон тормозын цацрагийн гарах өнцгүүд
 $const$ - цацрагийн үүсгүүр, дээж, детекторын геометр, тормозын цацрагийн квантаас электрон үүсгэх магадлалаар тодорхойлогдох тогтмол

Дээжинд тийрэгдсэн электроны урсгал үүсэх процесс болон тэдгээрийн энергийн спектрийг авч үзье. Атомын электронууд ба фотоны комптон харилцан үйлчлэлийн магадлал нь дараахь сарнилын дифференциаль огтлолоор илэрхийлэгднэ.

$$\frac{d\sigma_{am}}{d\Omega} = \frac{d\sigma_{KNT}}{d\Omega} F_{nk} \quad (2)$$

Үүнд F_{nk} - когерент биш харилцан үйлчлэлийн атомын засварын коэффициент

Ω - комптон сарнилын биелэг өнцөг

$$\frac{d\sigma_{KNT}}{d\Omega} = \left(\frac{r_0^2}{2} \right) \times \left(\frac{E_s}{E_0} \right)^2 \times \left(\frac{E_0}{E_s} + \frac{E_s}{E_0} - \sin^2(\Theta) \right) \quad (3)$$

$\frac{d\sigma_{KNT}}{d\Omega}$ - Сарнилын Клейн -Нишин- Таммын дифференциаль огтлол

r_0 - электроны классик радиус

Θ - комптоны харилцан үйлчлэлийн сарнилын өнцөг

Когерент биш сарнилын фактор F_{nk} - г дараахь томъёогоор тодорхойлов.

$$F_{nk} = Z (1 - e^{-5w})$$

ҮҮНД :

$$w = \frac{2.21}{Z^{0.66}} \cdot \frac{\sin(\frac{\Theta}{2})}{\lambda}$$

Z- сарниулагч атомын атомын дугаар

Комптоны сарнил нь сул холбоост гадаад давхаргын электрон дээрээс явагддаг гэж үзье. Тэгвэл комптоны харилцан үйлчлэлд орсны дараа тийрэгдсэн электроны энерги нь дараахь байдлаар илэрхийлэгднэ.

$$E_e = E_0 - E_s = E_0 \frac{k(1 - \cos(\Theta))}{1 + k(1 - \cos(\Theta))} \quad (4)$$

ҮҮНД :

$$k = \frac{h\nu_0}{m_0c^2} = \frac{E_0}{511.003}$$

Электроны энергиэр түгэх түгэлтийн тоо нь

$$\frac{dN_e}{dE_e} = \frac{d\sigma_{am}}{d\Theta} \cdot \frac{1}{\frac{dE_e}{d\Theta}} = \frac{d\sigma_{KNT} Fnk}{d\Omega} \cdot \frac{2\pi \sin(\Theta)}{\frac{dE_e}{d\Theta}}$$

Анхдагч цацраг комптоны харилцан үйлчлэлээр E_e энергитэй электрон үүсгэх магадлал нь дараахь байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$P_{E_0 \rightarrow E_e} = \frac{dN_e}{dE_e} = \frac{d\sigma_{KNT} Fnk}{d\Omega} \cdot \frac{2\pi}{E_0 k} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{1+k \cdot (1-\cos(\Theta))} - \frac{k \cdot (1-\cos(\Theta))}{(1+k \cdot (1-\cos(\Theta)))^2} \right)} \quad (5)$$

Дээжинд үүссэн тормозны цацрагийг тооцоонд Крамерсийн хуулийг ашиглав.

$$P_{E_e \rightarrow E} = \text{const}_1 Z \frac{E_e - E}{E} \quad E_e > E \quad \text{үед}$$

$$P_{E_e \rightarrow E} = 0 \quad E_e < E \quad \text{үед} \quad (6)$$

байна. (1) тэгшитгэл дэх dE_e хувьсагчийг $d\Theta$ -өөр солибол

$$\frac{dN_c(E)}{dE} = \frac{\text{const}_2}{\frac{\mu(\lambda_0)}{\sin(\varphi)} + \frac{\mu(\lambda)}{\sin(\psi)}} \int_0^\pi \frac{d\sigma_{am}}{d\Omega} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \sin(\Theta) \cdot P_{E_e \rightarrow E} \cdot d\Theta \quad (7)$$

ЭСВЭЛ

$$\frac{dN_c(\lambda)}{d\lambda} = \frac{dN_c(E)}{dE} \cdot \frac{dE}{d\lambda} \quad (8)$$

байна.

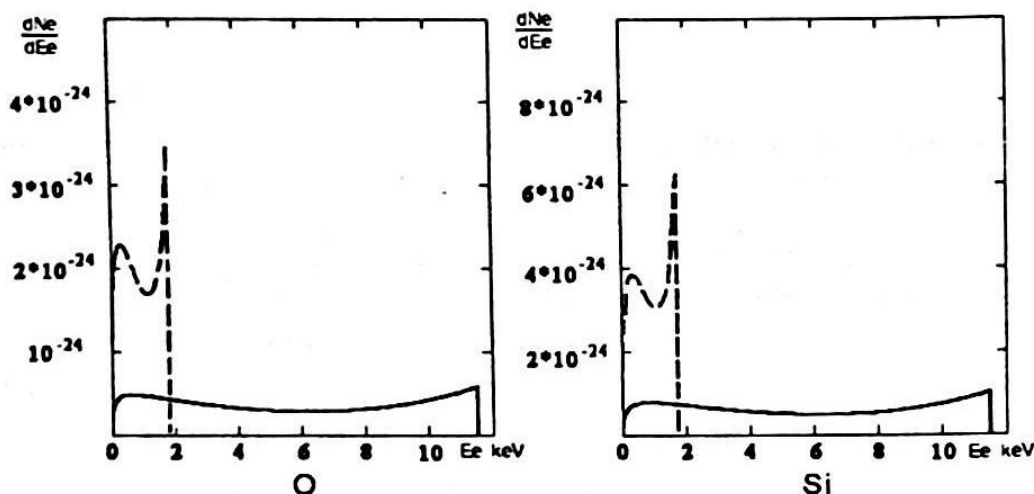
3. ТООЦООНЫ ҮР ДҮНГ ТУРШЛАГЫН ҮР ДҮНТЭЙ ХАРЬЦУУЛСАН НЬ

Монохроматик цацраг дээжтэй харилцан үйлчилсний дүнд үүсэх тийрэгдсэн электрон энергийн спектрийг (5) томъёогоор бодсоныг 3-р зурагт үзүүлэв.

Сарнилын интеграл огтлол энергиэс сул хамаардаг учраас

$\frac{dN_e}{dE_e}$ муруй доорх талбай энергиэс бага хамаарна.

$\Theta = \pi$ дээрх тэг биш утган дээрх электроны максимум энергийг (5) томъёогоор тодорхойлно.

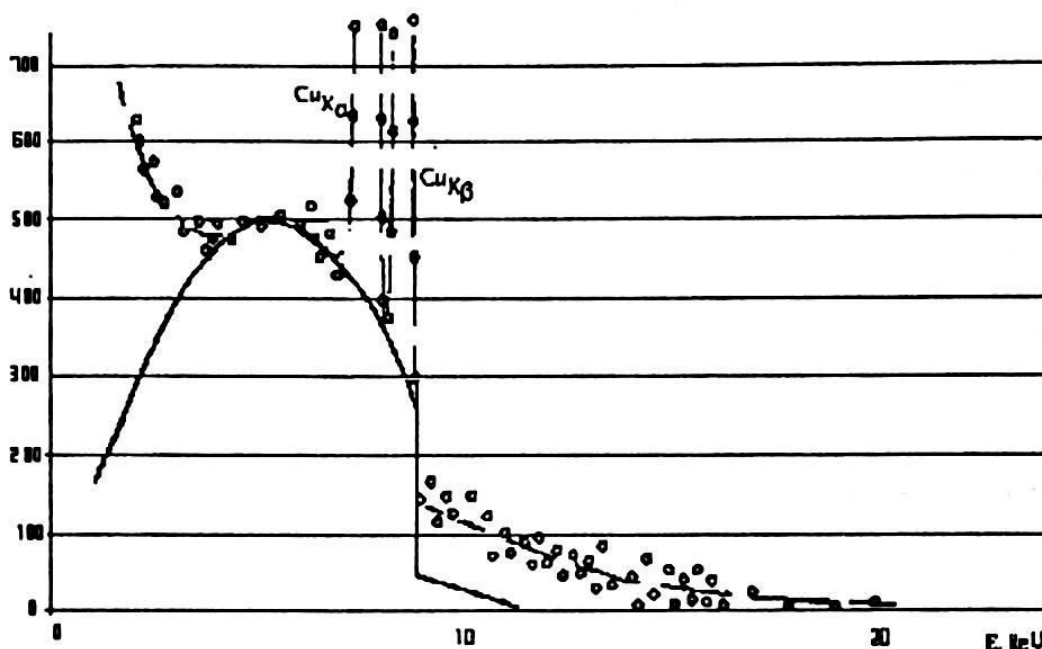


Зураг.3. Хүчилтөрөгч ба цахиурын хувьд анхдагч цацраг нь 22 кэв (тасархай), 60 кэв (тасралтгүй) байхад (5) томъёогоор бодсон тийрэгдсэн электроны энергийн спектр.

Мөн электроны тэг энергид $\frac{dN_e}{dE_e}$ функц нь F_{nk} атомын фактор

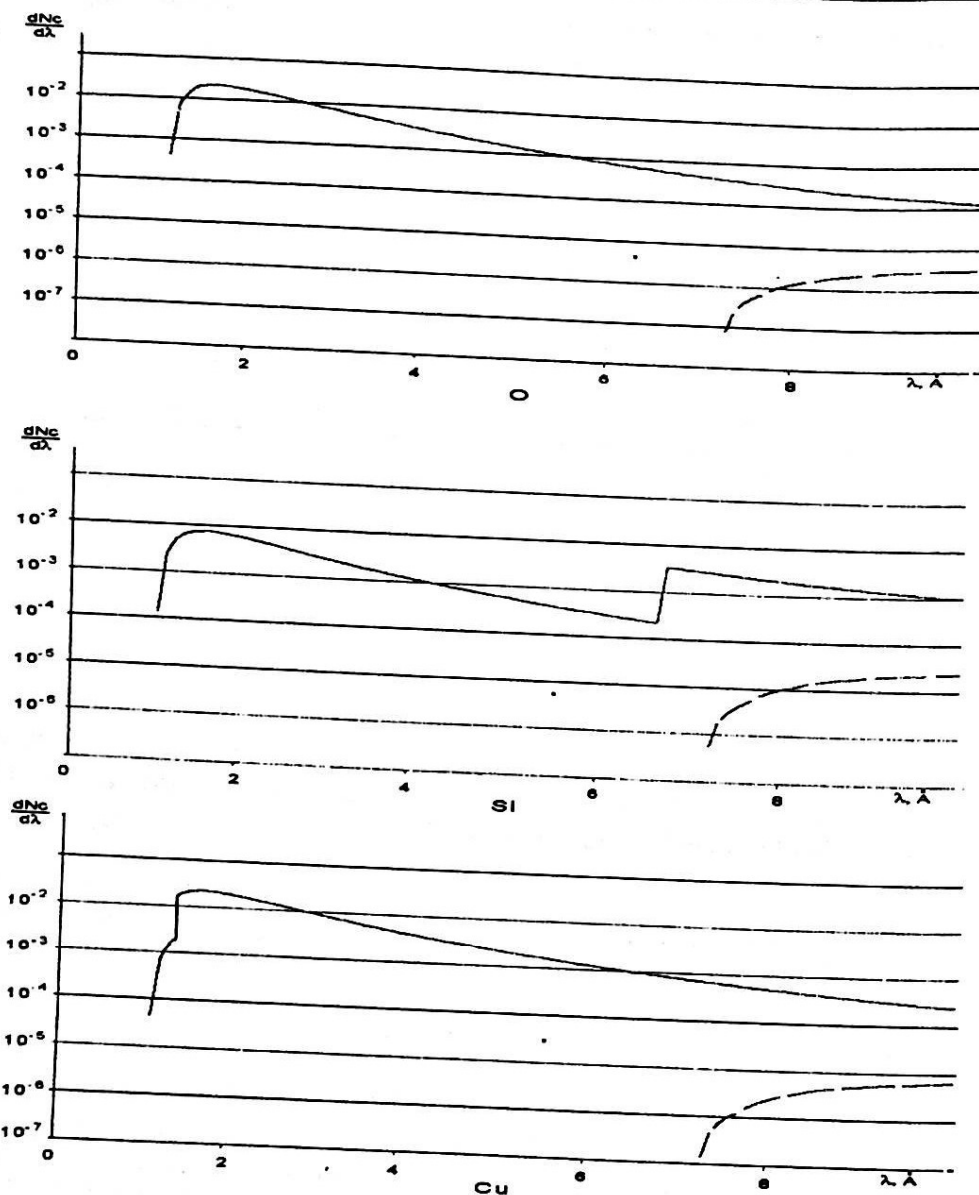
болон чөлөөт электрон дээрх энергийн түгэлтэнд комптоны сарнил байдаггүйгээс хамааран тэг уруу тэмүүлнэ.

Комптоны харилцан үйлчлэлийн дүнд үүссэн тийрэгдсэн электроны тормозын спектрийг (8) томъёогоор бодсоныг 4-р зурагт үзүүлэв.



Зураг. 5. Зэсийг анализ хийх үеийн фоны энергийн спектр. Тасралтгүй шугам- (7) томъёогоор тооцоолсон утга. Цэг- туршлагын өгөдөл. Үүсгүүр Am^{241}

Спектрал эрчим нь электроны анхны энергиэс хүчтэй хамаардгаас болоод (6-р илэрхийлэл ёсоор) тормозын спектрийн эрчим нь анхдагч цацрагийн энерги өсөхөд хурдан өснө. Зэсийн хувьд 0-20 кэВ энергийн мужид анализ хийснийг 5-р зурагт үзүүлэв. 5-р зураг болон (7) томъёоноос 5-9 кэВ мужид фоныг хангалттай зөв тодорхойлж байгаа боловч бага энергийн мужид фоны эрчим багассан байна. Ийм бага байгаа нь электроны бага энергийн мужид нарийвчлалтай бус бөгөөд мөн янз бүрийн нөхцөлд дээжийн гадаргуугийн чиглэлд дэх дрейфийн электроны чиглэлээс хамаарч байж болох юм.



Зураг.4. O, Si, Cu -ийн хувьд (8) томъёогоор тооцоолсон тийрэгдсэн электроны тормозын спектр. ^{241}Am -59.6 кэВ (тасралтгүй шугам), ба ^{109}Cd -22 кэВ (тасархай шугам)

ДҮГНЭЛТ

Тийрэгдсэн электроны тормозын цацрагийн эрчмийн тооцооны гарган авсан илэрхийлэл нь рентген флуоресценцийн анализад фоны үүсэх процессыг тодорхой болгох боломжийг өгч байна.

60 кэВ энергитэй (Am^{241}) фотон чөлөөт электрон дээрээс Комптоны сарнил болоход тийрэгдсэн электроны энерги нь 11,5 кэВ хүрэх бөгөөд тормозын цацраг нь $Z < 32$ атомын дугаартай элементүүдийн К-шугамын мужид үүсч байна.

Хэдийгээр тооцоонууд цацраг идэвхт үүсгүүрийн монохроматик цацрагийн хувьд хийгдсэн боловч гарган авсан үр дүнг нэгэн төрөл биш анхдагч цацрагтай рентген хоолойн хувьд авч үзэж буй хүчин зүйлийг зайлшгүй тооцох шаардлагатайг харуулсан.

АШИГЛАСАН НОМ

1. Бахтиаров А.В. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ в геологии и геохимии. М.: Недра, 1985. 144 с.

2. Fernandez J.E. Rayleigh and Compton scattering contributions to X-ray fluorescence intensity // X-ray spectrometry. 1992. v.21, p.57-68.

3. Fernandez J.E. Polarization effects on multiple scattering gamma transport./ Hubbell J.H., Hanson A.L., Spenser L.V. // Radiation physics and chemistry. 1993. v.41, no 4, pp. 579-630.

4. Белых В.В. Многократно рассеяное излучение при радиометрическом анализе / Смагунова А.Н., Козлов В.А. // Журнал аналитической химии. 1994. том 49, №10, с. 1092-1096.

5. Ревенко А.Г. Исследование зависимости интенсивности рентгеновского фона в длинноволновой области от химического состава проб / Павлинский Г.В., Лосев Н.Ф. // Заводская лаборатория. 1974. т.40 № 11, с.1334-1338.

6. Павлинский Г.В. Роль тормозного излучения фото- и Оже электронов в формировании фона длинноволновой области рентгеновского спектра флуоресценции// Деп. ВИНТИ 2.08.83, №4268-83. Иркутский университет - Иркутск.- 34 с.

7. Ревенко А.Г. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ природных материалов. Новосибирск:Наука, Сиб. отделение. 1994, 264 с.

8. Ложкин В.И. Исследование компонента рентгеновского фона, обусловленного флуоресценцией кристалл – анализатора / Афонин В.П. // Заводская лаборатория. 1976. т. 42, № 9, с. 1073-1074.

9. H.D.Keith. Calibration and use of Lithium-drifted silicon detector for accurate analysis of X-ray spectra / T.C.Loomis // X-Ray spectrometry. 1976. v. 5, pp. 93-103.

10. Павлинский Г.В. Формирование фона кристалл-дифракционной аппаратуры в длинноволновой области рентгеновского спектра / Ившев Д.В., Имешкенова Н.Н. // Журнал аналитической химии. 1991. т.46, №3, с. 525-531.

11. Блохин М.А. Физика рентгеновских лучей. М.: ГИТТЛ, 1957, 518 с.

12. Бахтияров А.В. Формулы для приближенного вычисления дифференциальных сечений рассеяния рентгеновского излучения малых энергий / Пшеничный Г.А. // Аппаратура и методы рентгеновского анализа. 1972. вып. 11., с. 200-218.

13. Kramers H.A. On the theory of X-ray absorption and continuous X-ray spectrum // Phil. Mag. 1923. v.46, N.275, p.836-871.

14. Thinh T.P. New basic empirical expression for computing tables of X-ray mass attenuation coefficients / Leroux J. // X-ray spectrometry. 1979. vol.8. no.2.

Abstract

It is offered the theoretical expressions related of a spectral distribution of a Compton electrons bremsstrahlung on sample element composition. The case of monochromatic primary radiation of radioactive sources ^{241}Am and ^{109}Cd is considered. The distribution calculations for some elements is made.