

# КОМПТОН САРНИЛЫГ АШИГЛАН ЭЛЕКТРОНЫ МАСС ТОДОРХОЙЛОХ АРГА

Б.Мөнхбат\*, Ц.Золбадрал, Ц.Амартайван

Цөмийн Судалгааны Төв, Монгол Улсын Их Сургууль  
\*Batsaikhan\_Munkhbat@yahoo.com

## Товч агуулга

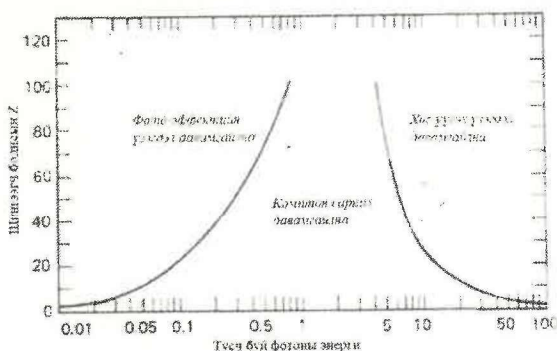
Энэхүү өгүүлэлд Комптон сарнилын тэгшитгэлийг туршилтаар шалгаж, хэмжилтийн үр дүнгээр электроны массыг  $9.6 \pm 0.8 \cdot 10^{-31} \text{кг}$  гэж тодорхойсон. Хэмжилтэнд Am-241 үүсгүүр болон хагас дамжуулагч photodiode XR-100T рентген детекторыг ашиглав.

## 1. Оршил

Гамма цацраг нь маш богинохон долгионы урттай, бодисыг нэвтрэх чадвар маш өндөр цахилгаан соронзон долгион юм. Гамма цацрагийг бодис дундуур өнгөрүүлэхэд түүний атомтай харилцан үйлчилж шингэх, сарних үзэгдэл явагдсаны үр дүнд эрчим буюу урсгал сулрана. Бууралтын хууль нь дараах хэлбэртэй байна.

$$n(x) = n_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (1)$$

Энэ илэрхийлэл нь  $x$ -зузаантай бодис дундуур гамма цацраг нэвтрэхэд түүний урсгал хэрхэн өөрчлөгдөхийг харуулж байна.  $\mu$ -сулралын шугаман коэффициент.  $e$ -ийн зэрэгт нэргүй тоо байх ёстой учир  $x$ -ийг  $\text{см}$ -ээр өгсөн үед  $\mu$ -ийн нэгж нь  $\text{см}^{-1}$  байна[1]. Гамма цацраг бодис дундуур нэвтрэхэд фото-эффект, комптоны сарнил, электрон позитроны хос үүсэх гэсэн үндсэн гурван үзэгдэл явагддаг(зураг1).



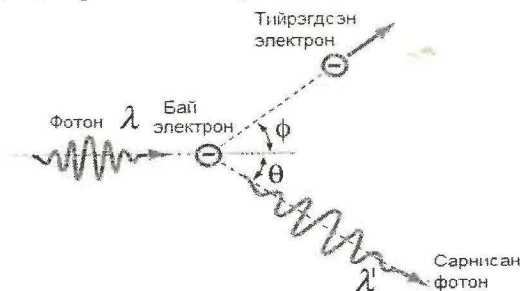
Зураг1. Гамма цацраг бодистой харилцан үйлчлэх үед явагдах гурван үзэгдлийг тусч буй -фотоны энерги болон шингээгч бодисын цөмийн цэнэгээс хамааруулж байгуулсан график

1923 онд Комптон янз бүрийн биет дээр рентген туяаны сарнилыг судлаж байгаад сарнисан туяаны спектрт анхны  $\lambda$  гэсэн долгионы урттай цацрагаас гадна түүнээс их  $\lambda'$  урттай цацраг байхыг ажиглажээ. Долгионы

уртын ялгавар  $\lambda' - \lambda = \Delta\lambda$  нь тусч байгаа туяаны долгионы урт  $\lambda$  ба сарниулагч бодисын шинж чанар хоёроос үл хамаарч байжээ. Комптон долгионы уртын ялгавар  $\Delta\lambda$  -г туршлагын үндсэн дээр дараах томъёогоор тодорхойлжээ [2].

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta) = \lambda_e (1 - \cos\theta) \quad (2)$$

Энд  $\theta$  нь сарнилын өнцөг,  $\lambda_e$  -комптон долгионы урт бөгөөд тогтмол хэмжигдэхүүн ( $\lambda_e = 0.024 \text{Å}$ ) байдаг. Үүнийг Комптон сарнил гэж нэрлэх бөгөөд энэ үзэгдэлд гэрэл корпускуляр буюу бөөмлөг шинж чанарыг маш тод үзүүлнэ. Комптон сарнил нь фотон болон чөлөөт электрон хоёрын хоорондох харимхай сарнилаар тайлбарлагддаг. Харимхай сарнил гэдэг нь Комптон сарнилын үед тусч буй фотон нь электронд тодорхой хэмжээний энерги алдаад сарнина гэсэн үг.



Зураг2. Комптон сарнилын ерөнхий схем

Комптон сарнилын тэгшитгэл (2) нь фотоны долгионы урт, сарнилын өнцөг, электроны масстай холбоотой байгаа нь харагдаж байна. Фотоны долгионы урт нь фотоны энерги, гэрлийн хурд болон Планкийн тогтмолтой дараах байдлаар холбоотой байдаг.

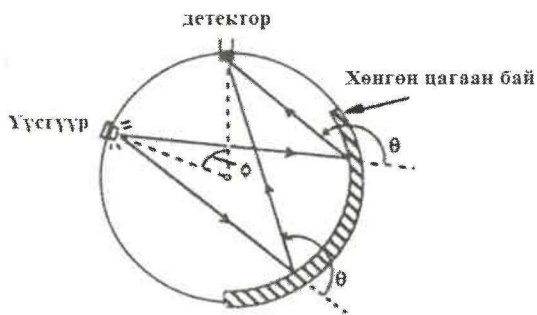
$$\lambda = \frac{hc}{E} \quad (3)$$

Хэрэв тодорхой сарнилын өнцөгт фотоны долгионы уртыг хэмжиж чадвал тэдгээрийг ашиглан электроны массыг тодорхойлох

боломжтой юм. Электроны стандарт масс  $9,11 \cdot 10^{-31}$  кг байдаг.

**2. Судалгааны материал, арга зүй**

Комптон эффектийг шалгахдаа  $^{241}\text{Am}$  изотопон үүсгүүр ашиглана.  $^{241}\text{Am}$ -ийн хагас задралын үе нь  $T_{1/2} = 432,2$  жил байдаг. Бидний ашигласан үүсгүүрийн анхны идэвхжил (1995 он) нь 30мКю.  $^{241}\text{Am}$  үүсгүүр нь 59,54 кэВ-ийн энергитэй фотоныг цацаргах бөгөөд энэ нь хамгийн их магадлалтай шилжилт юм. Үүнээс гадна 13.95 кэВ, 17.74 кэВ, 20.77 кэВ,.. зэрэг шугамууд байна. Туршилтандаа бид 59.54кэВ-ийн энергийн шилжилтийг ашиглана. Бай дээжээр хөнгөнцагаан ( $^{27}_{13}\text{Al}$ )-ыг сонгон авч хагас дамжуулагч Si-PIN photodiode “XR-100T” рентген детекторыг ашиглав[3]. Хэмжилтийн геометрийг Зураг3-т үзүүлэв. Хэмжилтийн геометрт үзүүлснээр хөнгөнцагаан (Al) дугуй нумнаас фотонууд сарниж детекторт бүртгэгдэнэ. Үүсгүүр, детектор, мөн хөнгөнцагаан нумыг бүгдийг нь нэг тойрогт байрлуулах бөгөөд анхны импульсийн вектор болон эцсийн импульсийн векторуудын хоорондох өнцөг нь бэлтгэсэн нумны геометрийн бүх байрлалд ижилхэн байна. Бид туршилтаараа Комптон эффектийг олон янзын сарнилын өнцөгт хэмжиж шалгана.



Зураг3. Хэмжилтийн геометр

Нум хэлбэртэй дээжинд нормаль тусаж буй фотон болон эцсийн импульсийн векторын хоорондох өнцгийн нийлбэр  $180^\circ$ -тай тэнцүү байна.

$$\theta + \psi = 180^\circ \quad (4)$$

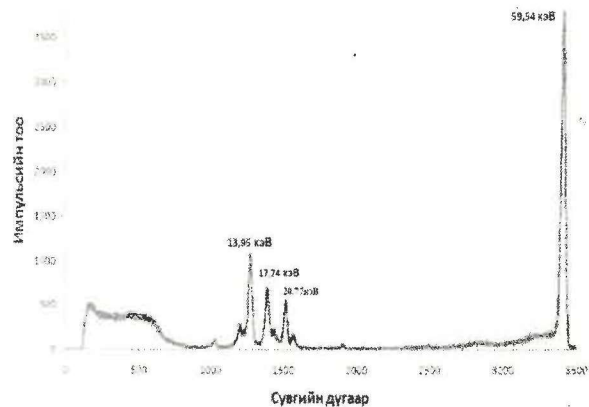
Үүсгүүр болон детекторын хоорондох өнцгийг  $\phi$  гэе. Энэ нь:

$$\phi = 2\psi \quad (5)$$

$$\theta \doteq 180^\circ - \frac{\phi}{2} \quad (6) \text{ байна.}$$

Бид үүсгүүр болон детекторын хоорондох өнцөг  $\phi$  -г олон янзын өнцгөөр байрлуулж

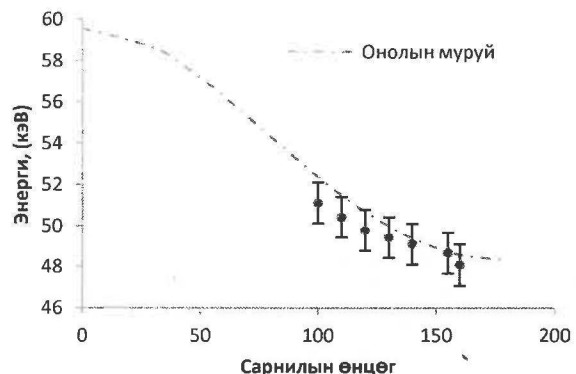
сарнилын өнцгийг  $\theta = 100^\circ, 110^\circ, 120^\circ, 130^\circ, 140^\circ, 155^\circ, 160^\circ$  өнцгүүдэд хэмжинэ. Тойргийн радиусийг үүсгүүрийн чадлаас хамааруулан сонгосон. Бай бодис буюу хөнгөнцагаан нумны урт нь 14,66см байсан. Энергийн ямар мужид хэмжилт хийх, спектрийг хичнээн сувагт хэмжих зэргээс хамааран сувгийн дугаар болон энергээс хамаарсан тохируулга хийдэг. Бид энергийн тохируулгыг  $^{241}\text{Am}$  үүсгүүрийн эрчим ихтэй 13.95кэВ, 17.94кэВ, 20.77кэВ, 59.54кэВ шугамуудыг ашиглан байгуулсан (зураг4).



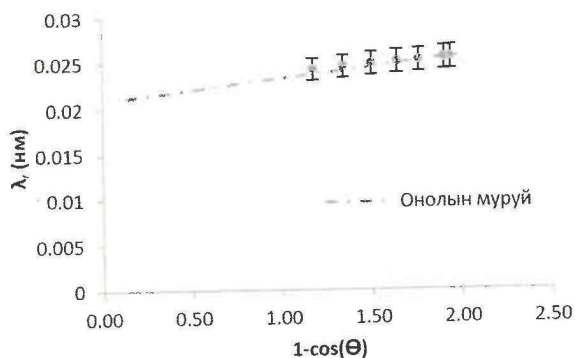
Зураг4. Үүсгүүр болон детекторыг өөд өөдөөх нь харуулан хэмжиж авсан спектр

**3. Үр дүн**

Сарнилын  $\theta = 100^\circ, 110^\circ, 120^\circ, 130^\circ, 140^\circ, 155^\circ, 160^\circ$  өнцөгт гурав гурван удаа хэмжилт хийж Комптон сарнилын пикийн оройн цэгт харгалзах сувгийн дугаарыг тэмдэглэн авч тэр өнцөгт харгалзах энергийг тооцож олсон. Олсон энергээ онолын муруйтай харьцуулан график байгуулж Комптоны тэгшитгэлийг шалгасан (зураг5).



Зураг5. Тусч буй фотоны энерги болон сарнилын өнцгөөс хамаарсан муруй. Энд шулуун нь Комптон сарнилын томъёоноос тооцоолсон муруй. Цэгүүд нь бидний хэмжилтийн утгууд



Зураг6. Сарнилсан фотоны долгионы урт болон сарнилын өнцгөөс хамааруулж байгуулсан шулуун. Энд шулуун нь онолын муруй. Цэгүүд нь бидний хэмжилтийн утгууд

Зураг6-д байгаа хэмжилтийн утгуудаар график байгуулж шулууны тэгшитгэлийг нь ашиглан электроны массыг тодорхойлно. Электроны массыг дараах тэгшитгэлээр тодорхойлно.

$$E = \frac{hc}{a} = \frac{12.399}{a}$$

$a$ -нь хэмжилтийн утгуудаар байгуулсан шулууны тэгшитгэлийн өнцгийн коэффициент юм. Эндээс электроны масс  $9.6 \cdot 10^{-31}$  кг гэж тодорхойлогдсон.

#### 4. Дүгнэлт

1. Бид Комптон сарнилыг хагас дамжуулагч "Si-PIN photodiode" XR-100T төрлийн детектор болон  $^{241}\text{Am}$  изотопон үүсгүүр ашиглан шалгав. Энд сарнилын өнцөг нь  $\theta = 100^\circ, 110^\circ, 120^\circ, 130^\circ, 140^\circ, 155^\circ, 160^\circ$  байсан бөгөөд нэг өнцөг хэмжилтийг 3 удаа хийж үр дүнг графикаар гаргасан.
2. Комптон сарнилын томъёо нь электроны масс, фотоны сарнилын өнцөг, мөн фотоны энергээс хамаарсан тэгшитгэл байдаг. Иймд фотоны сарнилын энергийг тодорхой өнцөгт хэмжин авч электроны массыг  $(9.6 \pm 0.8) \cdot 10^{-31}$  кг гэж тодорхойлов.

#### 5. Ашигласан материал

- [1] Б.Далхсүрэн, Г.Хүүхэнхүү, С.Даваа "Цөмийн физикийн практикум" Улаанбаатар 1988он
- [2] Lauren Anderson "Compton scattering" November 13, 2007 <http://ugastro.berkeley.edu>
- [3] "Operating manual XR-100 detector system and PX2T power supply/shaper" Revision 5, June 6, 1996

- [4] J.H.Hubbell, S.M.Seltzer "Tables of X-ray Mass Attenuation Coefficient and Mass Energy-Absorption Coefficient 1keV to 20 MeV for Elements Z=1 to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric interest" page 20, page 26. May, 1995

#### A method to determine the mass of the electron by the Compton scattering

In current paper, we revised the Compton scattering with an experiment and determined the mass of the electron as  $9.6 \pm 0.8 \cdot 10^{-31}$  kg from the experimental result. A ring source of Am-241 as a radiation source and a semiconductor photodiode of XR-100T as a detector were set in the experiment.