

**ATOMUN ELEKTRONLARI TƏRƏFİNDƏN EKTRANLAŞMANI NƏZƏRƏ  
ALAN YENİ METOD VASİTƏSİLƏ KRİSTALLARDA POLYARİZƏ  
OLUNMUŞ TORMOZLANMA ŞÜALANMASI****İ.M.NƏCƏFOV, M.R.RƏCƏBOV, A.M.QASIMOVA***Bakı Dövlət Universiteti**[m\\_rajabov@mail.ru](mailto:m_rajabov@mail.ru)*

*Nüvənin kulon sahəsinin atom elektronları tərəfindən ekranlaşmasını nəzərə alan yeni metodla kristallarda polyarizə olunmuş elektronun tormozlanma şüalanması prosesi nəzəri olaraq tədqiq olunmuşdur. Silisium kristalı üçün effektiv kəsiyin və zərrəciklərin polyarizasiya dərəcələrinin enerjiden asılılığı öyrənilmişdir.*

Yüksək enerjili zərrəciklər dəstəsinin alınmasına imkan verən sürətləndiricilər texnikasının inkişafı və təkmilləşdirilməsi, polyarizə olunmuş zərrəciklər selindən istifadə imkanını yüksək enerjili zərrəciklərin maddə ilə qarşılıqlı təsir proseslərinin nəzəri və eksperimental tədqiqinə təkan verir.

Yüksək enerjili zərrəciklər və  $\gamma$  - kvantlar maddədən keçərkən bir sıra elektro-maqnit proseslər: tormozlanma şüalanması, lepton cütünün fotoyaranması, Çerenkov şüalanması, yüklü zərrəciklərin kanallaşması, keçid şüalanması və s. bu kimi proseslər baş verir. Böyük enerjilərdə elektro-maqnit proseslərin xarakteristikaları mühitin quruluşundan kəskin asılı olur və kristal və amorf mühitlər üçün müxtəlif olur.

Yüksək enerjili zərrəciklərin kristal mühitlə qarşılıqlı təsiri zamanı, koherent effektlər hesabına, tormozlanma şüalanması prosesinin effektiv kəsiyində difraksiyon güclənmələr müşahidə olunur.

Leptonların polyarizasiyası və fotonların xətti və dairəvi polyarizasiyası nəzərə alınmaqla kristalda tormozlanma şüalanması və  $e^+e^-$  fotocütünün yaranması prosesləri bizim əvvəlki işlərimizdə nəzəri olaraq tədqiq olunmuşdur /1-3/. Göstərilmişdir ki, vakuunda və ixtiyari mühitdə dairəvi polyarizə olunmuş foton yalnız uzuna polyarizə olunmuş elektron tərəfindən yarana bilər.

Biz öz hesablamalarımızda nüvə sahəsinin ekranlaşmasını nəzərə almaq üçün Şiffin /4/ verdiyi təqribi formuldan istifadə etmişdik. Atomun elektronları tərəfindən nüvənin ekranlaşmasını nəzərə alan və müxtəlif eksperimentlərdə yoxlanılmış yeni düstur vasitəsilə kristalda tormozlanma şüalanması prosesinin nəzəri tədqiqi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu işdə atomun elektronları tərəfindən ekranlaşmanı nəzərə alan yeni metod vasitəsilə kristalda tormozlanma şüalanması prosesi nəzəri tədqiq olunmuşdur.

Kristalda tormozlanma şüalanması üçün başlanğıc düstur kimi Born yaxınlaşmasında, bütün zərrəciklərin spin hallarını nəzərə almaqla, ekranlanmış tək nüvə

sahəsində tormozlanma şüalanmasının diferensial effektiv kəsiyinin ifadəsindən istifadə olunur /1/.

$$d\sigma(\theta_{1,2}, \varphi_{1,2}) = A_{s_1 s_2 l}(\theta_{1,2}, \varphi_{1,2}) F(\vec{q}^2) d\Omega_1 d\Omega_2 \quad (1)$$

Burada  $A_{s_1 s_2 l}(\theta_{1,2}, \varphi_{1,2})$  - bucaqlardan, zərrəciklərin enerjilərindən və spin hallarından asılı olan funksiyadır.  $F(\vec{q}^2)$  – nüvədə yükün və atom elektronlarının paylanması xarakterizə edən atom formfaktoru,  $\vec{q} = \vec{p}_1 - \vec{p}_2 - \vec{k}$  – nüvənin təpmə impulsu,  $\vec{p}_1(E_1), \vec{p}_2(E_2), \vec{k}(\omega)$  – başlanğıc və son elektronun və  $\gamma$ - kvantın impulsu (enerjisi);  $\theta_{1,2}$  və  $\varphi_{1,2}$  - polyar və azimutal bucaqlar;  $\omega = E_1 - E_2$  - tormozlanma fotonunun enerjisidir. Bizim istifadə etdiyimiz sistemdə  $h=c=m=1$ .

Hədəfin kristallik quruluşunu nəzərə almaq üçün effektiv kəsiyin ifadəsini kristallik faktora (K) vurmaq lazımdır. Qəfəsin düyünlərində yerləşən atomların istilik rəqslərini də nəzərə almaqla kristallik faktorun ifadəsi aşağıdakı kimi olur:

$$K = N \left[ 1 - \exp(-A\vec{q}^2) \right] + \frac{(2\pi)^3}{\Delta} N \sum_{\vec{g}} |s(\vec{g})|^2 \exp(-A\vec{q}^2) \delta(\vec{q} - \vec{g}). \quad (2)$$

Burada A- qəfəs atomlarının istilik rəqslərinin ortakvadratik amplitududur, N- kristalda elementar özəklərin sayı,  $\Delta$  - elementar özəyin həcmi,  $S(\vec{g})$  - kristalın struktur faktoru,  $\vec{g}$  - tərs qəfəs vektoru,  $\delta(\vec{q} - \vec{g})$  - Dirak funksiyasıdır. (2) ifadəsinin birinci toplananı effektiv kəsiyin izotop (amorf) hissəsini, ikinci toplananı isə interferensiya (koherent) hissəni xarakterizə edir.

Effektiv kəsiyin ifadəsini (2) ifadəsinə vurduqdan sonra inteqrallamaqla, ultra-relyativistik halda ( $E_1, E_2, \omega \gg mc^2$ ) kristallarda polyarizə olunmuş elektronun tormozlanma şüalanmasının effektiv kəsiyi üçün aşağıdakı ifadəni almış olarıq:

$$d\sigma_{s_1, l} = \frac{\sigma_0 d\omega}{2E_1^2 \omega} \left\{ [E_1^2 + E_2^2 + \ell s_1 (E_1^2 - E_2^2)] (\Psi_1^c(\delta) + \Psi_1^i(\delta, \theta)) - \frac{2}{3} [E_1 E_2 + \ell s_1 \omega E_2] (\Psi_2^c(\delta) + \Psi_2^i(\delta, \theta)) \right\} \quad (3)$$

Burada  $\sigma_0 = z^2 \alpha r_0^2 N$ ;  $\alpha = \frac{1}{137}$ ;  $r_0 = 2,8 \cdot 10^{-13}$  sm

(3) düsturundan istifadə etməklə, kristallarda tormozlanma fotonunun dairəvi polyarizasiya dərəcəsini müəyyən etmək olar:

$$P = s_1 \frac{(E_1^2 - E_2^2)(\Psi_1^c + \Psi_1^i) - \frac{2}{3} E_2 \omega(\Psi_2^c + \Psi_2^i)}{(E_1^2 + E_2^2)(\Psi_1^c + \Psi_1^i) - \frac{2}{3} E_1 E_2 (\Psi_2^c + \Psi_2^i)} \quad (4)$$

(3) və (4) ifadələrindən görünür ki, həm effektiv kəsik, həm də zərrəciklərin polyarizasiya dərəcəsi  $\Psi_{1,2}^c$  və  $\Psi_{1,2}^i$  funksiyalarından asılıdır. Bu funksiyaların hesabına prosesin effektiv kəsiyində sıçrayışlar əmələ gəlir. Bu funksiyaların ifadəsi /1/-də verilmişdir.

$\Psi_{1,2}^c(\delta)$  və  $\Psi_{1,2}^i(\delta, \theta)$  funksiyalarının ifadəsinə  $F(\vec{q}^2)$  və  $F(\vec{g}^2)$  formfaktorları daxil olur.  $\Psi_{1,2}^i(\delta, \theta)$  funksiyaları həm polyar ( $\theta$ ), həm də azimutal bucaqdan ( $\varphi$ ) asılıdır.

$\theta$  - başlanğıc elektronun  $\vec{p}$  impulsu ilə  $\vec{b}_1$  - kristalloqrafik ox arasındakı bucaq,  $\varphi$  - isə düşmə müstəvisi ( $\vec{p}, \vec{b}_1$ ) ilə ( $\vec{b}_1, \vec{b}_2$ ) - kristalloqrafik müstəvilər arasındakı bucaqlardır.

Əvvəlki işlərimizdə kristalda tormozlanma şüalanmasını tədqiq edərkən atom formfaktorunu kimi

$$F_s(q^2) = \frac{1}{(\beta^{-2} + q^2)^2} \quad (5)$$

şəklinə malik Şiffin eksponensial ekranlaşma düsturundan istifadə etmişdik. Burada  $\beta = 111Z^{-1/3}$ ,  $Z$  - maddənin atom nömrəsidir.

Daha dəqiq atom formfaktorundan istifadə etməklə bu prosesi tədqiq etmək olar. Bunun üçün  $F(\vec{q}^2)$  formfaktorunu nüvə və elektron hissələri olmaqla iki toplanan şəklində yazaq.

$$F(q^2) = \frac{1}{q^4} \left( \frac{1}{1 + q^{-2} \beta^{-2}} \right)^2 = \frac{1}{q^4} \left( \frac{1}{1 + \frac{1}{q^2 \beta^2}} \right)^2 = \frac{1}{q^4} \left( 1 - \frac{1}{1 + q^2 \beta^2} \right)^2 \quad (6)$$

Burada  $F'(q^2) = \frac{1}{1 + q^2 \beta^2}$  - nüvənin ətrafında elektronların paylanması xarakterizə edir.

$$F'(q^2) = \frac{1}{Z} \int e^{i\vec{q}\vec{r}} \rho(\vec{r}) dV ; \int \rho(\vec{r}) dV = Z \quad (7)$$

Eksperimental nəticələrlə yaxşı uyğunluq alınması üçün  $F'(q^2)$  funksiyası aşağıdakı sıra şəklində seçilir.

$$F'(\bar{q}^2) = \frac{1}{Z} \{ \sum a_i \exp(-b_i q^2) + c \}, \quad (8)$$

$$a_1 = 1,8359, \quad a_2 = 1,81119, \quad a_3 = 1,5809, \quad a_4 = 0,5426,$$

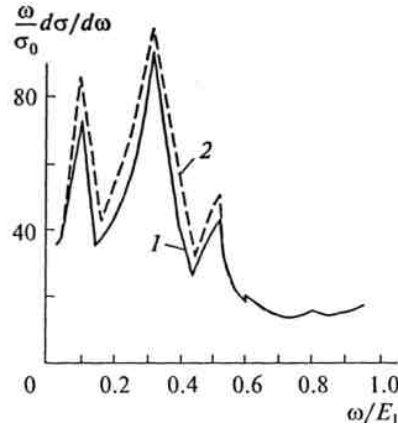
$$b_1 = 10528, \quad b_2 = 4678, \quad b_3 = 239, \quad b_4 = 27116, \quad c = 0,2283$$

(6) və (8) ifadələrini birləşdirməklə, biz nüvədə yükün və atom elektronlarının “yeni” paylanma funksiyasını almış olarıq.

$$F_y(\bar{q}^2) = \frac{1}{q^4} [1 - F'(\bar{q}^2)]^2 \quad (9)$$

(9) ifadəsini  $\Psi_{1,2}^c$  və  $\Psi_{1,2}^i$  funksiyalarının ifadəsində nəzərə almaqla, kristallarda polarizə olunmuş elektronun tormozlanma şüalanmasının effektiv kəsiyinin fotonun enerjisindən asılılığını almış olarıq.

Kristallarda polarizə olunmuş elektronun tormozlanma şüalanması zamanı elektron və foton üçün iki növ spin korrelyasiyası mövcud olur. Əgər  $ls_1 = +1$  (yəni  $s_1 = +1, l = +1$  və ya  $s_1 = -1, l = -1$ ), onda korrelyasiya müsbətdir. Bu halda polarizə olunmuş elektron sağ dairəvi polarizə olunmuş foton buraxacaqdır. Əgər  $ls_1 = -1$  (yəni  $s_1 = +1, l = -1$  və ya  $s_1 = -1, l = +1$ ), onda korrelyasiya mənfidir və polarizə olunmuş elektron əks polarizasiyalı foton buraxacaqdır.

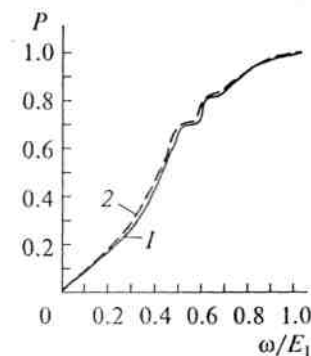


**Şəkil 1.** Spin korrelyasiyası halında, polarizə olunmuş elektronun tormozlanma şüalanmasının effektiv kəsiyinin enerjiden asılılığı: 1- əyrisi Şiffin ekranlaşmasına; 2-əyrisi isə - “yeni” ekranlaşmaya uyğundur. Əyrilər  $E_1 = 5,5$  QeV,  $\theta = 1,5$  mrad,  $\alpha = 0$  üçün qurulmuşdur.

Şəkil 1-də silisium kristalında polarizə olunmuş elektronun tormozlanma şüalanmasının effektiv kəsiyinin, müsbət spin korrelyasiyası halında, həm Şiff (1əyrisi), həm də “yeni” (2 əyrisi) ekranlaşma üçün enerjiden asılılığı verilmişdir. “Yeni” ekranlaşma effektiv kəsiyi artırsa da, yeni maksimum və minimumların yaranmasına səbəb olmur.

Şəkil 2-də silisium kristalında, hər iki ekranlaşma üçün tormozlanma fotonunun dairəvi polarizasiya dərəcəsinin enerjiden asılılığı verilmişdir. Qeyd etmək lazımdır

ki, ekranlaşmanın fotonun polarizasiya dərəcəsinə təsiri hiss olunmayacaq dərəcədə azdır.



**Şəkil 2.** Hər iki ekranlaşma üçün silisium kristalında tormozlanma fotonunun dairəvi polarizasiya dərəcəsinin enerjidən asılılığı. Əyriyənin işarələnməsi və parametrlərin qiyməti şəkil 1-də olduğu kimidir.

#### ƏDƏBİYYAT

1. Наджафов И.М. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1977, т.41, № 10, с.2104.
2. Наджафов И.М, Миранцев Л.В. // Там же, с.2116.
3. Наджафов И.М. // Там же, с.2111.
4. Shiff L.I. // Phys. Rev. 1951, v.83? p.252.
5. Насонов Н.Н., Насонова В.А., Попов И.Г. // ЯФ. 2001, т.64, с.1037.
6. Насонов Н.Н., Похил Г.П., Тулинов А.Ф. // ЯФ. 2000, т.63, с.1596.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВОГО МЕТОДА УЧЕТА ЭКРАНИРОВКИ АТОМНЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

И.М.НАДЖАФОВ, М.Р.РАДЖАБОВ, А.М.ГАСЫМОВА  
РЕЗЮМЕ

Исследован процесс поляризованного тормозного излучения электрона в кристаллической среде с применением нового метода учёта экранировки кулоновского поля ядра. Получены реальные изменения сечения как поляризованного, так и неполяризованного тормозного излучений и степени поляризации частиц в кристалле кремния.

#### INVESTIGATION OF POLARIZED BREMSSTRAHLUNG IN THE CRYSTAL WITH APPLICATION OF A NEW METHOD ACCOUNTING THE SCREENING OF NUCLEAR ELECTRONS

I.M.NAJAFOV, M.R.RAJABOV, A.M.GASIMOVA

#### SUMMARY

The process of the polarized bremsstrahlung of electrons in the crystal environment with application of a new method accounting the screening Coulomb fields of nucleus is investigated. The dependence of cross section and degree polarization on energy in a silicon crystal are received.