

SEL-Çekirdek Çarpıştırıcılarında Nd¹⁴⁴ ve Nd¹⁴⁶ Çekirdeklerinin İncelenmesi

Aynur ÖZCAN

Gazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Teknikokullar / ANKARA

Özet: Nükleer Fizik araştırmaları için Nükleer Rezonans Floresans (NRF) deneyleri ve yeterince monokromatik ışınım kullanımı çok önemlidir. Lineer elektron hızlandırıcılarına dayalı serbest elektron lazerlerinin (SEL) bu deneylerde kullanılması son yıllarda tartışılmaktadır. Bu lazerlerin tam iyonize çekirdek demetleri ile tepkimeye girmesi çekirdeklerin uyarılma seviyelerinin daha yüksek istatistikle çalışılmasına imkan sağlayacaktır. Önceki çalışmalarda gözlenemeyen uyarılma seviyeleri, yaşam süreleri, spin ve parite değerleri gibi özellikler de bu hassas ışık kaynağı ile kolayca belirlenecektir. Bu çalışmada Serbest Elektron Lazeri (SEL) ile, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) ve HERA bazında kurulabilecek SEL-LHC ve SEL-HERA çarpıştırıcılarının ana parametreleri ve fizik araştırma potansiyeli araştırılmıştır. Örnek çekirdek olarak Nd¹⁴⁴ ve Nd¹⁴⁶ çekirdekleri seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: SEL-Çekirdek Çarpıştırıcısı, Serbest Elektron Lazeri, Nükleer Rezonans Floresans, Nd

Investigation of Nd¹⁴⁴ and Nd¹⁴⁶ Nucleus at FEL- Nucleus Colliders

Abstract : The usage of Nuclear Resonance Fluorescence (NRF) experiments and enough monochromatic ray is very important for nuclear physics research. Free Electron Lasers (FEL) which are obtained from lineer electron accelerator has been dicussed recently for these experiments. The collision of these laser beams with fully ionized nucleus beam will give opportunity to investigate of excited states of nucleus with high statistics. Excited states, life times, spin and parity values that can not be observed in the previous researches, can be easily determined with the sensitive ray source. In this paper the parameters of FEL-LHC and FEL-HERA and physics research potential of this colliders has been investigated. Nd¹⁴⁴ and Nd¹⁴⁶ nucleus are chosen as examples.

Keywords: FEL- Nucleus Collider, Free Electron Laser, Nuclear Resonance Fluorescence, Nd

Giriş

Çekirdeklerin uyarılma seviyelerinin incelenmesi deneysel olarak kompleks ve zaman alıcı süreçlerdir. Periyodik tablodaki çekirdeklerin sayısı, her çekirdeğin birden çok izotopunun olduğu ve bu çekirdeklerin her bir grubunun farklı özelliklere sahip olduğu düşünülecek olursa ve bunlara bir de çekirdeklerin bir çoğunun yüzlerce seviyesinin olduğu eklenirse nükleer spektroskopinin zenginliği ve bu alandaki çalışmaların derinliği anlaşılabilir.

Elektron ve foton saçılma deneyleri ile parite tayini yapmak mümkündür. Fakat elektron saçılma deneyleri her enerji seviyesi için parite tayinine izin vermez özellikler dar çiftlenimli enerji durumları için elektron saçılma deneyleri parite tayini için uygun bir metot değildir. Bu durumlarda Nükleer Rezonans Floresans (NRF) deneylerinden yararlanmanın uygun olacağı literatürde vurgulanmıştır [1-7].

NRF deneyleri ile polarizasyon ölçümleri kullanılarak parite tayinleri yapılmıştır. Kaynaklar bu metotla zayıf uyarılmalar ve M1 orbital kuvvetlerinin detaylı olarak incelenmesinin de mümkün olduğunu göstermektedir. Deforme çift-çift çekirdeklerin spin ve manyetik dipol uyarılmalarının oluşum durumlarının belirlenmesi çok

önemlidir çünkü çekirdeğin iç yapısına anlamamız ancak bu değerlerin bilinmesi ile mümkün olmaktadır. Bu alanda yapılan her yeni çalışma hassasiyeti daha da arttırmakta çekirdeklerin yeni uyarılma seviyelerinin gözlenmesini mümkün kılmaktadır. Çalışmalar esnasında bu uyarılmaların temelinde yer alan makas mod, spin titreşimleri ve kollektif uyarılmalar çekirdeğin yapısının belirlenmesinde önemli bilgiler sağlamaktadır.

Çekirdek araştırmalarında bir çekirdeğin sadece birkaç seviyesinin belirlenmesi bile birçok deneysel ve teorik çalışma gerektirmektedir. Düşük istatistik, teknik yetersizlikler gibi sorunlar bu seviyelerin çalışılmasında karşılaşılan en büyük sorunlar olmaktadır. Çekirdek seviyelerinin incelenmesi bu olumsuzluklar nedeniyle farklı metotlarla yapılmaktadır.

Deneysel olarak hassas sonuçlar elde etmek için hassas deneysel ortamlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ortamın sağlanması için foton saçılma deneylerinde uygun ışınım kaynağının kullanılması gerekmektedir [8,9]. Son zamanlarda geliştirilen çeşitli teorik modeller ve simülasyon çalışmaları teorideki zorlukları aşmak için yeni ufuklar açmıştır. Deneysel çalışmalardaki zorlukları aşmak ancak yüksek teknolojiler sayesinde mümkün olacaktır.

Deneysel Nükleer Fizik Araştırmalarında Işınım Kaynaklarının Önemi

Nükleer fizik araştırmalarında en önemli olan konu çekirdek sisteminin yapısını bozmadan sistemin özelliklerini inceleyebilmektir. Bunun için çeşitli deneysel yöntemler geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bu güne kadar çekirdek seviyelerinin dipol ve manyetik dipol özelliklerini incelemek için (e,e') , (p,p') , (n,n') gibi bir çok deneysel yöntem geliştirilmiş olmasına rağmen son zamanlarda gelişen ışınım kaynağı teknolojilerinin etkisi ile çok daha cazip hale gelen Nükleer Rezonans Floresans deneyleri tüm bu çalışmaların önüne geçmiştir.

Çekirdek çok yoğun ve tam anlaşılabilen bir ortamdır. Bu ortamda yapılan bir çok çalışmada radyoaktif kaynaklardan yayınlanan γ ışınları spektrumunun incelenmesi uyarılmış nükleer durumlar hakkında bilgi edinmemizi sağlayacaktır. Gamma ışınımının ölçümü yüksek çözme gücüne sahip dedektörlerin geliştirilmesi ile oldukça basitleşmiştir. Şu anda çalışmaları büyük bir gayretle sürdürülen AGATA dedektörü [10] yüksek enerjilere ulaşan çözme gücü ile en son geliştirilecek dedektörlere bir örnek olarak verilebilir.

Uyarılmış enerji seviye özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi teorik çalışmaların doğrulanması için de çok gereklidir. γ ışını spektroskopisi bu bilgiyi elde etmek için en hassas ve kolay yoldur. Fakat periyodik tablodaki tüm çekirdekler radyoaktif değildir ve kendiliklerinden ışıma yapmazlar. Bu çekirdekleri incelemek için enerji seviyelerinin uyarılması gerekmektedir. Bu durumda hiç bilinmeyen yada teorik metotlarla hesaplanmış olan enerji seviyelerini uyarabilmek için çok hassas ışınım kaynakları elde etmek zorunluluğu doğmaktadır.

γ ışını yayınlanmasının tersi γ ışını soğurulmasıdır. Taban durumdaki çekirdek E_γ kadar enerjili bir foton soğurarak bu durumun ΔE enerjisi kadar üzerindeki bir uyarılmış duruma geçer böylece uyarılmış bir düzey elde edilmiş olur. Çekirdek bu düzeyde kararsız olduğundan kararlı olduğu düzeye geçmek için aldığı enerjisi foton olarak yayınlayarak kararlı duruma döner. NRF olarak adlandırılan metodun kullanılması ile çekirdek seviyeleri kısmen daha rahat olarak incelenmektedir. Çünkü ışınımın soğurulması ve tekrar yayınlanması süreci çok iyi bilinen ve çalışılan bir süreçtir.

Rezonans deneylerinde enerjisi ayarlanabilen foton kaynakları için frenleme ışınları ve sinkrotron ışınları gibi ışınlar kullanılmaktadır. Deneysel verimliliğin maksimum düzeye ulaşması için kullanılan bu ışınların

- yüksek spektral şiddet ($I = N_\gamma / eV \cdot s$),
- iyi monokromatiklik, ayarlanabilir enerji
- iyi derecede kutuplanma ($P_\gamma \approx 100\%$)

özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özelliklerin tamamına sahip bir ışınım kaynağı bu güne kadar sağlamadığından çalışmalardan istenilen verim alınamamıştır.

Bu nedenle çekirdek seviyeleri hakkında yapılan çalışmalar zor ve zaman alıcı olmuştur. Elde edilen ışınların istenilen özellikleri tam olarak karşılamaması sonucu istenmeyen fon ışınları spektrumların değerlendirilmesini etkilerken enerji seviyelerinin belirlenmesine de zarar vermektedir.

Çekirdek seviyelerinin enerji düzeylerini teorik olarak hesapladıktan sonra deneysel çalışmalarla da bu hesaplamaları desteklemek gerekmektedir. Bu tür bir deneysel çalışma yapabilmek için enerjisi ayarlanabilen bir ışınım kaynağı kullanmak çalışmaları hem kesin sonuç hem de zaman açısından kolaylaştıracaktır. Fakat enerjisi ayarlanabilir bir tam verimli bir ışınım kaynağı elde edilemediğinden çalışmalarda bir çok zorlukla karşılaşmaktadır. Ayrıca kullanılacak ışınımın istenilen düzeyde kutuplanamaması da parite tayinlerini olumsuz yönde etkileyen bir faktördür.

Nükleer fizik araştırmalarında karşılaşılan diğer sorunlar ise yeterince çözümleme gücüne sahip olan dedektörlerin mevcut olmamasıdır. Bu sorunların aşılması ancak yüksek teknolojik araştırmalar ve gelişmelerle mümkün olacaktır. Işınım kaynağı konusunda son teknolojik gelişmeler Serbest Elektron Lazer ışınımını gündeme getirmiş ve sıralanan özelliklerin tamamını üzerinde taşıyan bir ışınım kaynağı olarak NRF deneylerinin vazgeçilmez bir parçası olma konusunda iddialı bir kaynak olduğunu göstermiştir.

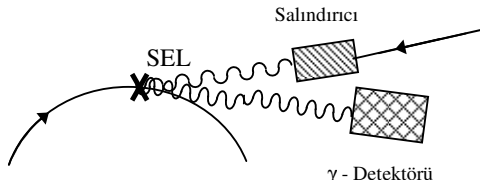
Çizelge 1. Farklı foton kaynaklarının karakteristikleri

Foton Kaynakları	LCP	BS _p	BS _{up} +CP	BS _{up}	SEL-RHIC
Tahmini yoğunluk (γ/seV)	0.15	20	1000	1000	$10^{16} MeV/E_{ex}$
$\Delta E_\gamma/E_\gamma$ (%)	2.7	sürekli	sürekli	Sürekli	0.01
P_γ (%)	100	10-30	10-20	0	100
Hedef Kütle M (g)	70	5	5	1-2	10^{-10}

Ayrıca NRF deneyleri için SEL-Çekirdek çarpıştıncıları en uygun deneysel ortamı sağlama konusunda önemli bir gelişme olacaktır. Tüm bunlara dedektör konusunda yapılan yeni çalışmalar da eklenince nükleer fizik alanında ileriki yıllarda büyük yeniliklerin ve ilerlemelerin yaşanacağını söylemek kesinlikle çok doğru olacaktır. Çizelge 1'de SEL ışınımının özellikleri diğer ışınım kaynaklarının özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar göz önüne alınacak olursa SEL fotonlarının deneysel NRF çalışmalardaki başarı oranını çok yükseklerle çıkarabileceği görülecektir [11].

SEL-Çekirdek Çarpıştırıcılarının Nükleer Fizik Katkıları

SEL ışınının elde edilmesi ile nükleer fizik açısından büyük bir teknik gelişme sürecine başlanılmıştır. Bu süreci daha da hızlandıran etken elde edilecek SEL demetlerinin çekirdek çarpıştırıcıları ile birlikte kullanılması olacaktır [12]. Nükleer fizik araştırmalarında çekirdekler daima durgun hedefler olarak kullanılmış ve tüm deneylerde bu çekirdeklerin enerji seviyelerini uyararak için aynı enerjili fotonlar ya da foton kullanılmayan deneylerde de aynı enerjili parçacıklar kullanılmıştır. Bu yöntem deneysel çalışmalara artı yük getirmektedir. Yüksek enerji düzeyindeki seviyelere uygun enerjili foton ya da parçacık elde etmek oldukça zor olduğu gibi hayli vakit alıcı bir çalışmadır.



Şekil 1. SEL Çekirdek Çarpıştırıcısının Şematik Gösterimi

Bu deneylerde çekirdek Şekil 1'de gösterildiği gibi hızlandırıcının tipine göre belirli enerjilere kadar hızlandırılmış hareketli bir hedef olarak kullanılırsa bu taktirde keV enerjili bir foton demeti ile MeV enerjili bir seviye rahatlıkla uyarılacak ve bu sayede deneyler daha hızlı ve daha kolay sonuca gidecektir. [13]. Çekirdek demetleri hızlandırıcılarda yüksek göreceli hızlara ulaştırıldıktan sonra elektron hızlandırıcısından elde edilen ω_0 enerjili SEL demetleri ile çarpıştırılırsa durgun çekirdek çerçevesinde SEL demetinin enerjisi

$$\omega = 2\gamma_A \omega_0 \quad (1)$$

olarak algılanacaktır. Burada çekirdeğin Lorentz faktörü

$$\gamma_A = \frac{Z}{A} \gamma_p \quad (2)$$

ifadesi ile verilir. Burada γ_p protonun Lorentz faktörüdür. SEL demetinin enerjisi ω_0 ise

$$\omega_0 = \frac{E_{exc}}{2\gamma_A} = \frac{A E_{exc}}{Z 2\gamma_A} \quad (3)$$

ifadesiyle verilir. E_{exc} uyarılmış seviyenin enerjisi, Z ve A ise çekirdeğin atom ve kütle numarasıdır.

Çizelge 2. LHC ve HERA'ya dayalı SEL-çekirdek çarpıştırıcılarının ana parametreleri.

Çarpıştırıcı	E(GeV)	n_{Nd}	γ_{144Nd}	γ_{146Nd}	$L(\text{cm}^2\text{s}^{-1})$
LHC	7000	$1.5 \cdot 10^7$	3110	7463	$5.8 \cdot 10^{28}$
HERA	1000	$1.1 \cdot 10^9$	45	1066	$6.4 \cdot 10^{29}$

Çizelge 3. ^{144}Nd çekirdeğinin uyarılmalarının ana karakteristikleri.

E (keV)	J^π	$\Gamma(\text{eV})$	$\sigma_{res} (\text{m}^2)$	$\sigma_{ort} (\text{m}^2)$
696.5	2^+	$1.46 \cdot 10^{-4}$	$2.58 \cdot 10^{-16}$	$5.4 \cdot 10^{-22}$
1314.5	4^+	$8.91 \cdot 10^{-5}$	$1.3 \cdot 10^{-16}$	$8.86 \cdot 10^{-25}$
2185.6	1^-	0.06	$1.57 \cdot 10^{-17}$	$4.32 \cdot 10^{-21}$

Çizelge 4. ^{146}Nd çekirdeğinin uyarılmalarının ana karakteristikleri.

E(keV)	J^π	$\Gamma (\text{eV})$	$\sigma_{res} (\text{m}^2)$	$\sigma_{ort} (\text{m}^2)$
453.7	1	$3 \cdot 10^{-5}$	$3.6 \cdot 10^{-16}$	$2.4 \cdot 10^{-22}$
1376.8	1^-	$1 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-17}$	$3 \cdot 10^{-23}$
1470.5	2^+	$2.2 \cdot 10^{-3}$	$5.8 \cdot 10^{-17}$	$8.7 \cdot 10^{-22}$
2355.8	1	$3 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-17}$	$2 \cdot 10^{-25}$
2681.4	1^-	$8.25 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-17}$	$3.1 \cdot 10^{-26}$
2756.8	1^-	0.12	$1 \cdot 10^{-21}$	110^{-23}
2829.9	1^-	$9.8 \cdot 10^{-3}$	$9.4 \cdot 10^{-18}$	$3 \cdot 10^{-23}$
3275.9	1^+	$3 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-18}$	$6.4 \cdot 10^{-22}$
3292.5	1	$5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-21}$	$1 \cdot 10^{-23}$
3410.9	1^+	$7 \cdot 10^{-2}$	$6.4 \cdot 10^{-18}$	$1 \cdot 10^{-23}$
3428.9	1	$2 \cdot 10^{-2}$	$6.4 \cdot 10^{-18}$	$3.7 \cdot 10^{-22}$
3576.9	1^+	$9 \cdot 10^{-2}$	$5.9 \cdot 10^{-18}$	$1 \cdot 10^{-23}$
3633.9	1	$2 \cdot 10^{-2}$	$5.7 \cdot 10^{-17}$	$3 \cdot 10^{-23}$
3709.2	2^+	$1.5 \cdot 10^{-2}$	$9.1 \cdot 10^{-18}$	$3.4 \cdot 10^{-22}$
3750.9	1^-	$4 \cdot 10^{-2}$	$5.3 \cdot 10^{-18}$	$5.7 \cdot 10^{-22}$
3779.9	1	$3 \cdot 10^{-2}$	$5.2 \cdot 10^{-18}$	$4.2 \cdot 10^{-22}$
3797.9	1	$3 \cdot 10^{-2}$	$5.2 \cdot 10^{-18}$	$4.1 \cdot 10^{-22}$
3974.9	1	$3 \cdot 10^{-2}$	$4.7 \cdot 10^{-18}$	$4.8 \cdot 10^{-22}$

Çizelge 2’de ^{144}Nd ve ^{146}Nd çekirdekleri için HERA ve Large Hadron Collider (LHC) üzerinde kurulması muhtemel SEL-çekirdek çarpıştırıcılarının ana parametreleri verilmiştir. Çizelge 3 ve 4’den ^{144}Nd ve ^{146}Nd çekirdeklerinin uyarılmalarının ana karakteristikleri incelenebilir.

SEL demetinin enerjisinin ayarlanabilir olması çok sık olarak yerleşmiş uyarılma seviyelerinin ve hatta gömülü seviyelerin incelenmesine imkan sağlayacaktır. Bu sayede teorik olarak bulunan fakat deneysel olarak doğrulanamayan seviyelerin de titiz olarak çalışılması mümkün olacaktır. Hızlandırıcılarda hızlandırılan çekirdekler demetler halinde ve demetlerde paketli yapıdadır. SEL demeti de paketli yapıda olduğuna göre birim zamanda birim kesit alanı başına etkileşme sayısı gösteren ışınlık (luminosity)

$$L = \frac{n_\gamma n_{nuc}}{4\pi\sigma_x\sigma_y} n_b f_{tek}. \quad (4)$$

ile tanımlanır. Burada n_γ SEL paketciğindeki fotonların, n_{nuc} çekirdek paketciğindeki çekirdeklerin sayısıdır, n_b bir elektron atmasındaki elektron paketçiklerinin sayısı, f_{tek} elektron atmasının tekrarlama frekansı, σ_x ve σ_y demetlerin düşey ve yatay boyutlarının en büyük değerleridir. ^{144}Nd ve ^{146}Nd çekirdekleri HERA ve LHC hızlandırıcılarının ışınlık değerleri (4) bağıntısından $L_{HERA} = 6,4 \cdot 10^{29} \text{ (cm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{)}$ ve $L_{LHC} = 5,8 \cdot 10^{28} \text{ (cm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{)}$ olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda $n_\gamma = 10^{13}$ olarak alınmıştır.

Nükleer fizik araştırmalarında düşük istatistik nedeni ile bir çok seviye incelenememiş yada güvenilir sonuçlar alınmamıştır. Olay sayısı bu önerilen deney düzeneyinde ışınlık ve ortalama tesir kesiti ile orantılı olarak

$$N_{olay} = L\sigma_{ort} \quad (5)$$

ifadesiyle tanımlanır. Elde edilen olay sayıları Çizelge 5,6 ve 7’den incelenecek olursa düşük istatistik nedeni ile oluşan problemlerden de bu sistem sayesinde kurtulma imkanının sağlanmış olacağı görülecektir. Çizelge 3 ve 4 çekirdeklerin J^π spin parite değerlerini, τ seviye yarı ömrünü, Γ eV cinsinden seviye genişliğini, σ_{rez} ve σ_{ort} , rezonans ve ortalama tesir kesitini göstermektedir.

Bu çalışmada çekirdek hızlandırıcısı olarak HERA ve LHC hızlandırıcıları seçilmiş ve çekirdek demeti parametreleri için bu hızlandırıcıların parametreleri temel alınmıştır. SEL demeti parametreleri için ise Tesla Test Facility (TTF) SEL parametreleri temel alınmıştır [11].

Son zamanlarda SEL çekirdek çarpıştırıcılarının nükleer spektroskopi açısından avantajları Sm, Pb, Ce, C, Th gibi çekirdekler için değişik makalelerle araştırma grubumuzca tartışılmıştır [12-17].

Çizelge 5. SEL γ @HERA çarpıştırıcısında ^{144}Nd için gerekli parametreler

E (keV)	ω_0 (eV)	τ (s)	ℓ (m)	$N_{olay/s}$
696.5	7738	$2.0 \cdot 10^{-10}$	0.06	$3 \cdot 10^9$
1314.5	14605	$3.3 \cdot 10^{-10}$	0.1	$6 \cdot 10^7$
2185.6	24284	$4.9 \cdot 10^{-13}$	1.510^{-4}	$3 \cdot 10^9$

Çizelge 6. SEL γ @LHC çarpıştırıcısında ^{144}Nd için gerekli parametreler

E (keV)	ω_0 (eV)	τ (s)	ℓ (m)	$N_{olay/s}$
696.5	111	$1.4 \cdot 10^{-8}$	4.2	$3 \cdot 10^7$
1314.5	211	$2.3 \cdot 10^{-8}$	6.9	$5 \cdot 10^4$
2185.6	351	$3.4 \cdot 10^{-11}$	0.01	$2 \cdot 10^8$

Nd Çekirdeklerinin Enerji Seviyeleri

^{144}Nd çekirdeğinin bu çalışmada seçilen seviyelerinin bir kaçının daha önceki çalışma sonuçlarını Şekil 2’de inceleyerek gözden geçirecek olursak bunu daha iyi anlamış oluruz.

696.5 keV – 1314.5 keV seviyeleri: bu seviyelerin parite ve spinleri sırasıyla 2^+ , 4^+ olarak belirlenmiştir [18- 23]. Bu spin belirlemeleri ile 477.0, 617.9 ve 696.5 keV γ geçişlerinin elde edilen açısal dağılımları çok iyi anlaşılabilir oldu. Ge dedektörünün neden olduğu zayıf geri fonlar bu sonuçlar için ihmal edilmiştir.

2185.6 keV seviyesi : bu seviyenin spin ve paritesi 1^- olarak tayin edildi [18,22]. 2184.9 ve 1488.9 keV γ ışınları için elde edilen açısal dağılım verileri bu spin parite tespitinin doğruluğunu desteklemektedir.

Sadece bu üç seviyenin çalışılması için bir çok bilim adamı yıllarca çalışmışlar ve yapılan her çalışma sağlanan teknik gelişmelerle bir önceki çalışmayı daha da ileri götürmüştür. Fakat bu çalışmalar düşük istatistik nedeni ile ne yazık ki yıllarca sürmüştür.

Aynı durum bir çok çekirdek için geçerli olduğundan nükleer fizik araştırmalarında yüksek istatistik yani fazla olay sayısının elde edilebilmesi bu çalışmalara çok büyük bir ivme kazandıracaktır.

Çizelgelerdeki veriler dikkate alınırsa gözlenmesi zor olan yaşam süresi femto saniyelerle ölçülen seviyelerin incelenmesinin bile yüksek olay sayısı sayesinde çok kolaylaşacağı görülmektedir.

Çizelge 7. SEL γ @LHC çarpıştırıcısında ^{146}Nd için gerekli parametreler

E(keV)	ω_0 (eV)	τ (s)	ℓ (m)	$N_{olay/s}$
453.77	74	$6.62 \cdot 10^{-8}$	19.8	$1 \cdot 10^7$
1376.8	224	$2 \cdot 10^{-10}$	0.06	$2 \cdot 10^7$
1470.5	239	$9.2 \cdot 10^{-10}$	$27 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^7$
2355.8	384	$5.8 \cdot 10^{-11}$	$17 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^4$
2681.4	437	$2.4 \cdot 10^{-6}$	$73 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^3$
2756.8	449	$1.6 \cdot 10^{-11}$	$4.9 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^4$
2829.9	461	$2 \cdot 10^{-10}$	$60 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^2$
3275.9	534	$6.7 \cdot 10^{-11}$	$20 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^3$
3292.5	536	$4 \cdot 10^{-11}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^7$
3410.9	556	$2.6 \cdot 10^{-11}$	$7.7 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^3$
3428.9	559	$9.5 \cdot 10^{-11}$	$28 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^7$
3576.9	583	$2.1 \cdot 10^{-11}$	$6.4 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^7$
3633.9	592	$7.6 \cdot 10^{-11}$	$22 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^8$
3709.2	604	$1.4 \cdot 10^{-10}$	$40 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^7$
3750.9	611	$4.9 \cdot 10^{-11}$	$14 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^7$
3779.9	616	$6.7 \cdot 10^{-11}$	$20 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^7$
3797.9	619	$6.4 \cdot 10^{-11}$	$19 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^7$
3974.9	648	$5.2 \cdot 10^{-11}$	$15 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^7$

Çizelgelerdeki veriler dikkate alınırsa gözlenmesi zor olan yaşam süresi femto saniyelerle ölçülen seviyelerin incelenmesinin bile yüksek olay sayısı sayesinde çok kolaylaşacağı görülmektedir.

Spin Belirlenmesi

Uyarılmış çekirdeklerin spinleri durgun hedef deneylerinde yayılan ışınların açısal dağılımlarının kullanılması ile belirlenebilir. SEL-Çekirdek çarpıştırıcısı durumunda laboratuvar ortamında açısal dağılımdan enerji dağılımına geçebiliriz. Spin 1 ve spin 2 durumunda açısal dağılım durgun çerçevede

$$W_1(\theta) = 3/4 (1 + \cos^2\theta) \quad (6)$$

$$W_2(\theta) = 5/4 (1 - 3\cos^2\theta + 4\cos^4\theta) \quad (7)$$

ifadeleriyle verilmektedir. Laboratuvar sisteminde bu dağılımlar dedektör tarafından enerji dağılımı olarak gözlenecektir:

$$W_1(x) = 3/4 (x^2 - 2x + 2) \quad (8)$$

$$W_2(x) = 5/4 (4x^4 - 16x^3 + 21x^2 - 10x + 2) \quad (9)$$

Burada $x = E_\gamma / \gamma_A \omega$ dır ve 0'dan 2'ye kadar değişir ($x=0$ için $\theta=180^\circ$ ve $x=2$ için $\theta=0^\circ$ dir).

$J=1$ ve $J=2$ için normalize enerji dağılımının x 'e bağlılığını gösteren bir grafik çizildiğinde eğrileri birbirinden ayırmak için 100 olayın yeterli olacağı brlirgin olarak gözlenir. Önerilen metotta elde edilecek yüksek istatistik, spin değerlerini belirlemede kolaylık sağlar [17,24].

Parite Belirlenmesi

Parite ölçümü için prensipte iki yol vardır: Lineer polarize fotonlar giriş kanalında kullanılabilir veya saçılan fotonların lineer polarizasyonu ölçülebilir. SEL demetinin yüksek derecede polarizasyona sahip olmasından dolayı SEL-Çekirdek çarpıştırıcıları parite ölçümleri için ideal bir yöntem olarak değerlendirilebilir. Durgun çekirdek çerçevesinde, 0^+ temel düzeyine sahip çekirdeklerin spini 1 olan dipol uyarılmalarının π paritesi, lineer polarizasyona sahip SEL demeti kullanılarak

$$\Sigma = \frac{\omega(\theta = 90^\circ, \varphi = 0^\circ) - \omega(\theta = 90^\circ, \varphi = 90^\circ)}{\omega(\theta = 90^\circ, \varphi = 0^\circ) + \omega(\theta = 90^\circ, \varphi = 90^\circ)}$$

$$= \pi_1 = \begin{cases} +1 & \text{için } J^\pi = 1^+ \\ -1 & \text{için } J^\pi = 1^- \end{cases} \quad (10)$$

ölçümü ile kolayca belirlenebilir.

SEL- Çekirdek çarpıştırıcısı durumunda $\theta=90^\circ$ değeri $E_\gamma = \gamma_A \omega$ enerjisine sahip fotonlara karşılık gelir. Bu fotonlar $\eta_{\max} = 1/\gamma_A$ açısı ile yayınlanır (burada η yayınlanan foton ile gelen çekirdek demeti arasındaki açıdır). Laboratuvar çerçevesine geçildiğinde azimutal φ açısı değişmeyecektir. Eğer dedektör etkileşme noktasından 100 m mesafede yerleştirilirse yayılan fotonların yarıçapı yaklaşık 1m olan daire içerisinde dedekte edilecektir. Böylece parite kolayca ölçülecektir [24].

Sonuç

Nükleer fizik araştırmaları için önemli bir gelişme sağlayacak olan SEL fotonlarının özellikleri ve hızlandırıcıların da deneysel ortam olarak sağladıkları katkılar sayesinde çalışmalar daha güvenilir ve hızlı bir şekilde yapılacaktır. Aynı zamanda çok yüksek enerjiler çok daha düşük enerjili foton demetleri ile kolayca incelenebileceği için deneysel ortamda bu nedenle

karşılaşılan bir çok sorundan da kurtulma imkanı elde edilecektir. SEL fotonlarının yoğunluğu ve yüksek derecede polarize olması uyarılmış çekirdeklerin spin ve parite belirlemelerinde büyük kolaylık sağlayacaktır. Genel olarak SEL-Çekirdek çarpıştırıcıları nükleer fizik araştırmalarında (γ,γ) reaksiyonlarının rolünü oldukça genişletecektir.

Teşekkür

Bu çalışma DPT2002K120250 ve DPT2002K120190 no'lu projelerle DPT tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1]. Kneissl, U., Pitz, H.H., and Zilges, A., 1996. Investigation of Nuclear Structure by Resonance Fluorescence Scattering .Prog. Part., Nucl. Phys., 37, 349-433.
- [2]. Wesselborg, C., Von Brentano, P., Zell, K.O. Heil, R.D., Pitz, H.H., Berg, U.E.P., Kneissl, U., Lindenstruth, S., Seemann, U. and Stock, R. 1998 Photoexcitation of dipole modes in $^{60,162,164}\text{Dy}$. Phys. Lett., 207, 22-26
- [3]. Bohle, D., Kuchler, Richter, A. and Steffen, W. 1984a. Further Evidence for the New Collective Magnetic Dipole Mode in Heavy Deformed Nuclei, Phys Lett., 148B, 260-264.
- [4]. Bohle, D. Kilgus, G. Richter, A., Jager , C. W., and Vries H., 1987. Inelastic Electron Scattering Form Factor of Orbital Magnetic Dipole Excitations in ^{164}Dy ., Phys Lett., 195B, 326-330.
- [5]. Bohle, D., Richter, A., Berg, U.E., Drexler, P., Heil, R.D., Kneissl, U., Metzger, H., Stock, R., Fischer, B., Holli ck H. and Kollwe, D., 1986. Distribution of Orbital Magnetic Dipole Strength in ^{156}Gd ., Nucl.Phys. A, 458, 205-216.
- [6]. Hartmann, U., Bohle, D. Humbert, F. and Richter A., 1989. Electroexcitation of the M1 Scissors Mode in ^{154}Gd and The Systematics of the M1 Strength Distributions in $^{154,156,158,160}\text{Gd}$., Nucl. Phys. A, 499, 93-99.
- [7]. Friedrichs, H., Schlitt, B., Margraf, J., Lindenstruth, S., Wesselborg, C., Heil, R.D., Pitz, H.H., Kneissl, U., Von Brentano, P., Herzberg, R. D., Zilges, A., Häger, D., Müller, G. and Schumacher, M., 1992. Evidence for Enhanced Electric Dipole Excitations in Deformed Rare Earth Nuclei Near 2.5 MeV, Phys. Rev. C45, R, 892-895.
- [8]. Mohr, P., Enders, J., Hartmann, T., Kaiser, H., Schiesser, D. Schmitt, S., Volz, S., Wissel F. and Zilges A., 1999. Real Photon Scattering up to 10 MeV: the Improved Facility at The Darmstadt Electron Accelerator S-DALINAC , Nucl. Instr. and Meth. A, 423, 480-488.
- [9]. Metzger, F.R., 1959. Resonance Fluorescence in Nuclei, Progr.in Nucl.Phys., 7, 54-88.
- [10]. Advanced Gamma Tracking Array. <http://agata.pd.infn.it> (Erişim tarihi: 2006).
- [11]. TESLA Technology. <http://tesla.desy.de> (Erişim tarihi: 2006).
- [12]. Kuliev, A. A., Akkaya, R., Ilhan, M., Guliyev, E., Salamov, C., Selvi, S., 2000. Rotational-Invariant Model of the States with $K^{\pi=1+}$ and their Contribution to the Scissors Mode., Int.J. of Mod. Phys. E, 9, 249-262.
- [13]. Aktaş, H, Büğet, N., Çiftçi, A.K., Meriç, N., Sultansoy, S. and Yavaş. Ö., 1999. New Tool for “Old” Nuclear Physics: FEL Γ -Nucleus Colliders, Nucl. Instr. and Meth. A, 428, 271-275.
- [14]. Sultansoy, S., 1998. Four Ways to TeV Scale, Turk J. of Phys., 22 (7), 575-580.
- [15]. Guliyev, E., Kuliev, A.A. Sultansoy, S., and Yavaş, Ö., 2002. Collective Excitations of the ^{154}Sm Nucleus at the FEL \otimes LHC Collider., Int.J. Mod. Phys. E, 11, 501-508.
- [16]. Guliyev, E., Kuliev, A.A., Neumann-Cosel, P. and Yavaş, Ö., 2001. Magnetic Dipole Strength Distribution and Photon Interaction Cross Sections in ^{140}Ce ., Nucl. Phys. A, 690, 255-258.
- [17]. Koru, H. Özcan, A., Sultansoy, S. and Yavaş, Ö., 2003. Physics Potential of the e-RHIC Based FEL-Nucleus Collider., Int. J. Mod. Phys E, 12, 533-541.
- [18]. Al- Janabi, T.J., Jafar, J.D., Mahmood, K.M. Youhana, H.M., Demidov, A.M. and Govor, L.I., 1982. Angular Distribution Studies in ^{144}Nd , Nucl. Phys.A, 402, 247-261.
- [19]. Raman, S. 1968. The Decay Of ^{44}Pm and the Energy Levels of ^{144}Nd ., Nucl. Phys. A, 117, 407-418.
- [20]. Berant, Z., Tenenbaum, J., and R. Moreh , 1977 Nuclear Resonance Fluorescence in ^{146}Nd and ^{154}Sm , Nucl. Phys.A 276, 221-228.
- [21]. Raman, S., Gove N.B., 1973. Rules for Spin and Parity Assignments Based on Log ft Values, Phys. Rev. C7, 1995-2009.
- [22]. Behar, M., Grabowski, Z.W. and S. Raman, 1974. Angular Correlation Studies in ^{144}Nd , Nucl. Phys. A, 219, 516-524.
- [23]. Fasching, J.L., Walters, W.B., and Coryell C.D., 1970. Decay of 284-Day ^{144}Ce , 17.3-min ^{144}Pr , and a New Isomer, 7.2-min ^{144m}Pr , Phys. Rev. C1, 1126-1131.
- [24]. Koru, H., Özcan , A., Sultansoy, S., Yavaş, Ö., 2003. SEL-Çekirdek Çarpıştırıcılarında Uyarılmış Çekirdeklerin Spin ve Paritelerinin Belirlenmesi, VIII. Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Erciyes Üniversitesi Fen Fakültesi, 15-17 Ekim, Kayseri.