

## Устөрөгчийн атомыг лазерын пульсээр өдөөх магадлалыг Борны нэгдүгээр эрэмбийн ойролцоололд бодох нь

Ч.Алдармаа<sup>1</sup>, Л.Хэнмэдэх<sup>1</sup>, О.Лхагва<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ШУТИС, Материалын Технологийн Сургууль, Онолын физик загварчлалын баг

<sup>2</sup>МУИС, Физик Электроникийн Сургууль

### ХУРААНГУЙ

Устөрөгчийн атомыг лазерын богино пульсээр өдөөх магадлалыг Борны 1-р эрэмбийн ойролцоололоор бодож, лазерын пульсын хэлбэр устөрөгчийн атомын өдөөгдөх магадлалд нөлөөлөх нөлөөг судлав.

**ТҮЛХҮҮР ҮГ:** Атомын өдөөлт, резонанс, лазерын богино пульс.

### I. Оршил

Сүүлийн жилүүдэд лазерын техник хөгжиж 67 аттосекундын пульсыг гарган авч чадсан байна [1]. Атомын электрон оролцсон процесс нь хугацааны аттосекунд мужид явагддаг тул атомд явагдах процессыг судлахад аттосекундын пульсыг ашиглаж байна. Лазерын богино хүчтэй пульсээр атомыг өдөөх, иончлох магадлалыг хөндөх онолын хүрээнд [2] болон Шредингерийн хугацаанаас хамаарсан тэгшитгэлийг бодох замаар судалж байна. Guichard R, Gayet R [3] нар устөрөгчийн атомын иончлолыг Борны нэгдүгээр эрэмбийн ойролцоололоор тооцоолсон байна.

Бид устөрөгчийн атомыг лазерын пульсээр өдөөх магадлалыг ургын тохируулга (length gauge) ашиглан Борны нэгдүгээр эрэмбээр ойролцооллоор бодлоо. Энэ ажилд атомын нэгжийг ашигласан.

### II. Онол

Огторгуйд тарж байгаа лазерын хүчтэй пульсийн нөлөөнд орших устөрөгчийн атомыг авч үзье. Координатын эхийг бай цөм дээр авч  $x$  тэнхлэгийг пульсийн тарах чиглэлийн дагуу давхцуулая. Лазерын пульсын цахилгаан орны хүчлэгийг дараах хэлбэртэйгээр сонгоё.

$$E(t, \omega) = E_0 \text{Sin}^2 \left( \frac{\pi \cdot t}{\tau(\omega)} \right) \cdot \text{Sin}(\omega \cdot t + \varphi_1) \quad (1)$$

$E_0 = 0.01$  цахилгаан орны амплитуд,

$\varphi_1 = \frac{\pi}{2} - \omega \cdot \frac{\tau(\omega)}{2}$  тээгчийн фаз,  $\tau(\omega) = N \cdot T(\omega)$

пульсын үргэлжлэх хугацаа,  $N$ -циклийн тоо,

$T(\omega) = \frac{2\pi}{\omega}$  үе.

Лазер-атомын харилцан үйлчлэлийг дараах томъёогоор илэрхийлнэ [4].

$$\hat{V}(t, \mathbf{r}) = E(t) \cdot \mathbf{r} \quad (2)$$

Лазерын хүчтэй пульсын үйлчлэлээр атом эхний төлөвөөс эцсийн төлөвт шилжих шилжилтийн амплитуд Борны нэгдүгээр эрэмбээр ойролцоололд [5]:

$$a_{fi} = - \int_{-\infty}^t V_{fi}(t) \cdot e^{i\Omega t} dt \quad (3)$$

Үүнд:  $V_{fi}(t) = \langle f | \hat{V}(t, \mathbf{r}) | i \rangle$  - өдөөлтийн матрицын элемент,  $\Omega = \varepsilon_f - \varepsilon_i$  шилжилтийн давтамж, эхний төлөв  $\varepsilon_i = -1/2n_i^2$ , эцсийн төлөв  $\varepsilon_f = -1/2n_f^2$  энергитэй байна.

### Ш. Үр дүн ба дүгнэлт

1S төлөвт байгаа устөрөгчийн атом дээр хэдэн тооны цикл бүхий лазерын хүчтэй пульс тусахад атом  $2p_0$  төлөвт өдөөгдөх магадлалыг бодлоо.

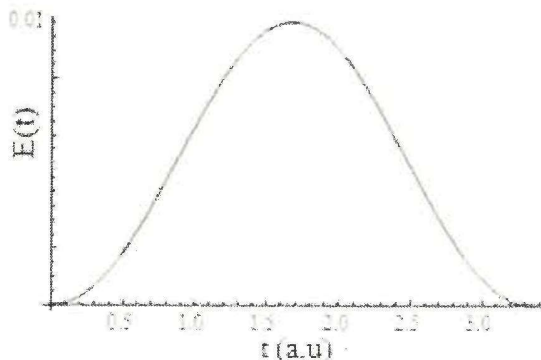
Өдөөлтийн магадлалыг давтамжын харьцаа

$$\frac{\Omega}{\omega} = \frac{\varepsilon_f - \varepsilon_i}{\omega}$$

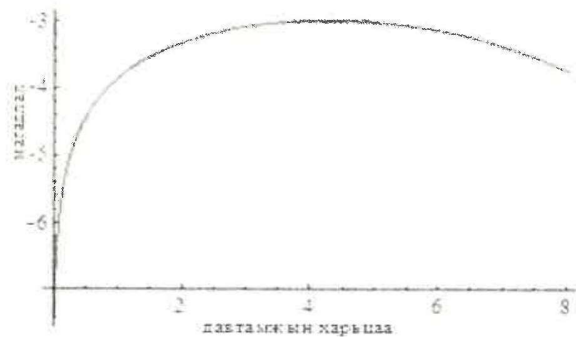
наас хамааруулан үзүүлэв.  $\Omega$ -нь

атомын шилжилтийн давтамж бөгөөд  $1s-2p$  шилжилтэнд  $\Omega=0.375$  байна.

Зураг 1A –т үзүүлсэн  $N=0.2$  циклтэй лазерын пульс устөрөгчийн атом дээр тусгахад  $2p_0$  төлөвт өдөөгдөх магадлалыг Зураг 1B –д харуулав. Өдөөлтийн магадлал нь давтамжын харьцаанаас хамаарч өсөөд буурдаг нь харагдаж байна.

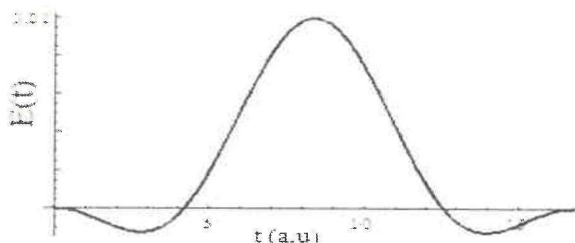


Зураг 1A. Лазерын цахилгаан орон ( $N=0.2$  циклтэй лазерын пульс)

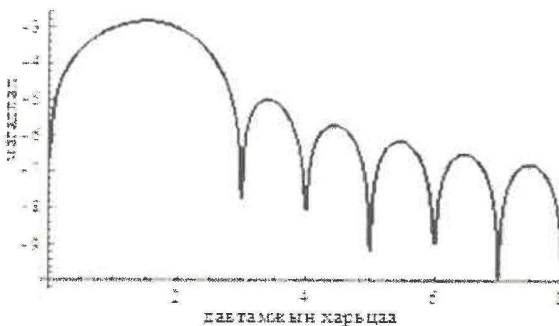


Зураг 1B. Өдөөлтийн магадлал давтамжын харьцаанаас хамаарах хамаарал

Зураг 2A –т үзүүлсэн  $N=1$  циклтэй,  $16a.u$  хугацаанд үргэлжлэх лазерын пульсын хувьд өдөөлтийн магадлал нь эхний максимаас хойш хэлбэлзэж давтамж багасах тусам буурч байна.

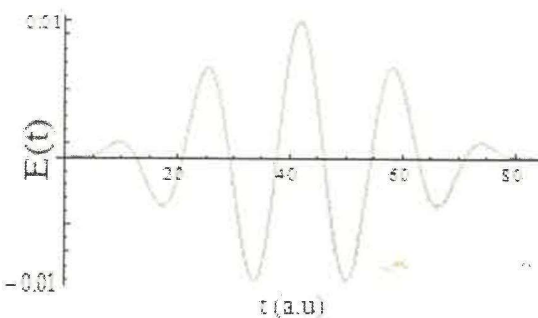


Зураг 2A. Лазерын цахилгаан орон ( $N=1$  циклтэй)

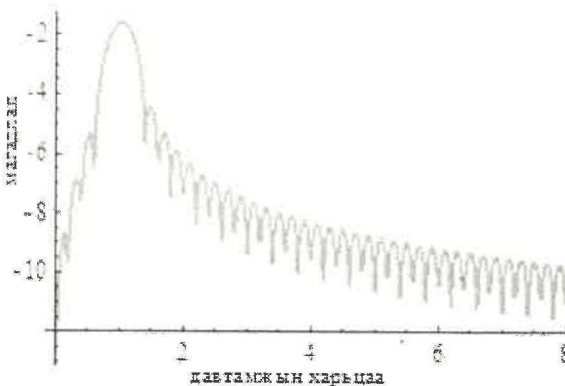


Зураг 2B. Өдөөлтийн магадлал давтамжын харьцаанаас хамаарах хамаарал

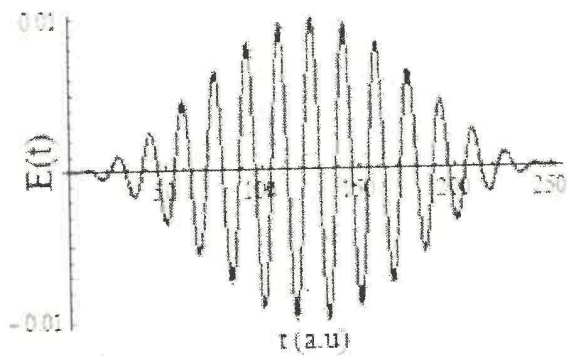
$N=5$  (Зураг 3),  $N=15$  (Зураг 4),  $N=30$  (Зураг 5) пульсүүдийн хувьд өмнөхтэй төстэй үр дүн харагдаж байна



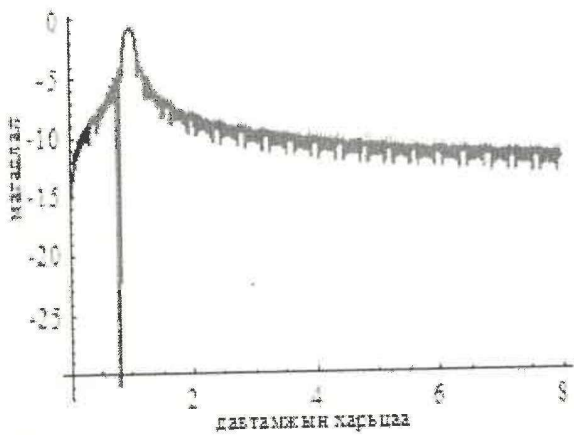
Зураг 3A. Лазерын цахилгаан орон ( $N=5$  циклтэй)



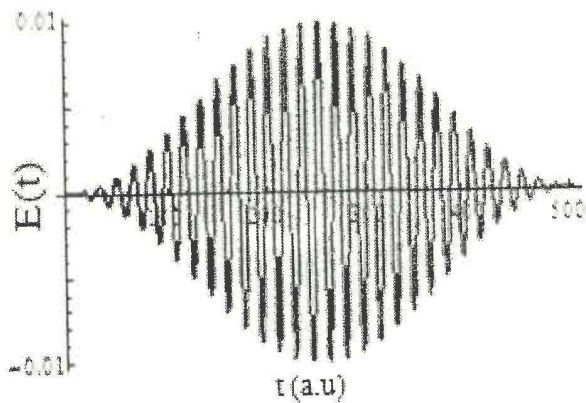
Зураг 3B. Өдөөлтийн магадлал давтамжын харьцаанаас хамаарах хамаарал



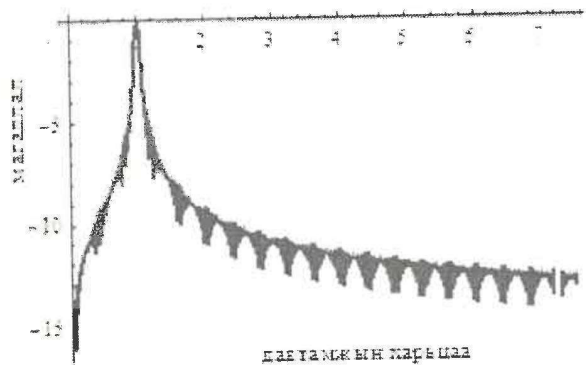
Зураг 4А. Лазерын цахилгаан орон (200а.и хугацаанд үргэлжлэх, N=15 циклтэй лазерын пульс)



Зураг 4В. Өдөөлтийн магадлал давтамжийн харьцаанаас хамаарах хамаарал

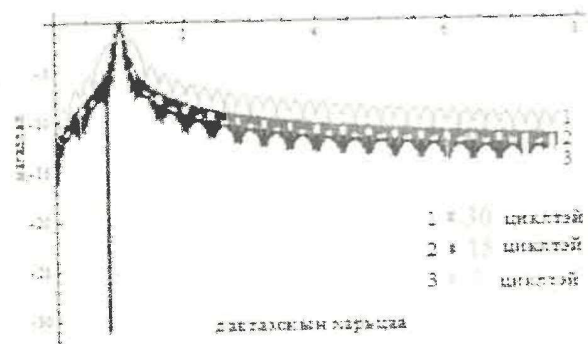


Зураг 5А. Лазерын цахилгаан орон (N=30 циклтэй лазерын пульс)



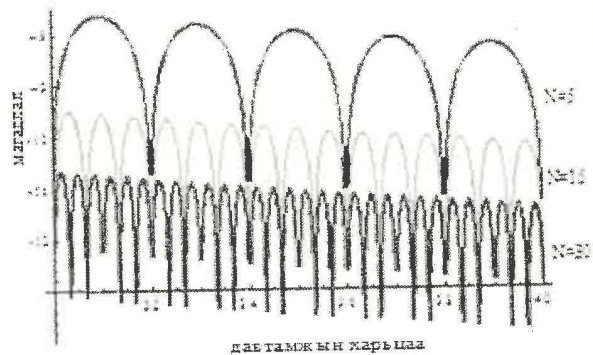
Зураг 5В. Өдөөлтийн магадлал давтамжийн урвугаас хамаарах хамаарал

Эдгээрээс үзвэл пульсын урт болон хэлбэрээс хамаарч өдөөх магадлал өөрчлөгдөнө. Үүнийг Зураг 6-д харьцуулан харуулав. Өдөөлтийн магадлал нь циклийн тоо цөөрөхөд (30, 15, 5 байхад) ихсэж буй нь харагдаж байна.



Зураг 6. Өдөөлтийн магадлал давтамжийн харьцаанаас хамаарах хамаарал

Зураг 7-д өдөөлтийн магадлалын давтамжийн урвугаас хамаарсан хамаарлыг давтамжийн харьцааны 3-4 завсарт томруулан харууллаа.



Зураг 7. Өдөөлтийн магадлал давтамжийн урвугаас хамаарах хамаарал



Луговской, Брэй нар өдөөлтийн магадлал нь пульсын үргэлжлэх хугацааны дөрвөн зэрэгтэд шууд хамааралтай байна гэж үзсэн[6]. Бидний хийсэн тооцооноос энэ хамаарал нь резонансаас их давтамжтай үед буюу дээрх зургууд дээрх резонансын максимумаас зүүн гар талруу ажиглаглагдаж байна. Энэ нь хэт өндөр давтамжтай хэт ягаан туяаны мужид буюу аттосекундын мужид оршино. Лазерийн пульсийн давтамж атомын шилжилтийн давтамжтай тэнцэх үед шилжилтийн магадлал максимумдаа хүрэх резонансын үзэгдлийг дээрх зургуудаас харж болно. Циклийн тоо олшроход резонансын шовгорын өргөн багасч байрлал нь тодорхой болж ирнэ.

#### *Талархал*

Энэхүү эрдэм шинжилгээний ажлыг хийж гүйцэтгэхэд гүн туслалцаа үзүүлсэн онолын физик загварчлалын багийн хамт олондоо талархсанаа илэрхийлэе.

#### **IV. Ном зүй**

- [1][http://en.wikipedia.org/wiki/Attosecond#cite\\_note-6](http://en.wikipedia.org/wiki/Attosecond#cite_note-6)
- [2] A.V Lugovskoy and I Bray J.Phys B: At. Mol. Opt.Phys. **37** (2004) 3427-3434
- [3] Guichard R, Bachau H, Cormier E, Gayet R and Rodriguez V D Phys.Scr **76** (2007) 397-409
- [4] R Della Picca, J Fiol, P D Fainstein, J P Hansen and A Dubois J.Phys.B: At.Mol.Opt. Phys. **45** (2012) 194009(7pp)
- [5] Л.Д.Ландау и Е.М. Лифшиц Теоретическая физика том-III. 1974
- [6] Ch. Aldarmaa, L. Khenmedekh and O. Lkhagva, International Journal of Mathematical and physics **3(7)**, 2012, 2631-2633 ISSN 2229 – 5046