

## CLIC- LHC Temelindeki Serbest Elektron Lazer (SEL)-Çarpıştırıcısında <sup>40</sup>Ar Çekirdeğinin Düşük Enerjili Seviyelerinin İncelenmesi

Aynur TATAR

Gazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü – Teknikokullar / ANKARA  
Alınış tarihi:03.05.2007, Kabul:17.10.2007

**Özet :** Nükleer Rezonans Floresans (NRF) çekirdekte yapısal bozulmalar oluşturmadan incelenme imkanı sağlayan bir metottur. Bu çalışmalarda kullanılacak ışımın yüksek kaliteli bir ışımın olması çalışma sonuçları açısından çok önemlidir. Serbest Elektron Lazer (SEL) demeti Nükleer Rezonans Floresans (NRF) deneyleri için ideal bir kaynaktır. Bu kaynak tek renkli, ayarlanabilir enerjili ve büyük oranda düzeyde kutuplanabilir bir ışımdır. Large Hadron Collider (LHC)dan alınan büyük enerjili çekirdek demetleri ile Serbest Elektron Lazer (SEL) demeti uygun bir noktada çarpıştırılacak ve oluşan büyük miktardaki olay sayısı çekirdeklerin uyarılma seviyelerini incelemek imkanı sağlayacaktır. Argon (<sup>40</sup>Ar) çekirdeği LHC'nin ikinci fazında kullanılacak bir çekirdek olup bu çalışmanın benzerleri ikinci fazda kullanılacak diğer çekirdekler ve uygun tüm çekirdekler için de yapılabilir. Bu çalışmada Argon (<sup>40</sup>Ar) çekirdeğinin ( $\gamma$ ,  $\gamma'$ ) deneylerinde gözlenmiş enerji seviyeleri seçilerek incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** SEL-Çekirdek Çarpıştırıcısı, Serbest Elektron Lazeri, Nükleer Rezonans Floresans, Ar.

## The Investigation of the Low Energy Levels of <sup>40</sup>Ar Nucleus at CLIC-LHC Based FEL Nucleus Collider

**Abstract:** Nuclear Resonance Fluorescence (NRF) is a method which gives an opportunity to investigate nucleus; it doesn't make structural defect in nucleus. In these type works to use the high quality rays is very important for results of work. The FEL beam is an ideal source for the Nuclear Resonance Fluorescence (NRF) experiments. This source has monochromaticity, tunability energy and polarization at high rate. Nucleus beams which have huge energy taken from Large Hadron Collider (LHC) with the FEL beam will be collided at the fit point and growing high number event will give an opportunity to investigate excited nuclear levels. The <sup>40</sup>Ar isotope is one of nucleus which will be used in LHC phase II and similar works can be make for another nucleus which will be used in LHC phase II. In this work the observed energy levels of <sup>40</sup>Ar in ( $\gamma$ ,  $\gamma'$ ) experiments are selected and investigated.

**Key Words:** FEL- Nucleus Collider, Free Electron Laser, Nuclear Resonance Fluorescence, Ar

### Giriş

Nükleer Rezonans Floresans (NRF) metodu çekirdek yapılarının incelenmesinde çok önemli rol oynayan bir metottur. Bu metodu kullanıldığı çalışmalardan yüksek verimlilik sağlanabilmesi kullanılacak ışımın kalitesine bağlıdır. Serbest Elektron Lazeri (SEL), yüksek spektral yoğunluk, geniş enerji aralığında ayarlanabilirlik ve yüksek derecede çizgisel polarizasyona sahip olması nedeniyle bu çalışmalar için en ideal foton kaynağıdır (Kneissl, 1996; Wesselborg vd., 1988).

Son yıllarda SEL-Çekirdek Çarpıştırıcısı olarak adlandırılan yeni bir metot önerilmektedir (Aktas vd., 1999; Koru vd., 2003). Bu çalışma için tam iyonize edilmiş çekirdek demetleri çekirdek hızlandırıcısında istenilen enerjilere kadar hızlandırılacak ve SEL demetleri ile çarpıştırılacaktır. Bu çalışmada çekirdek hızlandırıcısı olarak LHC, çekirdek olarak bu hızlandırıcıda ikinci aşamada hızlandırılması düşünülen <sup>40</sup>Ar ve SEL demeti için gerekli olan hızlandırılmış elektron demeti CLIC' den alınacaktır (Yavaş vd., 2005).

### Nükleer Spektroskopi

Çekirdeklerin enerji seviyeleri monokromatik fotonların çekirdekten elastik ve inelastik saçılma çalışmaları ile incelenebilir. Fotonlarla uyarılmış bir çekirdek seviyesi daha düşük bir seviyeye veya temel seviyeye uygun enerjili bir foton yayımlayarak geçebilir. Rezonans ve düşük enerji düzeyinin uyarılma enerjileri çekirdek tarafından yayınlanan gamma ışınları spektrumunun incelenmesi ile belirlenebilir. Yayınlanan  $\gamma$  ışınları spektrumunun incelenmesi uyarılmış nükleer durumlar hakkında da bilgi edinmemizi sağlar (Richter, 1995).

Elektrik ve manyetik dipol uyarılmalar; nükleon-nükleon kuvvetleri ve çekirdek yapıları hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu nedenle M1 makas mod olarak bilinen düşük düzey manyetik dipol uyarılmalar ve elektrik dipol uyarılmalar modern çekirdek fiziğinde çok önemli konular arasındadır (Berman, 1975; Moreh, 1994).

E1 ve M1 uyarılmaları gerçek fotonlar kullanılarak çalışılmıştır. Gerçek fotonlarla yapılan çalışmalarda düşük momentum transferi oluşmakta ve bu transfer düşük spin durumlarının uyarılmalarında yüksek bir seçicilik sağlamaktadır. NRF deneyleri yüksek enerjili durumların uyarılma çalışmalarında aşağıda örneklenen bazı nedenlerden dolayı verimli değildir (Richter, 1995).

Saçılan fotonların polarizasyonlarını ölçmek için kullanılan kompton polarimetreleri 3 MeV'e yakın enerjilerde verimlidir. Bundan dolayı bu metottan 3 MeV üzerindeki enerjilerde yararlanılamamaktadır (Kneissl, 1996).

Fotonlar ve hedef materyaller arasındaki zayıf etkileşmeler nedeniyle 106  $\gamma/s$  keV miktarındaki bir foton akımı için yaklaşık olarak 500 mg gibi büyük miktarda zenginleştirilmiş hedef materyale ihtiyaç vardır.

## Serbest Elektron Lazer (SEL) ve Diğer Foton Kaynakları

Taban durumdaki çekirdek  $E_\gamma$  kadar enerjili bir foton soğurarak bu durumun  $\Delta E$  enerjisi kadar üzerindeki bir uyarılmış duruma geçebilir böylece uyarılmış bir düzey elde edilmiş olur. Çekirdek bu düzeyde kararlı olduğundan kararlı olduğu düzeye geçmek için aldığı enerjiyi foton olarak yayınlamaya kararlı duruma döner. NRF olarak adlandırılan metodun kullanılması ile çekirdek seviyeleri kısmen daha rahat olarak incelenmektedir. Çünkü ışınının soğurulması ve tekrar yayınlanması süreci çok iyi bilinen ve üzerinde çok az çalışılan bir süreçtir.

Rezonans deneylerinde enerjisi ayarlanabilen foton kaynakları elde etmek için birkaç metot vardır. Bu metotlarla frenleme ışınları ve sinkrotron ışınları gibi ışınlar elde edilmektedir. 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 (Kneissl, 1996).

### Çizelge 1. Farklı foton kaynaklarının karakteristikleri

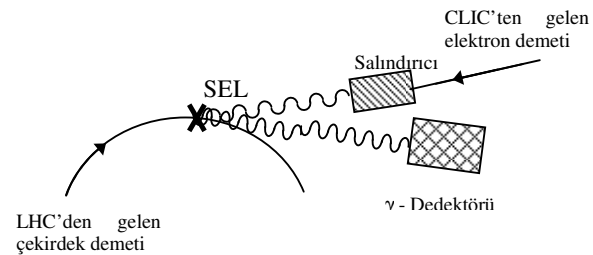
Foton Kaynakları	CB	BS <sub>p</sub>	BS <sub>up</sub> +CB	BS <sub>up</sub>	SEL
Tahmini yoğunluk	0.15	20	1000	1000	$>10^{16}$
$\Delta E_\gamma/E_\gamma$ (%)	2.7	sürekli	sürekli	Sürekli	0.01
$P_\gamma$ (%)	100	10-30	10-20	0	100
Hedef Kütle M (g)	70	5	5	1-2	$10^{-10}$

NRF deneyleri için SEL-Çekirdek Çarpıştırıcıları en uygun deneysel ortamı sağlama konusunda önemli bir gelişme olacaktır.

Çizelge 1'de SEL ışınının özellikleri diğer ışın kaynaklarının özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar göz önüne alınacak olursa, SEL fotonlarının deneysel NRF çalışmalarındaki başarı oranını çok yükseltmeye çıkarabileceği görülecektir (Friedrichs, 1992; Mohr, 1999). Çizelgedeki CB kısaltması; polarize compton geri saçılma ışınımı, BS<sub>p</sub> kısaltması; polarize Bremsstrahlung ışınımına, BS<sub>up</sub> kısaltması; polarize olmayan Bremsstrahlung ışınımına karşılık gelmektedir.

## CLIC-LHC Çarpıştırıcısı

Bu çalışmada LHC nin ikinci aşamasında kullanılması düşünülen <sup>40</sup>Ar çekirdeği özellikle seçilmiştir (John vd., 2004, Li vd., 2006). Bu çekirdek LHC de hızlandırılacağı için çalışmanın deneysel olarak yapılması için ekstra bir demet hazırlığına gerek olmayacaktır. Çalışmamızda Ar çekirdek demeti LHC de istenilen enerjiye kadar hızlandırılacaktır. CLIC'ten elde edilecek uygun enerjili elektron demetleri ise undulatör denilen salındırıcıdan geçirilerek SEL demeti elde edilecek ve LHC' den alınan çekirdek demeti ile çarpıştırılacaktır.



Şekil 1. Çekirdek Çarpıştırıcısının Şematik Gösterimi.

Çekirdek Şekil 1'de gösterildiği gibi hızlandırıcının tipine bağlı olarak belirli enerjilere kadar hızlandırılmış hareketli bir hedef olarak kullanılırsa eV enerjili bir foton demeti ile keV enerjili bir seviye rahatlıkla uyarılabilir (Aktas vd., 1999). Hızlandırıcılarda yüksek göreceli hızlara ulaştırılan çekirdek demetleri CLIC'ten alınan elektron demetlerinden elde edilen  $\omega_0$  enerjili SEL ışınımı ile çarpıştırılırsa durgun çekirdek çerçevesinde SEL demetinin enerjisi çekirdek tarafından

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

olarak algılanacaktır. Burada  $\gamma_A$  çekirdeğin Lorentz faktörü olup

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

ifadesi ile verilir. Burada  $\gamma_p$  protonun Lorentz faktörüdür. SEL demetinin enerjisi  $\omega_0$  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. CLIC parametrelerinin tam listesine (Corsini, 2004) kaynağından ulaşılabilir.

**Çizelge 2.** <sup>40</sup>Ar Çekirdeğinin Seçilen Bazı Uyarılma Seviyeleri için Gerekli SEL Demeti Enerjileri.

E (keV)	$\Gamma$	$\Gamma$ (eV)	$\omega$ (eV)
1460,8	2+	$5,9 \cdot 10^{-4}$	217
2120,8	0+	$7,3 \cdot 10^{-6}$	315
2524,1	2+	$3,0 \cdot 10^{-3}$	375
3208,0	2+	$17,3 \cdot 10^{-3}$	477
3511,3	2+	$11,3 \cdot 10^{-3}$	522
3918,8	2+	2,35	583
4229	(1+, 2-, 3+)	$3,8 \cdot 10^{-3}$	629
4300,8	(1, 3)-	$11,3 \cdot 10^{-3}$	640
4324,5	2+	$38,8 \cdot 10^{-3}$	644
4420	(0+ to 4+)	$3,14 \cdot 10^{-8}$	658
4473	1	0,7	666
4481,0	1-	$9,4 \cdot 10^{-3}$	667
4578	(2+, 3-)	$17,8 \cdot 10^{-3}$	681
4602	(0+ to 4+)	$13,2 \cdot 10^{-3}$	685
4674	(1+, 2-, 3+)	$1 \cdot 10^{-2}$	696
4769,0	1-	0,82	710
5400,5	1-	0,03	804
5880,4	1-	0,117	875
5912	1	0,05	880
6053,6	1	0,41	901
6338,7	1(-)	0,29	943
6476,0	1(-)	0,43	964
8918	1-	0,34	1328
9127	1-	0,71	1359
9355	1-	1	1393
9412	1-	3,4	1401
9503	1-	7,9	1415
9583	1-	7,3	1427
9757	1+	0,56	1453
9851	1-	21	1467
9893	1-	-	1473
9912	(1-, 2+)	-	1476
9943	1-	-	1480
9952	1(-)	10	1482
10090	1-	-	1502
10151	1-	-	1511
10180	1	-	1516
10362	1, 2+	-	1543

Düşük çok kutuplu elektromanyetik uyarılmalar 2-20 MeV enerji bölgesinde gerçekleşmektedir. Ar çekirdeğinin enerji seviyelerini uyarabilecek SEL demeti enerjileri LHC için  $\gamma_{Ar} \approx 3357.5$  değeri kullanılarak (3)

ifadesi ile hesaplanabilir (Brandt, 2000; Braun, 2004). <sup>40</sup>Ar uyarılmaları için gerekli olan foton enerjileri 0,21 - 2,1 keV (0.57- 5.7 nm dalga boyu) aralığındadır. Çizelge 2'de <sup>40</sup>Ar çekirdeğinin seçilen bazı uyarılma seviyeleri için gerekli SEL demeti enerjileri verilmiştir.

**Işınlık (Luminosity)**

SEL çekirdek çarpıştırıcısı için önemli bir parametre de ışınlık olarak adlandırabileceğimiz Luminosity parametresidir. Bu parametre

$$L = \frac{n_\gamma n_A}{4\pi\sigma_x\sigma_y} n_b f_{rep} \quad (4)$$

İfadesi ile verilmektedir. Burada  $n_\gamma$  SEL paketçisindeki fotonların,  $n_A$  çekirdek paketçisindeki çekirdeklerin sayısıdır,  $n_b$  bir elektron atmosferindeki elektron paketçiklerinin sayısı,  $f_{rep}$  elektron atmosferinin tekrarlama frekansı,  $\sigma_x$  ve  $\sigma_y$  demetlerin düşey ve yatay boyutlarının en büyük değerleridir.

LHC de hızlandırılan iyon demeti 250 ps rms zamanlı 100 ns mesafeli paketçiklerden oluşmaktadır. CLIC temelinde oluşturulan FEL demetinin tekrarlama frekansı 200 Hz, paketçik mesafeleri sürücü demet tarafından üretilen radyo frekans atmaların zaman yapısına bağlıdır (Yavaş vd., 2005).

Bu durumda  $f_{rep} = 150$  Hz,  $n_b = 1$  ve  $\sigma_x = \sigma_y = 30$  mm,  $n_A = 2,2 \cdot 10^9$  ve  $n_\gamma = 2,7 \cdot 10^{13}$  alınarak ışınlığın minimum değeri  $L = 7,8 \cdot 10^{28} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  olarak hesaplanabilir. Rezonans foton saçılması tesir kesiti Breit-Wigner formülü

$$\sigma(\gamma, \gamma') = \frac{\pi}{E^2} \times \frac{2J_{exc} + 1}{2 \times (2J_0 + 1)} \times \frac{B_{in} B_{out} \Gamma^2}{(E - E_R)^2 + \Gamma^2 / 4} \quad (5)$$

ile verilir. Burada E gelen fotonun kütle merkezi enerjisi,  $J_{exc}$  ve  $J_0$  sırasıyla uyarılmış ve temel seviyelerin spinleri,  $B_{in}$  ve  $B_{out}$  uyarılmış çekirdeğin giriş ve çıkış kanallarındaki dallanma oranları,  $E_R$  rezonanstaki enerji ve  $\Gamma$  uyarılmış seviyenin toplam genişliğidir. Ortalama tesir kesitinin yaklaşık değeri

$$\sigma_{av} \approx \sigma_{res} \frac{\Gamma}{\Delta E_\gamma} \quad (6)$$

ifadesi ile bulunabilir. Burada  $\Delta E_\gamma$  SEL demetinin durgun çekirdek çerçevesinde enerji yayılımıdır; ve  $\Delta E_\gamma / E_\gamma \leq 10^{-4}$  ifadesinden  $\Delta E_\gamma \approx E_\gamma \times 10^{-4}$  elde edilir. burada  $E_\gamma \approx E_{exc}$  dir. Çarpışma sonucu saniyede oluşan olay sayısı

$$R = L \sigma_{ave}. \quad (7)$$

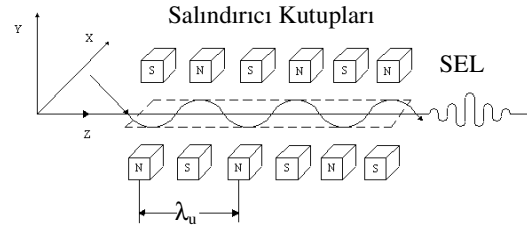
ifadesiyle hesaplanabilir. Çizelge 3'de <sup>40</sup>Ar çekirdeği için hesaplanmış olan tesir kesitleri ve olay sayıları sunulmaktadır.

**Çizelge 3.**  $^{40}\text{Ar}$  Çekirdeğinin Seçilen Bazı Uyarılma seviyeleri için tesir kesitleri değerleri ve olay sayıları.

E (keV)	$\sigma_{\text{tot}}$ (cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{\text{av}}$ (cm <sup>2</sup> )	R/s
1460,8	$5,72 \cdot 10^{-22}$	$2,27 \cdot 10^{-26}$	$1,7 \cdot 10^5$
2120,8	$5,4 \cdot 10^{-22}$	$1,87 \cdot 10^{-29}$	$1,4 \cdot 10^2$
2524,1	$1,92 \cdot 10^{-21}$	$2,26 \cdot 10^{-26}$	$1,7 \cdot 10^5$
3208,0	$1,18 \cdot 10^{-21}$	$6,4 \cdot 10^{-26}$	$4,9 \cdot 10^5$
3511,3	$9,93 \cdot 10^{-22}$	$3,21 \cdot 10^{-26}$	$2,5 \cdot 10^5$
3918,8	$7,9 \cdot 10^{-22}$	$4,78 \cdot 10^{-24}$	$3,7 \cdot 10^7$
4229	$4,1 \cdot 10^{-22}$	$3,6 \cdot 10^{-27}$	$2,8 \cdot 10^4$
4300,8	$3,9 \cdot 10^{-22}$	$1,05 \cdot 10^{-26}$	$8,1 \cdot 10^4$
4324,5	$6,54 \cdot 10^{-22}$	$5,87 \cdot 10^{-26}$	$4,5 \cdot 10^5$
4420	$2,5 \cdot 10^{-22}$	$1,78 \cdot 10^{-32}$	0,13
4473	$3,67 \cdot 10^{-22}$	$5,74 \cdot 10^{-25}$	$4,4 \cdot 10^6$
4481,0	$3,69 \cdot 10^{-22}$	$7,76 \cdot 10^{-29}$	$6,05 \cdot 10^2$
4578	$5,84 \cdot 10^{-22}$	$2,27 \cdot 10^{-26}$	-
4602	$1,15 \cdot 10^{-22}$	$3,31 \cdot 10^{-27}$	$1,7 \cdot 10^5$
4674	$7,6 \cdot 10^{-22}$	$7,1 \cdot 10^{-27}$	$2,5 \cdot 10^4$
4769,0	$3,2 \cdot 10^{-22}$	$5,55 \cdot 10^{-25}$	$5,5 \cdot 10^4$
5400,5	$2,5 \cdot 10^{-22}$	$1,39 \cdot 10^{-26}$	$4,3 \cdot 10^6$
5880,4	$2,12 \cdot 10^{-22}$	$4,2 \cdot 10^{-26}$	$3,2 \cdot 10^5$
5912	$2,1 \cdot 10^{-22}$	$1,7 \cdot 10^{-26}$	-
6053,6	$2,0 \cdot 10^{-22}$	$1,35 \cdot 10^{-25}$	$1,38 \cdot 10^5$
6338,7	$1,82 \cdot 10^{-22}$	$8,34 \cdot 10^{-26}$	$6,5 \cdot 10^5$
6476,0	$1,75 \cdot 10^{-22}$	$1,16 \cdot 10^{-24}$	-
8918	$9,23 \cdot 10^{-23}$	$3,52 \cdot 10^{-26}$	$2,7 \cdot 10^5$
9127	$8,82 \cdot 10^{-23}$	$6,86 \cdot 10^{-26}$	$5,3 \cdot 10^5$
9355	$8,39 \cdot 10^{-23}$	$8,97 \cdot 10^{-26}$	$7,0 \cdot 10^5$
9412	$8,29 \cdot 10^{-23}$	$2,99 \cdot 10^{-25}$	-
9503	$8,13 \cdot 10^{-23}$	$6,76 \cdot 10^{-25}$	$5,2 \cdot 10^6$
9583	$8,0 \cdot 10^{-23}$	$6,59 \cdot 10^{-25}$	-
9757	$7,7 \cdot 10^{-23}$	$4,42 \cdot 10^{-26}$	$3,4 \cdot 10^5$
9851	$7,57 \cdot 10^{-23}$	$1,61 \cdot 10^{-24}$	$1,2 \cdot 10^7$
9893	$7,50 \cdot 10^{-23}$	-	-
9912	$7,47 \cdot 10^{-23}$	-	-
9943	$7,43 \cdot 10^{-23}$	-	-
9952	$7,4 \cdot 10^{-23}$	$7,43 \cdot 10^{-25}$	$5,82 \cdot 10^7$
10090	$7,21 \cdot 10^{-23}$	-	-
10151	$7,13 \cdot 10^{-23}$	-	-
10180	$7,09 \cdot 10^{-23}$	-	-
10362	$6,84 \cdot 10^{-23}$	-	-

## Serbest Elektron Lazer

Serbest elektron lazeri (SEL), rölativistik bir elektron demetinin, kutupları arasında sinüsel bir manyetik alan uygulanan salındırıcıdan (undulator) geçerken, kinetik enerjisinin bir kısmını elektromagnetik ışığa yoluyla dalgaboyu ayarlanabilir, yüksek akı ve parlaklık değerlerine sahip monokromatik (tek enerjili) ışınım olarak elde edilir. Bu şekilde elde edilen lazerin dalga boyu aralığı VUV'den (Vakum Ultra Violet) sert X-ışını bölgesine kadar uzanır (Aktas vd., 1999). Serbest elektron lazerinin oluşumu şematik olarak Şekil 2'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.** Serbest Elektron Lazerinin Oluşumu.

SEL ışınımının ilk harmoniğinin dalgaboyu

$$\lambda = \frac{\lambda_u}{2\gamma_e^2} (1 + a_u^2) \quad (8)$$

İle verilir. Burada, undulator parametresi  $a_u^2$

$$a_u = \frac{e\lambda_u B_u}{2\pi m_e c} \approx 0,934 \lambda_u (cm) B_u (T) \quad (9)$$

elde edilecek ışınımın dalgaboyu veya enerjisi  $\lambda_u$  ve  $B_u$  parametreleri değiştirilerek ayarlanabilir. 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 enerji seviyelerinin de gözlemlenmesi mümkün olacaktır.

SEL için gerekli olan elektron demeti enerjisi,  $\lambda_u = 2,5\text{cm}$  ve  $B_u = 0,43\text{T}$  parametreleri kullanılarak  $E_e \approx 1,07\text{-}3,38\text{ GeV}$  olarak hesaplanmıştır (Yavaş, 2005).

LHC içinde CLIC çalıştırıldığında (Brandin vd., 2002; Brandt 2000; Braun 2004; Corsini 2004), SEL elektron demeti hızlandırıcısı elemanı olarak CLIC'in uygun olduğu deneysel olarak ta ispatlanacaktır.

SEL sistemleri çok pahalı olduklarından var olan ekipmanları kullanmak ekonomik bakımdan çok büyük bir avantaj sağlayacaktır. Mevcut sisteme yapılacak küçük eklemeler ile düzeneğin bu iş için kullanılması mümkün olabilecektir.

## Sonuç ve Tartışma

Serbest elektron lazer ışınımı çekirdek fiziği araştırmaları için geliştirilen nükleer rezonans floresans metodu için çok önemli bir ışınımdır. Fakat bu ışınımı elde etmek için kurulacak sistem çok pahalı bir sistemdir. Ayrıca önerilen metotta iki ayrı demet yani SEL ışınımı elde etmek için elektron demeti ve çarpışmayı sağlamak için çekirdek demetlerinin hızlandırılması gerekmektedir. Tüm bunlar için yeni sistemler kurmak hem çok masraflı hem de çok zaman alıcı olacaktır. Fakat bu çalışmada da belirtildiği gibi şu anda kurulu olan LHC ve CLIC bu tür çalışmalar için istenilen tüm değerleri sağlayabilecek sistemlerdir. Bu sistemlerden elde edilecek demetler NRF deneyleri için kullanılırsa hem ek bir bütçeye ihtiyaç olmadan hem de ek bir zaman harcamadan istenilen uygun çekirdekler için çalışmalar yapılabilir.

Bir çekirdek seviyesini uyarmak için çekirdeğin o seviyesinin enerjisine eşit enerjili ışın demetinin çekirdekle çarpıştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada önerilen metotla eV enerjili bir ışın demeti keV enerjili bir seviye uyarılabilmektedir. Bu işlem hem daha kısa sürede hem de daha az enerji harcayarak gerçekleştirilebilir. Aynı zaman da oluşan olay sayısının çok yüksek olması spektrum çalışmalarını oldukça sağlıklı kılacaktır. <sup>40</sup>Ar çekirdeği için yapılmış olan ( $\gamma, \gamma'$ ) çalışmalarından elde edilen sonuçlarla çalışma sonuçları uyumlu olup önerilen metot deneysel olarak gerçekleştirilirse daha önceden ışın kalitesi yetersizliği nedeni ile gözlenemeyen bazı seviyelerinde artış gözlenebileceği tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada, CLIC- LHC temelinde oluşturulacak SEL – çekirdek çarpıştırıcısının istenilen amaca hizmet edecek kapasitede olduğu LHC 'nin ikinci aşamasında hızlandırılması düşünülen <sup>40</sup>Ar çekirdeği seçilerek açıklanmıştır. Bu çarpıştırıcı da diğer uygun çekirdekler için de çalışmalar yapılabilir.

## Kaynaklar

- Aktaş, H., Büget, N., Çiftçi, A.K., Meriç, N., Sultansoy, S., Yavaş, Ö. 1999. New Tool for “Old” Nuclear Physics: FEL  $\Gamma$ -Nucleus Colliders, Nucl. Instr. and Meth., A428, 271-275.
- Brandin, M., Corsini, R., Ekelof, F., Ferrari, A. 2002. Study of the Feasibility of an X-ray Free Electron Laser with 15 GeV CLIC beam, CERN CLIC Note 543,
- Berman, B.L., Fultz, S.C. 1975. Measurements of the Giant Dipole Resonance with Monoenergetic Photons. Rev. Mod. Phys., 47, 713.
- Bohle, D., Küchler, Richter, A. and Steffen, W. 1984. Further Evidence for the New Collective Magnetic Dipole Mode in Heavy Deformed Nuclei. Phys Lett., 148B, 260-264.
- Brandt, D., 2000. Review of the LHC ion programme, LHC Project Report 450, CERN, Geneva,.

Braun, H. 2004. Ion program of LHC, Miniworkshop on Machine and Physics Aspects of CLIC Based Future Collider Options, 30 August, CERN, CERN CLIC, Note 613.

Corsini, R. 2004. CLIC: technology, test facilities and future, Miniworkshop on Machine and Physics Aspects of CLIC Based Future Collider Options, CERN, CERN CLIC Note 613, <http://clic-meeting.web.cern.ch/clic-meeting> (01.04.2007).

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, R892-895.

John, A.,C.,Balraj,S., 2004 Nuclear Data Sheets ,102,293.

Kneissl, U., Pitz, H.H., Zilges, A. 1996. Investigation of Nuclear Structure by Resonance Fluorescence Scattering. Prog. Part. Nucl. Phys., 37, 349-433.

Koru, H., Özcan, A., Sultansoy, S., Yavaş, Ö. 2003. Physics Potential of the e-RHIC Based FEL-Nucleus Collider. Int. J. Mod. Phys, E 12, 533-541.

Mohr, P., Enders, J. Hartmann, T. Kaiser, H. Schiesser, D.,Schmitt, S., Volz, S., Wissel F., 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.

Moreh, R., Fogel, M. 1994. Anisotropic Gamma-Ray Resonance Scattering From A Zinc Single-Crystal And The Uncertainty Principle. Physical Review, B 50, 16184-16191.

Richter, A. 1995. Probing the Nuclear Magnetic Dipole Response with Electrons, Photons and Hadrons. Prog. Part. Nucl. Phys. 34, 261.

Li, T.C., Pietralla, N., Tonchev, A.P., M.W. Ahmed, M. W., Ahn, T., Angell, C., Blackston, M.A., Costin, A., K.J. Keeter, K.J., Li, J., Lisetskiy, A., Mikhailov, S., Pappas, Y., Perdue, B.A., Rainovski, G., Tornow, W., Weller, H.R., Wu, Y.K. 2006. First Evidence for Spin-Flip  $M1$  Strength in <sup>40</sup>Ar. Phys. Rev. C, 73, 054306.

Yavaş, Ö., Corsini, R., Braun, H., Sultansoy, S., Guliyev, E., Yiğit, Özcan, A. 2005. CLIC–LHC-based FEL–Nucleus Collider: Feasibility and Physics Search Potential. Nuc. Instr. and Meth A, 552, 440.

Wesselborg, C., Von Brentano, P. 1998. Photoexcitation of Dipole Modes in <sup>60,162,164</sup>Dy. Phys.Lett., 207B, 22-26.