



# Beynəlxalq Konfrans "Fizika-2005" International Conference "Fizika-2005" Международная Конференция "Fizika-2005"

7 - 9

İyun  
June 2005  
Июнь

№4

səhifə  
page 27-30  
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

## SEL $\gamma$ -NÜVƏ TOQQUŞDURUCULARINDA NÜVƏLƏRİN KOLLEKTİV HƏYƏCANLANMA SƏVİYYƏLƏRİNİN TƏDQIQ EDİLMƏSİ

QULIYEV Ə., DEMİR Z.

*Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutu, Bakı, Azərbaycan  
Sakarya Universiteti Muhəntislik Fakultesi, Elektrik Elektronik Bölmə, Adapazarı, Türkiyə*

Nüvələrin aşağı multipollu həyəcanlanma səviyyələri əsasən Nüvə Rezonans Floresansı (NRF) təcrübələri vasitəsilə öyrənilir. Bu təcrübələrdə istifadə edilən foton şırınaqlarının enerji paylanması, monoxromatiklik və s. parametrlərinin yüksək dəyərlərə malik olmaması nüvə səviyyələrinin araşdırılması zamanı ortaya bir çox problem çıxmasına səbəb olur. Bu vəziyyət yüksək monoxromatikliyə, polarizasiyaya və geniş enerji intervalında tənzimlənə bilən xüsusiyyətlərə malik Sərbəst Elektron Lazerləri (SEL) istifadə edən və hadron sürətləndiricilərində sürətləndirilərək tamamilə ionlaşmış nüvələrlə toqquşdurmaqla nüvə səviyyələrinin öyrənilməsinə təklif edən SEL-Nüvə toqquşdurucuları metodu layihələşdirilir. Bu məqalədə  $^{144}\text{Nd}$  nüvəsi üçün həyəcanlanma səviyyələri və bu həyəcanlanmalardan asılı olan fiziki parametrlərin SEL-LHC toqquşdurucularında öyrənilməsi müzakirə edilmişdir. Toqquşdurucuyla əlaqədar şüalanma parametrləri, parlaqlıq, toqquşma hadisə sayı və başqa əsas parametrlər hesablanmışdır.

### I. GIRIŞ

Atom nüvələrinin quruluşunun araşdırılmasında nuklonlar arasındakı effektiv qüvvələrdən asılı olan kollektiv həyəcanlanma səviyyələri mühüm yer tutur. Bu həyəcanlanmalardan elektrik və maqnit dipol səviyyələri nüvə mühitində nuklonlar arasındakı qüvvətli qarşılıqlı təsirin xarakterinin və güc parametrlərinin nəzəri olaraq təyininə tətbiq edilən nüvə modellərinin yoxlanılması üçün çox əhəmiyyətlidir.

Təcrübə baxımından bu həyəcanlanma səviyyələrinin əsas xassələri bunların foton səpilmə reaksiyalarında asanlıqla həyəcanlanması və nəticələrin nüvə modellərindən asılı olmamasıdır.

Son zamanlar belə nüvə həyəcanlanma səviyyələri həm nəzəri olaraq həm də təcrübə olaraq çox geniş araşdırılmışdır. Bu səviyyələrin təcrübə olaraq çeşidli nüvə spektroskopiyası metodları ilə araşdırılır.

Dipol həyəcanlanmalarına marağın artmasına baxmayaraq həm nəzəri həm də təcrübə inkişaf o qədər də sürətli deyil. Nəzəriyyənin əsas mənfə xüsusiyyəti orta sahə potensialının seçilməsi və qırılan invariantlıqlardır. Nəzəriyyədə meydana çıxan problemlər nəzəriyyələrdə düzəlişlər etməklə aradan qaldırılır [1].

Təcrübədə çıxan əsas problemlər səviyyələrin cütlüklərini və multipolluğunu təyin edən zaman meydana çıxır bu da istifadə edilən cihazların hassaslığının aşağı olmasının və ideal foton mənbələrinin olmamasının nəticəsidir [2,3].

Təcrübədə meydana çıxan çətinlikləri ortadan qaldırmaq üçün ya istifadə edilən cihazların

təkmilləşdirilməsi lazımdır və ya yeni cihazlar yaradılmışdır.

Bu məqalədəki məqsəd nüvə multipol səviyyələrinin tədqiqində ən təsirli cihaz olan Nüvə Rezonansı Floresansı (NRF) cihazının istifadəsində meydana çıxan çətinliklərdən bəhs edərək bu çətinliklərin öhdəsindən gələcək yeni layihələşdirilən Sərbəst Elektron Lazeri (SEL)  $\gamma$ - Nüvə toqquşdurucularının üstünlükləri müzakirə edilmiş [4] və bu toqquşdurucu üçün uyğun parametrlər istifadə edilərək cihazın imkanlarını araşdırmışdır. Bu baxımdan II bölmədə ənənəvi nüvə spektroskopiyası cihazı olan NRF nin əsas mənsəbət və mənfə xüsusiyyətləri, hal hazırda nüvə spektroskopiyasında istifadə edilən foton mənbələrinin xüsusiyyətləri, və nüvə təcrübələrində istifadə edilə biləcək SEL fotonlarının əsas xüsusiyyətləri müzakirə edilib. III bölmədə layihələşdirilən SEL $\gamma$ -Nüvə toqquşdurucularının sxematik şəkli verilərək əsas parametrləri hesablanaraq nüvə həyəcanlanma səviyyələrinin tədqiqi üçün lazım olan parametrlər müzakirə edilib. IV bölmədə isə  $^{144}\text{Nd}$  nüvəsi nümunəsində nüvələrin həyəcanlanma səviyyələri üçün uyğun kəmiyyətlər hesablanaraq, nüvələrin həyəcanlanma səviyyələrinin SEL $\gamma$ -Nüvə toqquşdurucusunda tədqiq edilə biləcəyi göstərilmişdir.

### II. NÜVƏ SPEKTROSKOPİYASI, ƏNƏNƏVİ FOTON MƏNBƏLƏRİ

Nüvə elektrik (E1) və maqnit (M1) dipol həyəcanlanma səviyyələrinin öyrənilməsi nüvə quruluşu və nüvə qarşılıqlı təsirləri haqqında çox dəyərli məlumatlar verir. Belə ki, son zamanlarda keçid və

deformasiyalı nüvələrin aşağı enerjili magnit dipol həyəcanlanmalarına və neytron çıxış enerjisi bölgəsində yerləşən magnit və elektrik dipol həyəcanlanma səviyyələrinə maraq artmışdır. Həm E1 həm də M1 həyəcanlanmaları nüvə modellərinin test edilməsində sistemli bir şəkildə tədqiq edilməkdədir. Çox təsüf ki, hal hazırda istifadə edilən nüvə spektroskopiyaya cihazlarının cütlük və multipolluq təyini istənilən qədər yüksək səviyyədə deyil. Bu da təcrübi nəticələrə şübhə yaranmasına səbəb olur.

Nüvə həyəcanlanma səviyyələri əsasən  $(e, e')$ ,  $(p, p')$  və  $(\gamma, \gamma')$  təcrüvələri ilə aparılır.

Bu metodlardan ən geniş yayılmışı  $(\gamma, \gamma')$  səpilmə reaksiyalarının istifadə edildiyi Nüvə Rezonansı Floresansı (NRF) metodudur. Bu metodun digər metodlardan əsas üstünlüyü nəzəriyyədən asılı olmaması, nüvə səviyyələrinin enerjisinin, spininin və cütlüyünün təyində daha həssas nəticələr əldə etmə imkanı verir [2]. Bu üstünlüklərinə baxmayaraq NRF cihazlarının özünə məxsus çatışmamazlıqları da az deyil. Bu da nüvə səviyyələrinin tədqiqi zamanı bir çox problemin meydana çıxmasına səbəb olur [3].

Magnit və elektrik dipol həyəcanlanma səviyyələri real foton mənbələri koməyi ilə NRF cihazlarında səpilmə yoluyla nüvə modellərindən asılı olmadan öyrənilməkdədir. Amma NRF cihazlarının bir çox mənfəi xüsusiyyətləri var ki onlar böyük enerjili səviyyələrin öyrənilməsində ortaya çıxmaqdadır [3]. Bunların bəziləri aşağıda verilmişdir [4 IJMP OMER]:

- Kompton polarimetri vasitəsi ilə səpilən fotonların polarizasiyasının təyini 3MeV-ə qədər enerjilərdə çox yüksək dəyəərə malikdir. Lakin bu dəyər enerjiddən asıldır və yuxarı enerjilərdə kəskin bir şəkildə azalır.

- Fotonlarla hədəf nüvələrin bir biri ilə çox zəif qarşılıqlı təsirdə olması. Beləki foton sıxlığı ucun  $10^6$  c/(s keV) foton sxlığını əldə etmək üçün külli miqdarda nadir hədəf nüvəyə ehtiyac hiss edilir (500mg)

- Başqa bir problem isə nüvədən neytronun çıxış işi enerjisinə yaxın enerjilərdə ki nüvə həyəcanlanma səviyələrinin tədqiq edilməsində çıxır. Belə ki yüksək enerjili fotonlar və elektronların NRF materialı ilə toqquşması nəticəsində material özündən şüalanma buraxır bu böyük enerjili şüalanma fonunda nüvə həyəcanlanma səviyələrinin həssas təyini çox çətin hətta mümkün olmayan bir iş olur.

**Ənənəvi foton mənbələri-** Nüvə spektroskopiyasında mövcud olan problemlər cihazın malik olduğu mənfəi xüsusiyyətlərlə qurtarmır Başqa böyük problem foton mənbələrində ortaya çıxır. Nüvə tədqiqatlarında istifadə ediləcək fotonların əldə edilməsinin bir çox növü var. Belə təcrübələrdə istifadə ediləcək ideal foton mənbələri aşağıdakı xüsusiyyətlərə malik olmalıdır [3]:

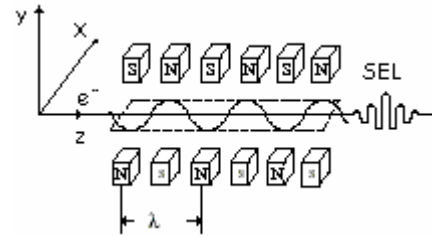
- Yüksək intensivlik  $I = N_\gamma/eVs$  (bir saniyədəki enerji şırnağındakı foton sayı).
- Yüksək monoxromatiklik  $(\Delta E_\gamma / E_\gamma)$ .
- Geniş enerji intervalında tənzimlənmə qabiliyyəti.
- Yüksək dərəcəli xətti polarizasiya ( $P_\gamma \approx 100\%$ ).

Çox təsüf ki, hal hazırda bu dörd şərtin hamısını özündə birləşdirən heç bir foton mənbəyi əldə etmək mümkün olmamışdır. Buna görə elektromagnit dipol və daha yüksək multipollu səviyyələrin tədqiq edilməsi

üçün yüksək səviyyəli və daha həssas cihazlara ehtiyac yaranmaqdadır [5].

Bu çatışmamazlıqlara görə də nüvələrin spektrinin yüksək enerjili hissəsinin tədqiqi çətindir və ənənəvi cihazlarla həssas nəticələr almaq mümkün deyil. Yuxarıda sadaladığımız problemlər ancaq NRF cihazlarının təkmilləşdirilməsi ilə ya da yeni nəsil nüvə spektroskopiyaya cihazlarının yaranması ilə aradan qaldırılabilir. Son illərdə təcrübi olaraq nüvə quruluşunun tədqiqi üçün yüngül və ağır tam ionlaşdırılmış nüvə dəstələri istifadə edərək SEL- $\gamma$ -nüvə toqquşdurucularının qurulması layihələşdirilir. Bu cihaz NRF cihazının malik olduğu problemlərdən azaddır [5]. Bu cihazda istifadə ediləcək fotonların yüksək monoxromatikliyə, geniş enerji intervalında tənzimlənmə xüsusiyyətinə və yüksək dərəcəli polarizasiyaya malik olmasına görə çox əlverişlidir. Bu səbəbdən də SEL- $\gamma$ -nüvə toqquşdurucuları oləcəkdə NRF cihazlarının yerini tutacaq daha həssas ölçülər alabiləcək cihaz olacaqdır. Belə ki bu cihaz yuxarıda sadalanan əksikliklərə malik olmamaqla bərabər bu cihazda istifadə edilən foton mənbəli yuxarıda sadalanan 4 şərtin hamısına əməl edir.

**Sərbəst Elektron Lazeri-** Dördüncü nəsil şüalanma olaraq bilinən; yüksək güc, intensivlik və parlaqlıq qiymətlərinə malik dalğa uzunluğu tənzimlənən xüsusiyyətlərə malik SEL fotonları müəyyən aralqlarla yerləşdirilmiş magnit qütblərinin arasından keçən relyativistik elektronların təcilli sinusoidal hərəkəti nəticəsində meydana çıxır. Bu şəkildə əldə edilən lazerin spektri ultrabənövşəyidən Rentgen şüalarına qədər olan geniş bir aralığı əhatə edir. Lazerin quruluşu sxematik olaraq şəkil 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. SEL fotonlarının sxemi

Bu lazerin elmin çox geniş bir sahəsində istifadə edilməsinə səbəb olan başlıca xüsusiyyətləri ondan ibarətdir ki lazerdə əldə edilən şüalanmanın dalğa uzunluğu ( $\lambda_r$ ), elektron şırnağının enerjisinə ( $E_e$ ), qütb dalğa uzunluğuna ( $\lambda_u$ ) və qütblərə tətbiq edilən magnit sahəsindən ( $B_u$ ) asılı olmasıdır. Bu parametrlər uyğun şəkildə dəyişdirilərək ixtiyari dalğa uzunluğuna malik lazer əldə etmək olar.

$$\lambda_r \approx \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} (1 + a_u^2)$$

Burada  $\gamma_e = E_e/m_e$  elektronun lorens faktorudur.

$$a_u = \frac{e\lambda_u B_u}{2\pi m_e c} \approx 0.934 \lambda_u (cm) B_u (T)$$

bura da  $e = \sqrt{4\pi\alpha}$ .

Cədvəl 1-də ənənəvi nüvə spektroskopiyasında istifadə edilən foton mənbələri ilə SEL fotonlarının müqaisəsi verilmişdir. Cədvəldən də görüldüyü kimi

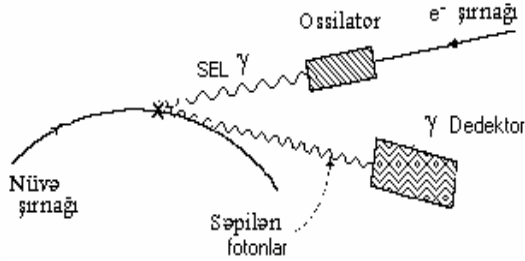
SEL fotonları hər cəhətdən digər foton mənbələrindən üstündür. Cədvəl 1 də müxtəlif foton mənbələrinin xarakteristikası [1] və onların SEL fotonları ilə müqayisəsi verilmişdir.

Cədvəl 1. Müxtəlif foton mənbələri

Foton mənb.	Spektral şiddət [ $\gamma/\text{seV}$ ]	$\Delta E_\gamma/E_\gamma$ [%]	$P_\gamma$ [%]	Hədəf Kütlə M[g]
CF	0.15	2.7	100	70
BS <sub>pol.</sub>	20	Sürekli	10-30	5
BS <sub>unpol.</sub> +CF	1000	Sürekli	10-20	5
BS <sub>unpol.</sub>	1000	Sürekli	0	1-2
SEL	$10^{17}$ MeV/ $E_{\text{exc}}$	0.0001	100	$10^{-10}$

### III. SEL-Nüvə Toqquşdurucuları

Layihələşdirilən SEL $\gamma$ -nüvə toqquşdurucularının sxemi şəkil 2 də verilmişdir. Nüvələrin dairəvi sürətləndiricilərdə böyük relyativistik sürətlərdə fırladılaraq SEL fotonları ilə toqquşdurulacağını nəzərə alsaq fotonun  $\omega_{\text{SEL}}$  enerjisi, nüvələrin sükunətdə olduğu sistemdə  $2\gamma_N\omega_{\text{SEL}}$  olaraq görülməkdir. Bu da belə bir qurğuda enerjisi kev tərtibində olan fotonlarla Mev tərtibində enerjiyə malik nüvə səviyyələrini tədqiq etmək imkanı yaradır. Toqquşdurucunun məhsuldar işləyə bilməsi üçün parlaqlıq, hadisə sayı və qarşılıqlı təsir en kəsiyinin böyük qiymətlərə malik olması çox mühümdür.



Şəkil 2. SEL  $\gamma$ - Nüvə toqquşdurucularının sxematik təsviri.

Yüksək enerjili sürətləndiricilərdə zamandan asılı sahələr istifadə edildiyindən zərrəciklər paketlər halında sürətləndirilir.  $n_\gamma$  və  $n_A$  foton və nüvə sayına malik iki paket,  $f_c$  tezliyi ilə toqquşursa bu zaman parlaqlıq (luminosity)

$$L = \frac{n_\gamma n_A}{4\pi\sigma_x\sigma_y} f_c$$

düsturu ilə hesablanır. Hal hazırda toqquşdurucularda  $10^{28}$ - $10^{34}$   $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  intervalında parlaqlıq qiymətləri əldə edilə bilər.

Foton səpilmə en kəsiyinin orta qiyməti

$$\sigma_{\text{ave}} \approx \sigma_{\text{res}} \frac{\Gamma}{\Delta E_\gamma}$$

düsturu ilə hesablanır. Burada  $\sigma_{\text{rez}}$  rezonans səpilmə kəsiyi olub Breit Vigner düsturundan hesablanır,  $\Gamma$ -həyəcanlanma səviyyəsinin eni,  $\Delta E_\gamma$  isə monoxromatikliyi göstərən parametr olub  $\Delta E_\gamma/E_\gamma=10^{-3}$ - $10^{-4}$  nisbətindən

təyin edilir. Burada  $E_\gamma$  gələn fotonun kütlə mərkəzi sistemindəki enerjisidir. Təcrübi baxımdan nəticələrin statistik olaraq hesablanması üçün hadisə sayı (R) də çox mühüm parametrlərdən biridir:

$$R = L\sigma_{\text{ave}}$$

Yüksək monoxromatikliliyinə ( $\Delta E_\gamma/E_\gamma < 10^{-3}$ - $10^{-4}$ ), foton sıxlığına ( $10^{13}$  $\gamma/\text{bunch}$ ), tənzimlənəbilmə qabiliyyətinə və yüksək polayarizasiyasına ( $P_\gamma = 100\%$ ) görə SEL fotonlarından istifadə edilərək SEL $\gamma$ -nüvə toqquşdurucularında çox geniş enerji intervalında yerləşən nüvə həyəcanlanma səviyyələrini tədqiq etmək mümkün olacaqdır. Bunun üçün lazım olan SEL fotonlarının enerjisi

$$\omega_0 = \frac{E^*}{2\gamma_A} = \frac{A E^*}{Z 2\gamma_p}$$

düsturundan hesablanır. Burada  $E^*$  həyəcanlanmış səviyyənin enerjisi, A və Z isə nüvənin atom və kütlə nömrəsidir,  $\gamma_A$  və  $\gamma_p$  uyğun olaraq nüvənin və fotonların Lorens faktorlarıdır.

### IV. NƏTİCƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏ

Nüvə fizikasında sferik nüvələrdən deformasiya olmuş və deformasiya olmuşdan sferik keçid bölgəsində yerləşən nüvələr quruluşlarının mürəkkəbliyinə görə həm təcrübi həm də nəzəri olaraq çox az araşdırılmışdır. Belə ki yerləşdikləri bölgə etibarilə bu nüvələrin sferik olduğu düşünülür. Amma keçid nüvələrinin nəzəri tədqiqatı bu nüvələrin təcrübədə müşahidə ediləndən daha çox səviyyəyə malik olduğunu göstərdi [6]. Belə böyük sıxlığı bu nüvələri sferik qəbul etməklə izah etmək mümkün deyil [6]. Amma yuxarıda sadaladığımız səbəblərdən dolayı təcrübi nəticələr istənilən şərtlərə cavab vermir. Səviyyələrin hamısının müşahidə edilməməsi ilə bir yerdə səviyyələrin növünü də təyin edə bilmir. Bu da nəzəriyyələrin irəli sürdükləri fikirlərin müzakirəsini cətinləşdirir. Bunları nəzərə alaraq SEL $\gamma$ -Nüvə toqquşdurucularının üstünlüyünü keçid nüvəsi olan  $^{144}\text{Nd}$  nüvəsi nümunəsində göstərəcəyik.  $^{144}\text{Nd}$  nüvəsi yaxın dövrdə təcrübi olaraq NRF metodu ilə tədqiq edilmiş, lakin cihazın həssaslığının aşağı olmasına görə tədqiq edilən dipol həyəcanlanma səviyyələrinin bir çoxunun xarakteri aşkar edilə bilməmişdir. Bu da səviyyələrin mənşəyinin təyində çox böyük problemlər yaratmışdır. Bu məqsədlə  $^{144}\text{Nd}$  nüvəsinin təcrübədən əldə edilmiş səviyyələri bazasında SEL $\gamma$ -Nüvə cihazının əsas parametrləri hesablanmışdır və əldə edilən nəticələr cədvəl 2 də verilmişdir. Cədvəldə  $^{144}\text{Nd}$  nüvəsi üçün həyəcanlanma enerjisi, səviyyənin multipolluğu, səviyyənin eni, foton enerjisi, rezonans səpilmə en kəsiyi və hadisə sayı verilmişdir. Cədvəldən görüldüyü kimi təcrübələrin aparılması üçün əsas parametrlərdən biri olan hadisə sayı hətta az ehtimallı həyəcanlanma səviyyələri üçün də böyük qiymətlərə malikdir.

$^{144}\text{Nd}$  nüvəsində təcrübi olaraq əldə edilmiş dipol səviyyələrinin enerjiləri  $E^*$  və səviyyə qalınlıqları  $\Gamma$  istifadə edilərək SEL $\gamma$ -LHC toqquşdurucusunda lazım olan foton ( $\omega_{\text{SEL}}$ ) enerjiləri, ortalama ( $\sigma_{\text{ave}}$ ) səpilmə en kəsikləri, saniyəyə düşən hadisə sayı (R) hesablanaraq cədvəl 2 də verilmişdir. Cədvəldən görüldüyü kimi təcrübədən sadəcə 2-4 MeV enerji aralığı tədqiq edilə

bilmiş və bir çox səviyyənin multipolluğu və cütliyü təyin edilməmişdir (II sütun).

Məqalədə baza olaraq DESY Tesla Test Facility Free Electron Lazer (TTF FEL) parametrləri alınmışdır [7]. Nüvə sürətləndiricisi olaraq isə CERN LHC toqquşdurucusu baza olaraq alınmışdır. TTF SEL'in və LHC proton dəstələrinin əsas parametrləri [4] də verilmişdir. Bu toqquşdurucularda sürətləndiriləcək nüvə dəstələrinin parametrləri nüvələrin proton sayları istifadə edilərək  $^{144}\text{Nd}$  nüvəsi üçün əldə edilərək istifadə edilmişdir. LHC ucun  $\gamma_p \approx 7000$  alınmışdır.

Hesablamalar, NRF və digər təcrübi metodların çətinlik cəkdikləri enerji və bölgələrdəki səviyyələrin həyəcanlanması üçün hadisə sayı olaraq SEL-nüvə toqquşdurucularında  $10^5$ - $10^6/s$  kimi böyük qiymətlərin əldə edilə biləcəyi göstərildi. NRF'də müşahidə edilməsi mümkün olmayan və eni 0.1 MeV'dən daha kiçik səviyyələr üçün aparılmış hesablamalar hadisə sayının lazımlıca yüksək ( $\sim 10^5/s$ ) olduğunu göstərməkdədir. Beləliklə hesablamalar ənənəvi metodların çətinliklərlə qarşılaşdığı ehtimalı kiçik olan örtülü səviyyələrin də asanlıqla təyin edilə biləcəyini göstərdi.

Əldə edilən nəticələrin yüksək olması LHC sürətləndiricisində sürətləndirilən nüvələri yaxınlığında qurulacaq TTF tipli lazer dəstilə toqquşdurmaq yolu ilə nüvə həyəcanlanma səviyyələrinin oyrənilməsinin mümkünlüyünü göstərir.

Cədvəl 2.  $^{144}\text{Nd}$  nüvəsinin magnit dipol səviyyələrinin integral xarakteristikası

$E_x$ KeV	$J^\pi$	$\Gamma_0$ meV	$\omega_{\text{SEL}}$ keV	$\sigma_{\text{res}}$ $10^{-20}$ $\text{sm}^2$	R/s
2072	$1^+$	2.03	0.333	0.171	$0.34 \times 10^5$
2185	$1^-$	34.61	0.351	0.154	$0.49 \times 10^6$
2464	1	0.63	0.396	0.121	$0.62 \times 10^4$
2655	$(1,2)^{(+)}$	23.55	0.427	0.104	$0.19 \times 10^6$
2839	(1)	4.12	0.457	0.091	$0.26 \times 10^5$
2904	1	6.57	0.467	0.087	$0.39 \times 10^5$
2975	$1^-$	15.47	0.478	0.082	$0.86 \times 10^5$
3213	$1^+$	21.9	0.517	0.071	$0.97 \times 10^5$
3244	$1^-$	69.43	0.522	0.069	$0.30 \times 10^6$
3486	1	7.06	0.561	0.060	$0.25 \times 10^5$
3614	$1^-$	39.77	0.581	0.056	$0.12 \times 10^6$
3783	1	32.96	0.608	0.053	$0.90 \times 10^5$
3838	1	46.38	0.617	0.050	$0.12 \times 10^6$
3849	1	48.47	0.619	0.049	$0.13 \times 10^6$

Belə bir layihənin həyata keçməsi sürətləndirici komplekslərinin sadəcə yüksək enerjilər fizikasına deyil həm də gələcəkdə nüvə fizikasına da tətbiq ediləcəyini göstərməkdədir.

[1]. A.A. Kuliev et al., Int. J. of Mod. Phys. E9(2000)249  
 [2]. U.Kneissl et al., Prog. Part. Nucl. Phys.37 (1996)349  
 [3]. P.Mohr et al. Nucl. Instr. and Meth. A423(1999) 480  
 [4]. H.Aktas et al., Nuc. Instr. & Meth A428 (1999) 271

[5]. E. Guliyev, O. Yavas and S. Sultansoy, Int. J. of Mod. Phys. E11 (2002) 501-508  
 [6]. E. Guliyev, et al. Nuclear Physics A690 (2001)255  
 [7]. T. Aberg et al. A VUV FEL at TESLA Test Facility at DESY, TESLA-FEL (1995)95-03.