

**SİNKROTRON IŞINIMININ
KATIHAL FİZİĞİNDEKİ UYGULAMALARI**

Banu Nurşat GENÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006
ANKARA**

Banu Nurşat GENÇ tarafından hazırlanan SİNKROTRON IŞINIMININ KATIHAL FİZİĞİNDEKİ UYGULAMALARI adlı bu tezin Yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Saleh SULTANSOY
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oybirliği ile FİZİK Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ergün KASAP

Üye : Prof. Dr. Saleh SULTANSOY

Üye : Prof. Dr. Ömer YAVAŞ

Üye : Doç. Dr. Şemsettin ALTINDAL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Eyyup TEL

Tarih : 28/09/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Banu Nurşat GENÇ

SİNKROTRON IŞINIMININ KATIHAL FİZİĞİNDEKİ UYGULAMALARI
(Yüksek Lisans Tezi)

Banu Nurşat GENÇ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2006

ÖZET

Bu tezde sinkrotron ışınımının fiziği ve uygulama alanları açıklanmıştır. Dünyadaki sinkrotron ışınımı laboratuvarları ile ilgili kısa bilgiler verilmiştir. TAC (Türk Hızlandırıcı Kompleksi) çerçevesinde kurulması öngörülen sinkrotron ışınım kaynağının ana parametreleri ve demet hatları tanıtılmıştır. Bunun yanında sinkrotron ışınımının yarıiletken ve katıhal fiziği üzerindeki uygulamaları açıklanmıştır.

Bilim Kodu	: 202.1.149
Anahtar Kelimeler	: Sinkrotron, TAC, Işınım, Yarıiletken, Floresan
Sayfa Adedi	: 67
Tez Yöneticisi	: Prof. Dr. Saleh SULTANSOY

APPLICATIONS OF SYNCHROTRON RADIATION IN SOLID STATE PHYSICS

Banu Nurşat GENÇ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2006**

ABSTRACT

In this thesis the physics and applications of the synchrotron radiation have been considered. Information on the synchrotron radiation laboratories around the world is given. Main parameters and beam lines of the TAC (Turkic Accelerator Complex) synchrotron radiation source proposal are presented. Application of the synchrotron radiation in semiconductor and solid state physics are clarified.

Science Code : 202.1.149
Key Words : Synchrotron, TAC, Radiation, Semiconductor, Fluorescence
Page Number : 67
Adviser : Prof. Dr. Saleh SULTANSOY

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımnda bana her konuda yardımcı olan değerli hocam Prof. Dr. Saleh SULTANSOY'a ve ayrıca kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Prof. Dr. Ömer YAVAŞ'a, Prof. Dr. K.Abbas ÇİFTÇİ'ye, Prof. Dr. Ergun KASAP'a, Doç. Dr. Şemsettin ALTINDAL'a, Doç. Dr. Eyyup TEL'e sonsuz teşekkürlerimi arz ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. SİNKROTRON IŞINIMI FİZİĞİ VE UYGULAMA ALANLARI	4
2.1. Pozitron Halkasında Sinkrotron Işınımı Üretimi.....	4
2.2. Zigzaglayıcı Magnetler Yardımıyla Sinkrotron Işınımı Üretimi.....	7
2.3. Uygulama Alanları.....	10
3. DÜNYADAKİ DURUM.....	11
3.1. Dünyadaki SI Laboratuvarlarından Bazılarının Tanımı	11
3.2. Dört SI Laboratuvarında Ana Parametreler ve Yapılan	
Uygulamalardan Örnekler	15
3.2.1. HASYLAB (Hamburg Synchrotron Radiation Laboratory,	
Almanya)	15
3.2.2. MAX-LAB (İsveç)	17
3.2.3. SRRC Tayvan ışık kaynağı (TLS)	18
3.2.4. ELSA (Elektron Stretcher and Accelerator,	
Bonn, Almanya).....	19
4. TAC PROJESİ	22

Sayfa

4.1. Tac Projesinde Tasarlanan Demet Hatları Ve Sinkrotron Işınının Ana Parametreleri	22
4.1.1. Demet hatları ve ışınının ana parametreleri	22
4.1.2. Zigzaglayıcı (Wiggler)	22
4.1.3. Salındırıcı (Undulatör)	23
4.1.4. Eğici magnet	24
4.2. TAC Projesinde Magnet Tasarımı	25
4.3. TAC Projesinde Optik Demet Hattının Tasarımı	26
4.4. Sinkrotron Işınım Kaynaklarının Demet Dinamiğine Etkileri	30
4.5. Demet İzleme Teknikleri.....	32
4.5.1. Yüklü bir parçacık tarafından yayımlanan ışınım	33
4.5.2. Demet tanımlaması için cihazlar	34
4.6. CANDLE ve SESAME Işınım Kaynağının Özellikleri TAC'ın Karşılaştırılması.	36
4.7. Önerilen Sinkrotron Işınımı (SI) ve Sinkrotron Halkasının Ana Parametreleri	37
4.7.1. Sinkrotron ışınının ana parametreleri.....	37
4.7.2. Pozitron depolama halkasının demet optiği	42
5. KULLANIM ALANLARI.....	45
5.1. Biyolojik Bilimler	45
5.2. Yarı İletken, Yüzey ve Ara Yüzey Fiziği	46
5.2.1. Sinkrotron ışınımı ile yarı iletken yüzey ve ara yüzey fiziği uygulamaları	47
5.2.2. Yarı iletken yüzey kimyası.....	49
5.2.3. Ara yüzeylerin elektronik yapıları ve bağlama.....	52

	Sayfa
5.2.4. Manyetik çoklu katmanlarda kuantum etkileri.....	57
5.3. Malzeme Bilimi	60
6. SONUÇLAR.....	62
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ.....	67

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. DORIS III ana parametreleri	15
Çizelge 3.2. Asimetrik zigzaglayıcı için parametreler	16
Çizelge 3.3. MAX II de kullanılan deneysel teknikler ve enerji aralıkları	17
Çizelge 3.4. SRRC depolama halkasının parametreleri.....	18
Çizelge 3.5. Enerji akım değerleri	19
Çizelge 4.1. Halkada kullanılacak zigzaglayıcı ve salındırııcılara örnekler	22
Çizelge 4.2. Seçilen eklentilerin depolama halkasına etkisi	31
Çizelge 4.3. Sinkrotron ışımalarının temel parametreleri	37
Çizelge 5.1. Sinkrotron ışınımının kullanım alanları	47

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Üç tip sinkrotron ışınımı kaynağı eğici magnet, zigzaglayıcı magnet (c) salındırıcı magnet.....	4
Şekil 2.2. Sinkrotron ışınımını tanıtmak için kullanılan geometri	7
Şekil 4.1. Zigzaglayıcılar için akı yoğunluğu enerji grafiği	23
Şekil 4.2. Akı yoğunluğunun (foton/s/mrad ² /0.1B.W) enerjiye (eV) göre grafiği	23
Şekil 4.3. Eğici magnetten elde edilecek ışınımın akı yoğunluğu (flux density) ve parlaklık (brilliance) değerlerinin enerjiye göre grafiği	24
Şekil 4.4. Halkada kullanılan bütün magnetler için parlaklığın enerjiye göre grafiği (logaritmik ölçek).....	25
Şekil 4.5. Radia kullanılarak tasarlanmış bir düzlem undulatör	26
Şekil 4.6. Undulatör içerisindeki manyetik alan	26
Şekil 4.7. Wigglerden elde edilen sinkrotron ışınımının deney istasyonuna kadar taşınması	29
Şekil 4.8. (a) kaynak; (b) M1 aynasından ve (c) M2 aynasından sonra elde edilen fotonların enerjiye bağlı dağılımları	29
Şekil 4.9. Undulatör 2 için manyetik alanın demet emitansına etkisi	32
Şekil 4.10. Undulatör 2 için manyetik alanın demetin enerji yayılmasına etkisi	32
Şekil 4.11. SESAME projesinde ışınım kaynaklarından elde edilecek ışınımın parlaklığı	36
Şekil 4.12. K'nın g'ye göre değişimi	38
Şekil 4.13. Gücün g'ye göre değişimi	39
Şekil 4.14. 1 GeV enerjili pozitron halkası için akının foton enerjisine göre değişimi	39

Şekil	Sayfa
Şekil 4.15. 2 GeV enerjili pozitron halkası için akının foton enerjisine göre değişimi.....	40
Şekil 4.16. 1 GeV enerjili pozitron halkası için gücün foton enerjisine göre değişimi.....	40
Şekil 4.17. 2 GeV enerjili pozitron halkası için gücün foton enerjisine göre değişimi.....	41
Şekil 4.18. 2 GeV enerjili pozitron halkası için parlaklığın foton enerjisine göre değişimi	41
Şekil 4.19. Genlik (Betatron) ve dağılım fonksiyonları.....	43
Şekil 5.1. Sinkrotron ışınımı kullanan yüzey spektroskopilerinin şeması, alt tabaka atomları ve soğurulan bir atomun (sağ) potansiyel diyagramı	48
Şekil 5.2. Her bir elementin bağlanma enerjisi ve keskin kor (core) seviyelerinin periyodik tablosu	50
Şekil 5.3. Si(100) yüzeyindeki etil ve metil gruplarının C 2s seviyelerindeki yarılmalar kullanılarak tespit edilmesi	51
Şekil 5.4. Kor (core) seviyesi foto-elektron spektroskopisi kullanılarak SiO ₂ /Si(100) ara yüzeyindeki Si'un oksitlenme durumlarının Çözümlemesi	53
Şekil 5.5. SiO ₂ üzerinde büyütülmüş oksinitrid (oxynitride) filmlerin film kalınlığının Stokiyometri (Stoichiometry) ile tersine çevrilmesi	55
Şekil 5.6. Her bir hacim (bulk) BN örneği ve gömülmüş tek katman BN için BN içindeki B 1s kor (core) seviyesi parıldama Spektrumu.....	56
Şekil 5.7. Magnetik bir alt taş üzerindeki soy metal tabakası üzerindeki kuantum kuyusu durumları	57
Şekil 5.8. Dairesel kutuplu ışıkla kaydedilen Cu ve Co 2p soğurma spektrumu	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
$\text{\AA}$	Angstrom
eV	Elektron Volt
keV	Kilo elektron Volt
MeV	Mega elektron Volt
GeV	Giga elektron Volt
kW	Kilo Watt
mA	Mili Amper
T	Tesla
MHz	Mega Hertz
ns	Nano saniye
ps	Piko saniye
nm	Nano metre
bg	Bant genişliği
Ω	Katı aç
λ	Foton dalgaboyu
c	Işık hızı
γ	Lorentz faktörü
β	Genlik fonksiyonu
L	Zigzaglayıcı'nın boyu
I	Zigzaglayıcı'nın akımı
E	Demetin enerjisi
B	Magnetik alan
ϵ_c	Kritik foton enerjisi
K	Zigzaglayıcı magnetler için kuvvet parametresi

Kısaltmalar**Açıklama**

SI	Sinkrotron Işınımı
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
YEF	Yüksek Enerji Fiziği
YUUP	Yaygınlaştırılmış Ulusal Uluslararası Proje
ALS	Advanced Light Source
LBL	Lawrance Berkeley Laboratuarı
APS	Advanced Photon Source
NSLS	National Synchrotron Light Source
HASYLAB	Hamburg Synchrotron Laboratory
XPS	X-Ray Photoelectron Spectroscopy
XAS	X-Ray Absorption Spectroscopy
EXAFS	Extended X-Ray Absorbtion Fine Structure
ELSA	Elektron Stretcher and Accelerator
LIGA	Lithotgraphy, Galvanoplanting
WCM	Wail Current Monitor
BLM	Beam Loss Monitor
GPT	General Partide Tracer
RF	Radio Frequency
PM	Phase Monitor
SRC	Synchrotron Radiation Center
MOS	Metal Oxide Semiconductor

1. GİRİŞ

Elektronlar veya herhangi diğerk yüklü parçacıklar eğrisel bir yörüngede tutulmak üzere ivmelendirildiklerinde hareket ettikleri yönde dar bir demet şeklinde elektromanyetik ışımaya yaparlar. Bu ışımaya sinkrotron ışınımı denir. Burada “sinkrotron” parçacıkların hızlandırılması için mikrodalga veya radyo frekansı elektrik alanların ve yönlendirilmesi için magnetlerin kullanıldığı tüm dairesel hızlandırıcılara verilen genel isimdir. Her ne kadar dairesel hızlandırıcı deniliyorsa da burada kastedilen yüklü parçacıkların bazen eğrisel bazen de düz bir yörüngede olmak üzere kapalı bir yörüngede kaldığı hızlandırıcı söz konusudur.

Sinkrotron ışınımı yüksek enerji fizikçileri için elektronların enerji kaybına sebep olması ve halkada dönmeye devam edebilmeleri için tekrar hızlandırılmaları gerektiğinden dolayı rahatsızlık kaynağıdır. Çünkü bu durumda yüklü parçacıkların momentumları, manyetik alan ve halkanın arasındaki denge daha çabuk kaybolmaktadır. Parçacıkların hızı ışık hızına yaklaşırken sabit yarıçaplı hızlandırıcı halkasındaki sinkrotron ışınımıyla kaybedilen enerjinin miktarı hızla artar, ($\sim \gamma^4$, burada γ Lorentz faktörüdür). Bunun anlamı ise sinkrotron da depolanan yüksek enerjili parçacıkları depolamak için daha büyük halkaların yapılmasının gerekli olmasıdır ve bu da bir sinkrotron da ulaşılabilcek enerjilere pratik bir limit getirir. Bu limit protonlar için elektronlar için olandan çok farklıdır Bunun sebebi de verilen bir enerjide elektronların gamma faktörü protonunkinden çok daha büyük bir değerdedir ($E = \gamma mc^2$ ve m parçacığın kütlesidir) [1].

Yukarıda anlatılan sakıncalara rağmen yüksek enerji fiziğı (YEF) için kurulmuş olan depolama halkalarında (mesela SLAC teki SPEAR), sinkrotron ışınımı mükemmel bir X-ışını demeti olarak ortaya çıktı ve bundan da başka fizikçi grupları yarıiletken materyallerin yüzey özelliklerinden protein moleküllerin yapısına kadar atomik ve moleküler düzeyde maddenin yapısını

bütün yönleriyle incelemek için araç olarak istifade ettiler. Sinkrotron ışınımını böylesine cazip kılan ve araştırma aracı yapan özellikleri şunlardır.

- Yüksek yoğunluk veya foton akısı
- Uzak kızılötesinden sert X-ışınlarına kadar geniş bir bölgede sürekli bir spektruma sahip olması;
- Küçük bir katı-açıya sahip olması.

Orijinalde bu çalışmalar depolama halkasının YEF kullanımı sırasında mecburen üretilen sinkrotron ışınımını kullanan “parazitsel” yan projeler olarak başladı. Zamanla o kadar çok sinkrotron ışınımını kullanan ilginç araştırmalar geliştirildi ki depolama halkası tümüyle bu araştırmalara ayrıldı. Daha sonra sırf bu amaçla yeni depolama halkaları planlandı ve hayata geçirildi. Sinkrotron ışınımını verimini ve kalitesini arttırmak için “wiggler” (zigzaglayıcı) olarak bilinen özel magnetler geliştirildi ve halkaların düz kısımlarına eklenildi. Elektronlar bu magnetlerin kutupları arasındaki salınımlı magnetik alanı geçerken zigzaglayarak yoğun ışınım üretirler. Daha sonraları başka ara birimler daha tasarlanmış ve sinkrotron ışınım kaynaklarının çeşitli nesilleri üretilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi birinci nesil sinkrotron ışınım kaynağı başlangıçta yüksek enerji fiziği araştırmaları kapsamında üretilmiş olan sinkrotronları ve depolama halkalarının “parazitsel” kullanımını içermektedir. Örnek laboratuvarlar olarak SURF(ABD), DORIS (DESY) ve SPEAR (SLAC) sayılabilir. İkinci nesil halkalar ise başlangıçtan bu yana bu amaçla tasarlanmış, üretilmiş ve kullanılmış olan depolama halkalarıdır. SOR ve SRS bunlara örneklerdir. Üçüncü nesil bu amaçla üretilmiş ve çok daha düşük emitansa sahip demet oluşturabilen ayrıca çok sayıda düz ve uzun kısımlara sahiptir. Bu kısımlara yukarıda izah edilen ekleme (insertion) elemanları konulur ESRF (Fransa) ve BESSY II (Almanya) ise üçüncü nesil sinkrotronlar için verebileceğimiz örneklerdir.

Bilim ve teknolojiadaki önemli gelişmelerin birçoğu SI’nda son derecede yüksek mesafe çözünürlüğünün elde edilmesiyle bağlantılıdır. Bir kaç atom içeren çok küçük miktardaki malzeme ile kimyasal reaksiyonların veya

biyolojik olayların zaman içinde meydana gelmesi reel zamanda takip edilerek incelenebilir.

SI kullanıcıları çok hızlı veri toplama süratine, yüksek zaman çözünürlüğüne ve imkan dahilinde çok küçük deney örneği kullanmaya ihtiyaç duyan çok sayıda olayı çalışırlar.

SI Kaynağından genelde beklenenler:

- Esneklik (değişken dalgaboyu, ayarlanabilir kaynak büyüklüğü vb.),
- Güvenirlik,
- Oldukça yüksek foton yoğunluğu,
- Oldukça yüksek parlaklık ve aydınlık.

Deneylerin çoğunluğunda aydınlık ve parlaklıkla ilgili olarak beklenenler:

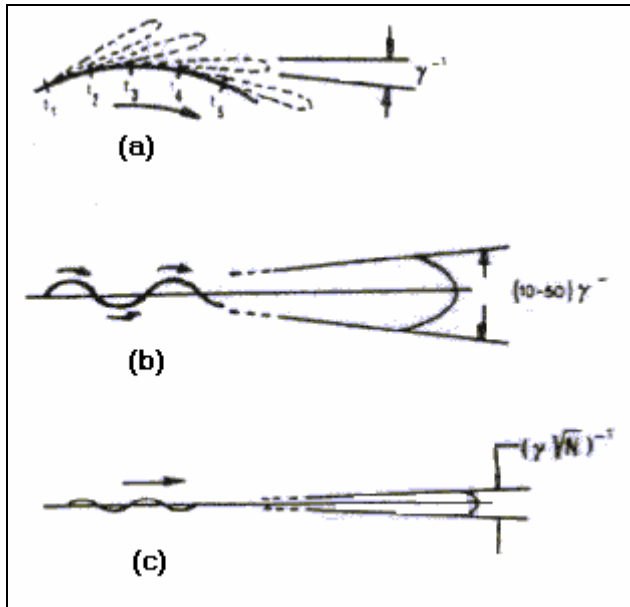
a) Daha az atom içeren örneklerin çalışılması için, herhangi bir zaman aralığında örneğe ulaşan istenen enerji aralığındaki fotonların mümkün olan en büyük sayıda olması,

b) Örneğe ulaşan fotonların mümkün olan en küçük açısal diverjansa sahip olmasıdır. Üçüncü nesil SI kaynaklarının en önemli özelliği spektral parlaklıkla ifade edilebilen foton demet kalitesine artan bir önem verilmesidir. Spektral parlaklık $d^4n/[dtd\Omega ds (\Delta\lambda/\lambda)]$ ile ifade edilebilir: Burada n foton sayısı, t zaman, Ω katı açısı, λ foton dalgaboyu ve s kaynağın enine alanıdır. Yüksek bir spektral parlaklık için gerekli olan koşullar şunlardır: Yüksek foton demet yoğunluğu, dar spektral dağılım ve küçük bir bölgeye odaklanma kolaylığı. Yüksek foton parlaklığı elektron veya pozitron demetinin düşük bir emitansa sahip olmasını gerekli kılar, düşük emitanslı örgüler yapmak için örgülerin dağılımlarının ve yatay β genlik fonksiyonunun eğici magnetlerin olduğu yerlerde küçük olması bir zorunluluktur. Bu şart kuvvetli odaklamalı pozitron optiğini kullanmayı gerektirir.

2. SINKROTRON IŞINIMININ FİZİĞİ

2.1. Pozitron Halkasında Sinkrotron Işınımı Üretimi

Sinkrotron ışınımı (Şekil 1)'de gösterilen eğici magnet, zigzaglayıcı (wiggler) ve salındırıcı (undulator) kullanılarak üç farklı planda elde edilebilir. Eğici magnetlerde (Şekil 2.1.a) elektron dairesel yörünge boyunca hareket eder ve düzgün bir spektrum üretir. Zigzaglayıcıya (Şekil 2.1.b) alternatif kutuplu 2N tane magnetin ard arda dizilişi olarak bakılabilir ilgili sinkrotron ışınımı eğici magnetin sinkrotron ışınımından başka farklılık göstermez. Salındırıcı (Şekil 2.1.c) elektronların enlemesine küçük periyodik salınımlar yaptığı 2N alternatif kutuplu N tane periyodik bir yapıdadır. Salındırıcının herhangi bir noktasından yayılan ışınım yansıyarak girişim yapar ve sonuçta ışınım kesikli bir spektruma sıkıştırılır; ek olarak akımın ışıma yoğunluğu N^2 defa artırılır. Zigzaglayıcıdaki ardışık magnetik alan salındırıcıdan farklı olarak elektronları keskin bir zig-zag hareketi yapmaya zorlayacak şekilde daha şiddetlidir.



Şekil 2.1. Üç tip sinkrotron ışınımı kaynağı (a) eğici magnet, (b) zigzaglayıcı magnet (c) salındırıcı magnet [26].

Bu tanıtıcı kısımda ayrıntıya girmeden eğici kaynaklanan sinkrotron ışınımının karakteristikleri tartışılacaktır [2-6].

Öncelikle P yarıçaplı bir yörüngede dönmeye dönmeye zorlanmış $\beta=v.c$ ışık hızına ve γ Lorentz faktörüne sahip bir elektronun ışıyacağı güç

$$P = \frac{2}{3} \frac{m_0 c^3 r_0}{P^2} (\beta \gamma)^4 \quad (2.1)$$

ile verilir. Burada r elektronun klasik yarıçapı, m kütlesi ve c ışık hızına magnetik birimler ile sonuç aşağıdaki gibi verilebilir.

$$P[\text{GeV/s}] = 4.22 \times 10^3 \frac{E^4 [\text{GeV}]}{P^2 [\text{m}^2]} \quad (2.2)$$

$$P[\text{W}] = 6.76 \times 10^{-4} \frac{E^4 [\text{GeV}]}{P^2 [\text{m}^2]} = 6.08 \times 10^{-10} E^2 [\text{GeV}] B^2 [\text{KG}]. \quad (2.3)$$

Burada E elektronun enerjisi B ise magnetik alan şiddetidir. Ortalama yarıçapı P olan dairesel bir makineden tur başına yayınlanan enerji kaybı

$$U_0 = \frac{2 \pi p}{\beta c} P = \frac{4}{3} \pi \frac{e^2}{P} \beta^3 \gamma^4 \quad (2.4)$$

Veya pratik birimlerde aşağıdaki gibi verilir.

$$U_0[\text{KeV}] = \frac{88.5 E^4 [\text{GeV}]}{P[\text{m}]} \quad (2.5)$$

En basit birim olan bir eğici magnetin sebep olduğu etki ile hareket eden bir elektronun geçişi sırasında gözlemci tarafından birim katı açıda ölçülen birim frekans başına enerjinin en genel ifadesi

$$\frac{d^2 I}{d\Omega d\omega} = \frac{3 e^2}{4 \pi^2 c} \gamma^2 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right) (1 + \gamma^2 \psi^2) \left[K_{2/3}^2(\xi) + \frac{\gamma^2 \psi^2}{1 + \gamma^2 \psi^2} K_{1/3}^2(\xi) \right] \quad (2.6)$$

ile verilir. Burada $\xi = \frac{\omega}{2\omega_c} (1 + \gamma^2 \Psi^2)^{3/2}$, $\omega_c = \frac{3}{2} \frac{\gamma^3 c}{P}$ olarak tanımlanır. $K_m(\xi)$ 3.

çeşit değiştirilmiş Bessel fonksiyonudur. Ψ açısı ise Şekil 2.2 de gösterilmiştir. Eş. 2.6 da $\Psi = 0$ alarak eksen üzerindeki en büyük enerji yoğunluğu $\frac{\omega}{\omega_c}$ ye bağlı olarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\left[\frac{d^2 I}{d\Omega d\omega} \right]_{\Psi=0} = \frac{3e^2}{4\pi^2 c} \gamma^2 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2 K_{2/3}^2 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right) \quad (2.7)$$

birim frekans başına yayılan enerji Eş. 2.7 de. açı üzerinden integral alınarak bulunabilir.

$$\frac{dI}{d\omega} = \sqrt{3} \frac{e^2}{c} \frac{\omega}{\omega_c} \int_{\omega_c}^{\infty} K_{5/3} \left(\frac{\omega'}{\omega_c} \right) d \left(\frac{\omega'}{\omega_c} \right) \quad (2.8)$$

Eş. 2.6 daki enerji ifadesinin demetin birim zamandaki parçacık sayısı ile çarpılması sonucunda kolaylıkla demetin birim katı açıya ışıyacağı birim frekans başına gücü hesaplayabiliriz. Diğer taraftan gücün Plank sabitine oranı bize birim zamanda birim görelî bant genişliğine ışıyan foton sayısını verir. Bu ise foton akısına karşılık gelir. Eğer foton akısını F ile gösterirsek, pratik birimlerde birim katı açıya ışıyan foton akısını birimi foton /s/ 1, 35 bg /mrad² (bg: bant genişliği) olmak üzere,

$$\frac{d^2 F}{d\Omega (d\omega/\omega)} = 1.32 \cdot 10^{13} E^2 [\text{GeV}] \cdot I_b [A] \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} \right)^2 (1 + \gamma^2 \Psi^2) \left[K_{2/3}^2 (\xi) + \frac{\gamma^2 \Psi^2}{1 + \gamma^2 \Psi^2} K_{1/3}^2 (\xi) \right] \quad (2.9)$$

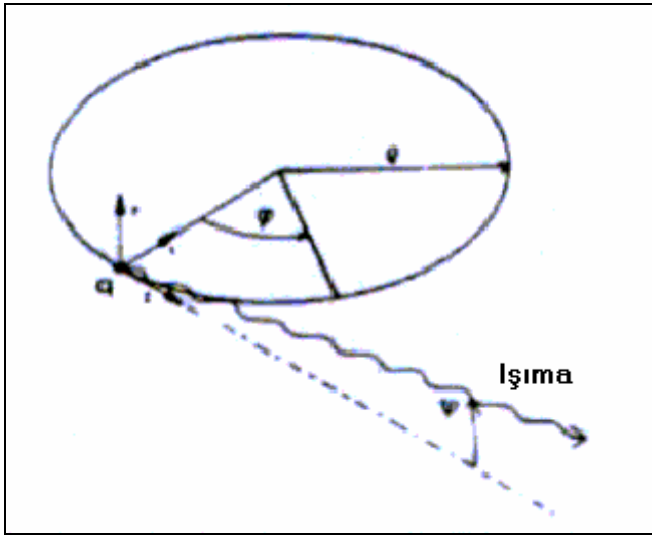
eşitliği yazılabilir. Eş. 2.9' un ($\Psi = 0$ için) dikey açı üzerinden integralinin alınması sonucunda

$$\frac{d^2 F}{d\varpi (d\omega/\omega)} = 2.457 \cdot 10^{13} E [\text{GeV}] \cdot I_b [A] S(\varepsilon/\varepsilon_c) \quad (2.10)$$

elde edilir; bu son eşitlikte

$$S(x) = \frac{9\sqrt{3}}{8\pi} x \int_x^\infty K_{5/3}(x') dx'$$

olarak tanımlıdır ve $\frac{d^2F}{d\varphi(d\omega/\omega)}$ [foton /s/ mrad / (0.1%bg)] birimindedir.



Şekil 2.2. Sinkrotron ışınımını tanıtmak için kullanılan geometri[26].

2.2. Zigzaglayıcı Magnetler Yardımıyla Sinkrotron Işınımı Üretimi

Sinkrotron ışınımını da içeren geniş bir spektrumu içerdiğinden çok geniş uygulama alanlarına sahiptir. Depolama halkası veya daha yaygın ismiyle sinkrotron içerisine yerleştirilecek magnet sistemleri (eğici dipol magnet, dalgaboyu kaydırıcı, zigzaglayıcı ve salındırıcı magnetler gibi) ile çok amaçlı kullanılabilir. Işımanın spektrumunu değiştirmek için sinkrotronun yarıçapını veya dairesel hızlandırıcıda hareket eden pozitronların enerjisini değiştirmek gerekir. Bu ise pratik olmayan bir yaklaşımdır. Özel eğici magnetleri sinkrotronun belirli noktalarına eklenerek kolaylık sağlanabilir ama bununla birlikte dairesel hızlandırıcının geometrisinin bir parçası olan eğici magnetler istenilen foton demeti enerjisini elde etmek için yeterince pratik değildir. istenilen foton demet enerjisini zigzaglayıcı magnetler yardımı ile elde etmek çok daha pratiktir.

Düşük enerjili foton spektrumu, daha çok düşük enerjili elektronların depolama halkalarında üretilse bile X-ışını bölgesi yüksek demet enerjisi ve/veya yüksek magnetik alan gerektirir. Zıt yönelimli magnetik alanlar meydana getiren eşit dipol magnetlerin bir serisinden oluşan magnetlere zigzaglayıcı magnet denir. Kutup sonları, tüm magnet düşünüldüğünde parçacık demetinin yörüngesi üzerine nötral davranmasını sağlayacak şekilde ayarlanır Yani düşey eksen y olmak üzere

$$\int B_y (y=0, z) dz = 0 \text{ olmalıdır.}$$

Foton akısı magnet kutuplarının sayısı ile orantılıdır ve çok sayıda magnet kutbunun kullanılmasıdaki avantaj foton akısını artırmasıdır.. N magnet kutbunun her ve toplam foton akısı tek bir kutbun oluşturduğundan N kat büyük olur. Maksimum foton akısı elde etmek için zigzaglayıcı magnetler sürekli magnet materyallerinden yapılır. Zigzaglayıcı magnetler için kuvvet parametresi K,

$$K = 0.934 B_0 \text{ (Tesla)} \lambda_p \text{ (cm)} \quad (2.11)$$

olarak tanımlanır. Bu kuvvet parametresi zigzaglayıcı için birden büyüktür. $K \approx 1$ veya K birden küçükse bu tür magnetlere salındırıcı (undulatör) denir. λ_p zigzaglayıcının dalga boyudur. B_0 zigzaglayıcı magnetler için orta düzlem aksisi boyunca maksimum alan şiddetidir ve değeri aşağıdaki gibi verilir [3-4].

$$B_0 \approx B M \exp \left[-\frac{g}{\lambda_0} \left(b - c \frac{g}{\lambda_0} \right) \right] \quad (2.12)$$

Bu denklemde g kutuplar arası dikine mesafedir b ve c ise kullanılan magnete özgü sabitlerdir. Zigzaglayıcı magnetten yayılan güç

$$P[\text{kW}] = 0.632 L [\text{m}]. I[\text{A}]. (E [\text{GeV}])^2. (B_0[\text{T}])^2 \quad (2.13)$$

bağıntısı ile verilir. Burada L; zigzaglayıcı'nın boyu, I; akımı, E; demetin enerjisi, B; magnetik alanıdır. Parlaklık veya pik aydınlığı (birilliance) aşağıdaki gibi tanımlıdır.

$$B = \frac{F}{(2\pi)^2 \sum_x \sum_y \sum_x \sum_y} \quad (2.14)$$

bu denklemde ξ indisi x veya y ye karşılık gelmek üzere $\sum_{\xi} = \sqrt{\sigma^2_{\xi}} - \frac{\lambda L}{(4\pi)^2}$,

$\sum_{\xi} = \sqrt{\sigma'^2_{\xi}} + \frac{\lambda}{L}$ şeklinde tanımlıdır. σ_{ξ} ve σ'_{ξ} kaynağın uzamsal k.o.k. genişliği ve açısal k.o.k. genişliğidir. Burada λ ışıyan fotonun dalga boyu ve L zigzaglayıcının boyudur.

Zigzaglayıcı magnetin akı dağılımı N magnetin periyod sayısı olmak üzere eğici magnet için ifade edilen formülün 2N ile çarpılmasıyla elde edilir. Bu ifade aşağıdaki gibidir.

$$\left[\frac{d^2 I}{d\Omega d\omega} \right]_{\psi=0} = 1.325 \cdot 10^{13} \cdot E^2 [\text{GeV}] \cdot I [\text{mA}] \cdot 2N \cdot \left(\frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_c} \right)^2 K_{2/3}^2 \left(\frac{\mathcal{E}}{2\mathcal{E}_c} \right) \quad (2.15)$$

Kritik foton enerjisi aşağıdaki şekilde tanımlanır,

$$\mathcal{E}_c (\text{keV}) = 0.0665 (E [\text{GeV}])^2 B (\text{kG}) \quad (2.16)$$

Yukarıda ki denklemin düşey açı üzerinden integralinin alınmasıyla birim yatay açı başına yayılan akı aşağıdaki gibidir.

$$\frac{dF}{d\Omega(d\omega/\omega)} = 2.458 \cdot 10^{10} \cdot 2 N \cdot I_b [\text{mA}] \cdot E [\text{GeV}] \cdot \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_c} \int_{\mathcal{E}/\mathcal{E}_c}^{\infty} K_{5/3}(\eta) d\eta \quad (2.17)$$

Yukarıda ki bağıntının açıya göre integrali alındığı zaman foton akısı elde edilir. Bazı kaynaklarda hem Eş. 2.15'te hem de Eş. 2.17'de verilen ifadelere foton akısı ismi verilmektedir.

2.3. Uygulama Alanları

Türk Hızlandırıcı Merkezi Charm Fabrikasının pozitron halkasında kurulacak olan sinkrotron ışınım kaynağı 3.56 GeV'lik pozitron enerjisiyle eğici, zigzaglayıcı ve salındırıcı magnetlerin yardımıyla elektromanyetik spektrumu 0.01- 150 keV enerji aralığını kapsayarak hücre, virüs, protein, molekül ve atom seviyelerinde bilimsel araştırmalar yapmaya imkan sağlayacaktır. Bu araştırmalarda, sinkrotron ışınımını güçlü bir araç yapan özellikler onun sürekli spektrumu, yüksek parlaklığı, ayarlanabilirliği ve yüksek kohorentliğidir. Bu özellikler yardımıyla deneyciler mikro-dünyanın doğasını inceleyebilecekler ve molekül ve molekül-altı seviyede endüstriyel uygulamalar için yeni yaklaşımlar geliştirebileceklerdir. Bu kaynağın dalga boyunun geniş bir bölgeyi taraması onun biyoloji, tıp, malzeme ve çevre bilimi, kimya ve metrolojide kullanılmasını sağlamaktadır. Bu alanlarda araştırma yapmak için malzeme örneklerinin ve vaziyetlerinin tam bir tanımlamasının yapılması gerekir.

Projenin sosyo-ekonomik yararları ise başlıklar halinde aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Ar-Ge'de ilerlemeler
- Eğitimde iyileşme
- Beyin göçünün engellenmesi
- Sanayide imalat kapasitesinin artması
- Stratejik konularda araştırmaların yoğunlaşması
- Yüksek teknoloji yatırımlarının ülkeye çekilmesi
- Uluslararası işbirliklerinde ülkenin gücünün artması
- Tıp hizmetlerinin iyileşmesi
- Çevre konularına daha kapsamlı yaklaşmak

Yukarıda belirtilen konulardan görüldüğü gibi bir sinkrotron kaynağının ülkemizde olması elzemdir.

3. DÜNYADAKİ DURUM

Şu anda dünyanın çeşitli yörelerinde farklı amaçlarla kullanılmakta olan çok sayıda sinkrotron ışığı kaynakları vardır. Bunların bir kısmı daha önceden yüksek enerji fiziğinde temel araştırmalar da bulunmak üzere inşa edilmiş olan dairesel hızlandırıcılar çeşitli değişiklikler ile sinkrotron ışığı kaynağına dönüştürülmüştür, bir kısmı ise sırf bu amaçla tasarlanmış laboratuvarlardır.

3.1. Dünyadaki SI Laboratuvarlarından Bazılarının Tanıtımı

Aşağıdaki listede sinkrotron ışınımı laboratuvarlarının en tanınmışları alfabetik olarak sıralanmıştır.

ALS (*LBL, Berkeley, Ca, ABD*) Advanced Light Source (İleri ışık kaynağı) spektrumu ultraviyole ve yumuşak X-ışınları bölgesine dünyanın en parlak ışığını üretir. Dünyanın ilk düşük enerjili üçüncü nesil sinkrotron ışığı kaynağı olan ALS'nin son derece parlak ışığı bilimsel ve teknolojik araştırmalar için geleneksel yöntemlerle mümkün olmayan imkanlar sağlar. Bu merkez Lawrence Berkeley National Laboratuvarının bir yan kuruluşudur [27].

APS (*Şikago, ABD*) Üçüncü nesil bir sinkrotron X-ışını kaynağı olan Argonne ulusal laboratuvarındaki Advanced Photon Source materyal bilimi ve tıp, kimya, fizik, jeoloji ve çevre biliminde temel ve uygulamalı araştırmalar için süper yoğun X-ışını sağlar [27].

BESSY (*Berlin, Almanya*) Bu hızlandırıcı merkezinde ilk sinkrotron ışınımı kaynağı olan Bessy I, VUV ve yumuşak X-ışını bölgesinde sinkrotron ışığı üretmeye adanmış olan 0.8 GeV enerjili bir depolama halkasını işletmekte idi. Bu ışınım kaynağının bugünlerde SESAME adı verilen bir proje kapsamında Ortadoğu bölgesine hizmet vermek üzere güncellemesi de yapılarak Ürdün'e nakledilmesi planlanmıştır Bessy I 'in yerini alan Bessy II 1.7 GeV nominal demet enerjisiyle VUV/XUV bölgede yüksek parlaklıklı bir ışınım kaynağı olarak çalışmaktadır. 1998 yılında çalışmaya başlamıştır. Bu merkezde 150 kullanıcı grubunda yaklaşık 600 araştırmacı çalışmaktadır [27].

CAMD (*Baton Rouge, LA, ABD*) CAMD Louisiana State Üniversitesi tarafından işletilen, katıhal fiziği, yüzey fiziği ve kimyası, fiziksel kimya organik kimya, X-ışını litografisi, X-ışını ile mikro fabrikasyon ve malzeme biliminde araştırmalar yapılan 1.2-1.5 GeV arasındaki enerjide işleyen bir elektron depolama halkalı bir sinkrotron ışığı kaynağıdır [27].

Daresbury (*Daresbury, İngiltere*) Daresbury Laboratuvarındaki sinkrotron ışığı kaynağı SRS İngiltere ve diğer ülkelerden üniversite ve şirket kaynaklı 500'ün üzerindeki kullanıcı grubundan 3000'nin. üzerindeki araştırmacıyı desteklemektedir. Sinkrotron kaynağının elektromanyetik spektrumun X-ışınından kızılötesine kadar olan bölgesini kapsayacak şekilde ayarlanmış 40 deney istasyonu vardır. Burada yapılan çalışmalar astronomi, biyoloji, kimya, çevre, fizik ve çevre bilimlerini kapsamaktadır [27].

DELTA (*Dortmund, Almanya*) DELTA, düşük emitans, yüksek tepe akımı, yüksek parlaklık, 20 metrelik düz kısma sahip olan 1.5 GeV elektron depolama halkasında kurulu bir sinkrotron ışığı kaynağıdır. Yukarıda belirtilen özellikleriyle dördüncü nesil sinkrotron ışınımı tesisinin bir prototipidir. Temelde bu tesis bulunmakta ve hızlandırıcı elemanlarının tasarımı yapıldığı kadar sinkrotron ışınımının üretimi ve uygulamalarında da araştırmalar yapılmaktadır. En önemli uygulama alanlarından birisi de öğrencilerin eğitimidir [27].

ELETTRA (*Trieste, İtalya*) 1993 yılından beri hizmette olan ELETTRA undulator wiggler ve bükme magnetlerin yardımlarıyla 10 eV ile 30 keV enerjisi arasında bir bölgede yüksek aydınlıkta ve 10^{19} foton/s/mm²/mrad²/0.1%bg'ye kadar çıkan bir spektral parlaklığa sahip sinkrotron ışığını 1-2 GeV arasındaki elektron halkasında üretmektedir Diğer üçüncü nesil ışık kaynaklarında olduğu gibi ELETTRA'nın temel karakteristiği dalga boyu ayarlanabilir ve kutuplanmış son derece parlak ışığın üretilmesi dir [27].

ESRF (*Grenoble, Fransa*) Avrupa'da 12 üye ülkenin katkılarıyla kurulmuş olan ESRF bilim dünyasına yüksek parlaklıklı sert X-ışınları sağlamak amacıyla 1988'de kurulmuştur. Depolama halkasında yörüngede kalırken elektronlardan üretilen X-ışınları fizik, kimya, biyoloji, malzeme bilimi, jeofizik, çevre bilimi ve tıp alanlarında kullanılmaktadır [27].

HASYLAB (*DESY, Hamburg, Almanya*) DESY'de yer alan DORIS ve PETRA depolama halkalarındaki pozitronlardan yayımlanan sinkrotron ışınımı 42 demet hattı ile 80 deney istasyonunda temel ve uygulamalı araştırmanın çok değişik kısımlarına hizmet vermektedir. Bu laboratuvarda yapılan ve tamamlanan proje sayısı yılda bin civarındadır. Merkezde üretilen elektromanyetik ışınım spektrumunun görülebilir ışıktan sert X-ışınına kadar karşılık gelen 1 eV ile 300 keV enerji bölgesini kapsamaktadır [27].

LNLS (*Campinas, Brezilya*) 1.35 ve 2 GeV'lik enerjili elektron depolama halkalarında kurulu olan sinkrotron ışınımı kaynağıdır [27].

MAXLab (*Lund, İsveç*) MAXLab İsveç sinkrotron ışınımını ve yüksek enerjili elektronları kullanan araştırmalarda ve hızlandırıcı fiziğindeki araştırmalarda bulunmak için kurulmuş ulusal bir merkezdir. Bu merkezde 500 MeV'lik bir elektron depolama halkası ile yeni 1.5 GeV'lik üçüncü nesil depolama halkası kullanılmaktadır [27].

NSLS (*BNL, Brookhaven, NY ABD*) Ulusal sinkrotron ışık kaynağı sinkrotron üretmek için iki elektron depolama halkasını işletir: 800 MeV elektron enerjisinde işletilen VUV (vakum mor ötesi) halka 10 eV ile 1 keV arasındaki enerjilerdeki ışığın üretiminde ve 2.5 GeV'lik X-ışını halkası ise 1 keV ile 20 keV arasındaki enerjilerdeki ışınımın üretimi için tasarlanmıştır. Ayrıca kızılötesi ışık, 100 keV'i geçen sert X-ışınları ve 200-400 MeV arasındaki gamma ışınları üreten özel deney istasyonları da vardır [27].

KEK Foton Fabrikası (*Japonya*) Bir lineer hızlandırıcı ve depolama halkasından bir tesistir. Lineer hızlandırıcı elektron veya pozitronları 2.5

GeV'lik enerjiye hızlandırır ve depolama halkasına gönderir. Burada dairesel yörünge boyunca elektronlar veya pozitronlar ışıma yaparlar [27].

SLS (*PSI, İsviçre*) 2.1 GeV enerjili bir elektron depolama halkasında kurulu olan bir sinkrotron kaynağıdır [27].

SRRC (*Hsinchu, Tayvan*) 2-2.5 GeV enerjili bir elektron depolama halkasında kurulu olan bir sinkrotron ışıını kaynağıdır [27].

SSRL (*Stanford, ABD*) 3.2 GeV'lik bir depolama halkası olan SPEAR'da kurulmuş olan SSRL, VUV ve X-ışınlarını da içeren 5-45,000 eV'lik bir spektrumda yüksek vasıflı elektromanyetik ışıma üretmektedir. Bu merkezde zigzaglayıcı ve salındırıcı magnetlerden geniş olarak faydalanılmaktadır [27].

SURF III (*Gaithersburg, MD ABD*) Amerika Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsünde (*NIST*) işletilmekte olan SURF III, yarıçapı 84 cm olan MeV'lik elektron depolama halkası ile enjeksiyon için kullanılan 10 MeV'lik mikrotrondan oluşmaktadır. Kızılötesinden yumuşak X-ışınlarına kadar olan spektrumda sinkrotron ışıını üretmektedir Bu merkezde daha ziyade radyometre. atomik moleküler, biyomoleküler ve katıhal fiziği, yüzey ve materyal bilimi, elektro-optik ve yüzey kimyası ile radyasyonun maddeye etkisi çalışılmaktadır [27].

UW Sinkrotron Işıını Merkezi SRC (*Stoughton, WI. ABD*) 1 GeV'lik elektron depolama halkasından üretilmiş olan yüksek vasıflı VUV ve yumuşak X-ışınları operasyonda olan 28 deney istasyonunda kullanılmaktadır. Bu merkez araştırmalarda son derece başarılı olmuş ve işleme açılışından itibaren 2500'ün üzerinde bilimsel yayına alt yapı oluşturmuştur. Yarıçapı 141 metre dir [27].

3.2. Dört SI Laboratuvarlarında Ana Parametreler ve Yapılan Uygulamalardan örnekler

3.2.1. HASYLAB (*Hamburg Synchrotron Radiation Laboratory, Almanya*)

Dünyadaki sinkrotron ışınımı laboratuvarları arasında önemli yer tutan HASYLAB'ın 42 demet hattı ile 80 deney istasyonunda ortalama 1700'e yakın araştırmacı çalışmaktadır. DESY'de kurulmuş olan DORIS III ve PETRA II adlı depolama halkalarından pozitronların kullanılması ile elde edilen sinkrotron ışınımı fizik, kimya, biyoloji, kristalografi, tıp gibi alanlarda birçok temel ve uygulamalı araştırmalarda kullanılır. Elektromagnetik ışınımın spektrumu görülebilir bölgeden sert X-ışını bölgesine, enerji bölgesi ise 1 eV' den 300 keV'e kadar uzanır. DORIS III depolama halkasının ana parametreleri (Çizelge 3.1)'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. DORIS III ana parametreleri

Pozitron enerjisi (GeV)	4.45
Pozitron demet akımı (mA)	120
Çevre (m)	289.2
Yatay pozitron demet emitansı (mrad)	0.404
Bağlaşım faktörü (%)	3
Düşey pozitron demet emitansı (mrad)	0.12
Eğici magnetlerin eğrilik yarıçapı	12.1849
Eğici magnetten çıkan kritik foton enerjisi (keV)	16.04
Demetteki paketçik sayısı	1 (test için), 2 ve 5
Pozitron demet enerjisi dağılımı (mis)	0.11 %
Eğici magnetlerin magnetik alanı (Tesla)	1.2182

DORIS III'te ışınım elde edebilmek için bir kaç tür zigzaglayıcı ve salındırıcı kullanılır Bunlar simetrik yapılı, asimetrik yapılı, hibrid yapılı olmak üzere

çeşitlidir. Örnek olarak BW1 isimli asimetrik zigzaglayıcı magnet için parametreler (Çizelge 3.2)'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Asimetrik zigzaglayıcı için parametreler

Periyod uzunluğu (mm)	240
Periyod sayısı	10
Toplam uzunluk (m)	2.4
Max. magnetik alan (T)	0.8
Kritik enerji (keV)	10.8
Min. gap (mm)	34

HASYLAB da yapılan çalışmalara örnek olarak atomların üç boyutlu temsillerini oldukça iyi tasvir eden X-ışını holografisini özet olarak veriyoruz.

X- Işını Holografisi

Bugün, herkes optiksel hologramın kullanıldığı ürünlerle günlük hayatında karşılaşmaktadır. Hologramlar banka kartlarını ve kağıt paraları taklit edilmeye karşı korurlar. Bu hologramlar için uzaysal bilgi genellikle lazer ışığıyla kaydedilir. Bu olay lazer demetinin iki parçaya ayırarak gerçekleştirilir. Bir demet nesneyi aydınlatırken diğer demet ise doğrudan hologram levhası üzerine düşer. İki demet levha üzerinde karışır. Levhada lazer ışığı dalgaları donmuş hologram formunda olan anlık girişim kalıpları oluşturur. Hologram aydınlatıldığında nesnenin üç boyutlu resmi uzayda görünür.

Üç boyutlu olarak atomik yapıları betimlemek için uzmanlar X-ışınının bir kristaldeki atomlardan saçılmasını kutlanırlar. X-ışını holografisini kullanarak DESY' nin HASYLAB' ındaki uzmanlar üç boyutlu kristalin yapısına daha detaylı bakabilmişlerdir. ince ölçüm teknikleri ve matematiksel metotlar bir kristaldeki çeşitli atomların yerlerini doğrudan belirlemeyi mümkün kılar. Bu sebep ile de hangi atomun ileride, hangi atomun geride olduğunu görmek (kestirmek) mümkün olur. Diğer bir deyişle atomik çözünürlüklü üç boyutlu bir resim oluşturulur.

3.2.2. MAX-LAB (İsveç)

MAX Laboratuvarı hızlandırıcı ve yüksek enerji fiziği ile sinkrotron ışınımının kullanımı ile ilgili araştırmalar yapmak için kurulmuş İsveç Uluslararası Araştırma Laboratuvarlarından biridir. Kompleks 500 MeV'lik mikrotron enjektör, elektron depolama halkası MAX I ve yeni 1.5 GeV'lik üçüncü nesil depolama halkası MAX II den oluşur.

500 MeV'lik MAX I depolama halkasında sekiz adet sinkrotron ışınımı demet hattı vardır. Deneyler tekli ve çoklu paketçik modlarının her ikisi de kullanılarak yapılır. Sinkrotron ışınımı temel araştırmalar dahil olmak üzere, yüzey bitimi, yarıiletken fiziği, malzeme bilimi, atom ve molekül fiziği, kimya, biyoloji ve tıp dallarında yapılmaktadır. Kullanılan teknikler arasında elektron spektroskopisi, iyon kütle spektroskopisi, X- ışını floresansı, kızılötesi spektroskopisi vardır. MAX II halkasında bir adet süper iletken zigzaglayıcı magnet ve bir kaç tane farklı parametrelili (permanent) kalıcı magnetli hibrid salındırıcı kullanılmıştır. MAX II'de kullanılan deneysel teknikler ve enerjiye veya dalga boyuna göre aralığı aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.3. MAX II'de kullanılan deneysel teknikler ve enerji aralıkları

XPS;XAS; Spektromikroskopi	30 — 1500 eV
Eş zamanlı spektroskopisi	50 — 1500 eV
XPS;XAS	100 —1500 eV
Kristalografi, Toz kırınımı	0.8 — 1.6 keV
Yüzey kırınımı, EXAFS: X-ışını litografisi	2 — 10 keV
Derin X-ışını litografisi	1 — 9 keV
Dairesel dikroizm, XPS, XAS	20 — 1500 keV

İki ayrı yönden bakıldığı zaman iki ayrı renk aksettirme

XPS: X-Ray Photoelectron Spectroscopy : X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi

XAS: X-Ray Absorption Spectroscopy : X- Işını Soğurma Spektroskopisi

EXAFS: Extended X-Ray Absorbption Fine Structure : Uzatılmış X-Işını Emme Yapısı

3.2.3. SRRC Tayvan ışık kaynağı (TLS)

Tayvan’da bulunan hızlandırıcı kompleksi 1.3 GeV’lik enjektör ve 1.5 GeV’lik elektron depolama halkası oluşur. Enjektörde 50 MeV’lik bir ön linak, 1.3 GeV’lik booster sinkrotron ve lineer (*enerji öteleyici*) ile depolama halkası arasında 70 metre uzunluğundaki iletim hattı vardır. Depolama halkasının parametreleri (Çizelge 3.4)’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. SRRC depolama halkasının parametreleri

MeV Enerji (GeV)	1.5
MeV demet akımı, çok demetçik (mA)	240
MeV demet akımı, tek demetçik (mA)	25
Demet ömrü (1.5 GeV, 200 mA) (saat)	<9
Çevre(m)	120
Darwet periyod (ns)	400
Periyod sayısı	6
Örgü sayısı	Triple bend achromat
RF Frekansı (MHz)	499.654
Harmonik sayısı	200
Eğri yarıçap (m)	3.495
Denecik uzunluğu (ps)	25
İNJEKTÖR	
İnjesyon enerjisi (GeV)	1.3
Bansarın çevresi (m)	72

Bu merkezde yapılan araştırmalar beş grupta toplanmıştır. Bu gruplar ve çalıştıkları konular aşağıda vermiştir.

1. Yoğun madde izni spektroskopisi grubu

- Taramalı fotoemisyon spektroskopisi
- Si(001) 2X1 yüzey üzerine fotoemisyon çalışması
- Katı-sıvı reaksiyonunun yüzey çalışması

- Yüzey kimyası ile sinkrotron ışınımı

2. Magnetizm ve fermioloji grubu:

- Aşırı yüksek çözünür fotoemisyon spektroskopisi
- Polarize spinli fotoemisyon spektroskopisi
- Yumuşak X-ışını magnetik dairesel dikroizm

3. Atomik ve moleküler spektroskopi grubu:

- Propy'nin foto abzorbsiyonu ve foto iyonizasyonu
- CH₃SSCH₃ ve C₃H₄ foto iyonizasyon çalışması

4. X-ışını araştırma grubu:

- Zigzaglayıcı demet hattı
- Katalizör araştırmaları

5. Endüstriyel uygulamalar grubu:

- Mikromakinelerin tasarımı ve üretimi

3.2.4. ELSA (*Elektron Stretcher and Accelerator, Bonn, Almanya*)

ELSA, Stretcher (demetçik uzunluğunu genişletici), hızlandırıcı (post accelerator) ve sinkrotron ışınım kaynağı olarak üç farklı modda çalıştırılabilir bir yapıya sahiptir. Bu modlardaki enerji ve akım değerleri (Çizelge 3.5)'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Enerji akım değerleri

	Enerji	Akım
1.mod	0.5—1.6 GeV	2—10 mA
2.mod	1.2—3.5 GeV	15—80 mA

ELSA halkasının çapı 52.3 m dir ve hızlandırmak için elektronlar kullanılır Benzer merkezlerde atmalı elektron demeti kullanılmasının tersine sürekli elektron demeti kullanmak ELSA' nın esas hedefidir. Mevcut 2.5 GeV'lik sinkrotron ringi, ek olarak yapılan halka benzeri sinkrotron (*Stretcher*) için 1.6 GeV'e kadar olan enerjilerde bir enerji öteleyici olarak kullanılır. Bu değere kadar olan enerjiler için tam olarak Stretcher mod uygulanabilir. Stretcher halkasındaki tüm magnetlerin magnetik alanı sabit tutulur. Demetçik uzunluğunu genişletici sinkrotron halkası fikri diğer sürekli demet kullanılan hızlandırıcılardan yapımı oldukça ucuz olduğundan önemlidir. Bu merkezde yapılan araştırmalara örnek olarak mikrofabrikasyon araştırması verilmiştir.

Mikrofabrikasyon araştırması

Mikrofabrikasyon araştırma bölümünün ana görevi LIGA işlemini oluşturarak iyileştirmek, böylece endüstriyel rekabeti arttırmaktır. Bunun için bilim adamları materyallerle ilgili temel işlemlerin daha iyi anlaşılabilmesi için soğurma floresans ve elektron spektroskopisi, kütle spektroskopisi ve jel yayılım kromatografisi (*gel permeation chromatography-toz halindeki katıların yüzey soğurma özelliğine dayanarak ayırma yöntemi*) gibi yöntemleri kullanmaktadır.

İsmi, X - ışını derin litografi, madeni kaplama ve plastik döküm anlamına gelen (*Lithography, Galvanoplasting and plastic moulding*) kelimelerinin baş harflerinden gelmektedir LIGA işlemleri mikro elektronik amaçlı yapılan ince film litografisinde olduğu kadar mikro-mekanik ve mikro-optik alanlarında da yüksek bir potansiyele sahiptir. Süreç 80'lerin başında Karlsruhe Araştırma Merkezi (FZK) tarafından oluşturulmuştur.

Mikro mekanik ürünlerin ilaç yapımı, havacılık ve bilgisayar tasarımı gibi değişik sektörlerde çok sayıda pratik uygulama alanı vardır. İlaç sektöründe, cildin altına yerleştirilen sürekli kontrol edebilen mikro pompalar yapılmaktadır. Bunun yanında mikro mekanikler teşhisle beraber ülser, hasarlı ligamentler (*bağ, çoğu eklemlerde bulunan ve kemik uçlarını birbirine*

bağlayan tel demeti) ve polipler gibi oldukça kompleks cerrahi ameliyatlara yapabilen daha küçük ve daha iyi endoskopların yapımını sağlamaktadır.

Havacılık, minyatürizasyon yapan bir başka sektördür. Uçaklarda ve arabalardaki hava yastıklarını içeren aygıtlar yine LIGA ürünleridir.

Son olarak bilgisayar dalında, yakın gelecekte kişisel bilgisayarların boyutlarını önemli ölçüde küçültecek iki uygulama var. Birincisi mikro birleştiricilerdir. Aslında silikon kaplama çipin boyutu, makroskopik birleştiricilere sağlayan, tamamen mekanik rehberli, LIGA mikro birleştiricileri oluşturuldu. Bunun yanında daha fazla data saklayan hard diskler üretildi.

4. TAC PROJESİ

4.1. Tac Projesinde Tasarlanan Demet Hatları ve Sinkrotron Işınının Ana Parametreleri

4.1.1. Demet hatları ve ışınının ana parametreleri

Depolama halkası tasarlanırken 3. nesil sinkrotron ışınımı kaynağı olarak çalışabilmesi hedeflenmiştir. Tasarlanan örgüde toplam 12 adet magnetsiz bölge vardır. Bunlardan bir iki adetinin rf kaviteleri için kullanılacağı düşünülür ise sinkrotron ışınımı kaynağı olarak kullanılacak aletler ile 10 adet demet hattı tasarlanabilir. Depolama halkasında bulunan 32 adet eğici magnet ile de sinkrotron ışınımı elde edilebilir. SPEKTRA simülasyon programı kullanılarak, kullanılabilecek zigzaglayıcı ve salındırıcıların tasarımı için bir ön çalışma yapılmıştır. Kullanılacak örnek zigzaglayıcı ve salındırıcıların ayrıntılı parametreleri (Çizelge 4.1)'de verilmiştir. Burada kullanılan eklentiler kalıcı magnetten NdFe yapılmıştır. Akı ve parlaklık gibi bazı önemli ışınım parametrelerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Eğici magnetten elde edilecek sinkrotron ışınımının özellikleri yine aynı program kullanılarak belirlenmiştir.

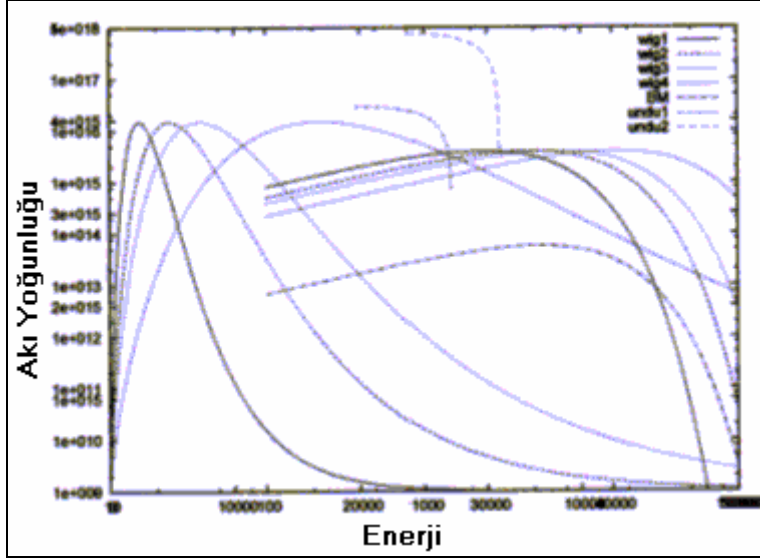
Çizelge 4.1. Halkada kullanılacak zigzaglayıcı ve salındırıcılara örnekler

Işınım kaynağı	Wiggler	Undulatör1	Undulatör2
Periyot uzunluğu (m)	0.10	0.08	0.04
Periyot sayısı	35	43	100
Manyetik alan (T)	0.85	0.16	0.32
K değeri	8	1.2	1.2
Gap yüksekliği (mm)	31	90	94

4.1.2. Zigzaglayıcı (*Wiggler*)

Zigzaglayıcılar tasarlanırken depolama halkasının parametreleri ve magnetsiz bölgelerin uzunluğu dikkate alınarak mümkün olduğunca yüksek akı yoğunluğu ve geniş bir spektrum elde edilmeye çalışılmıştır ve bu da

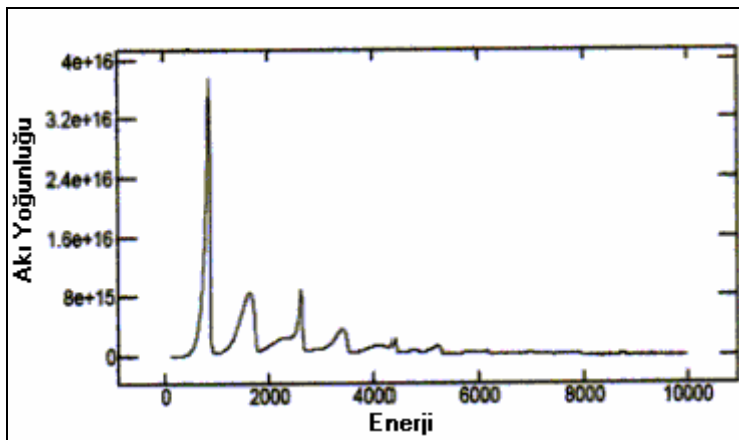
sağlanmıştır. (Şekil 4.1) değişik parametrelere sahip 4 zigzaglayıcı için elde edilen akı yoğunluğu-enerji grafiğini göstermektedir. Zigzaglayıcı 1,2,3,4 sırasıyla $K=4, 8, 12, 24$ ve hepsi için Periyot uzunluğu 10 cm, toplam uzunluk $=3.5$ m olarak alınmıştır.



Şekil 4.1. Zigzaglayıcılar için akı yoğunluğu enerji grafiği [26].

4.1.3. Salındırıcı (Undulatör)

Undulatör 1'in $K=1.2$ için akı yoğunluğunun enerjiye göre değişimi (Şekil 4.2)'deki gibidir.

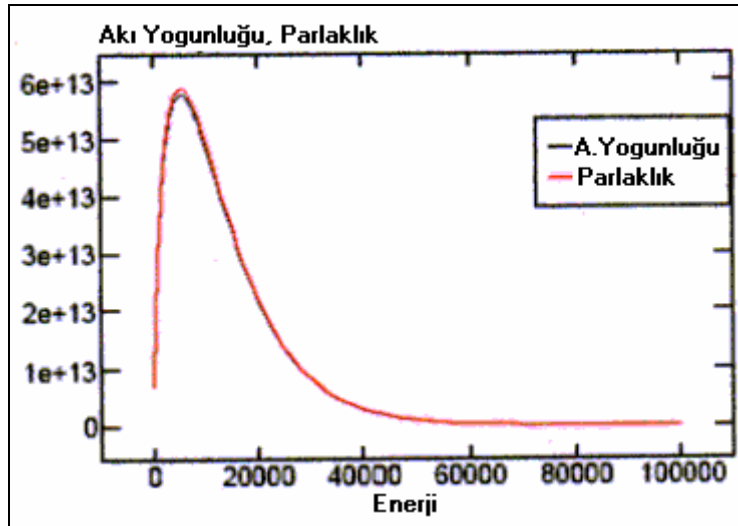


Şekil 4.2. Akı yoğunluğunun (foton/s/mrad²/0.1B.W) enerjiye (eV) göre grafiği [26].

4.1.4. Eğici magnet

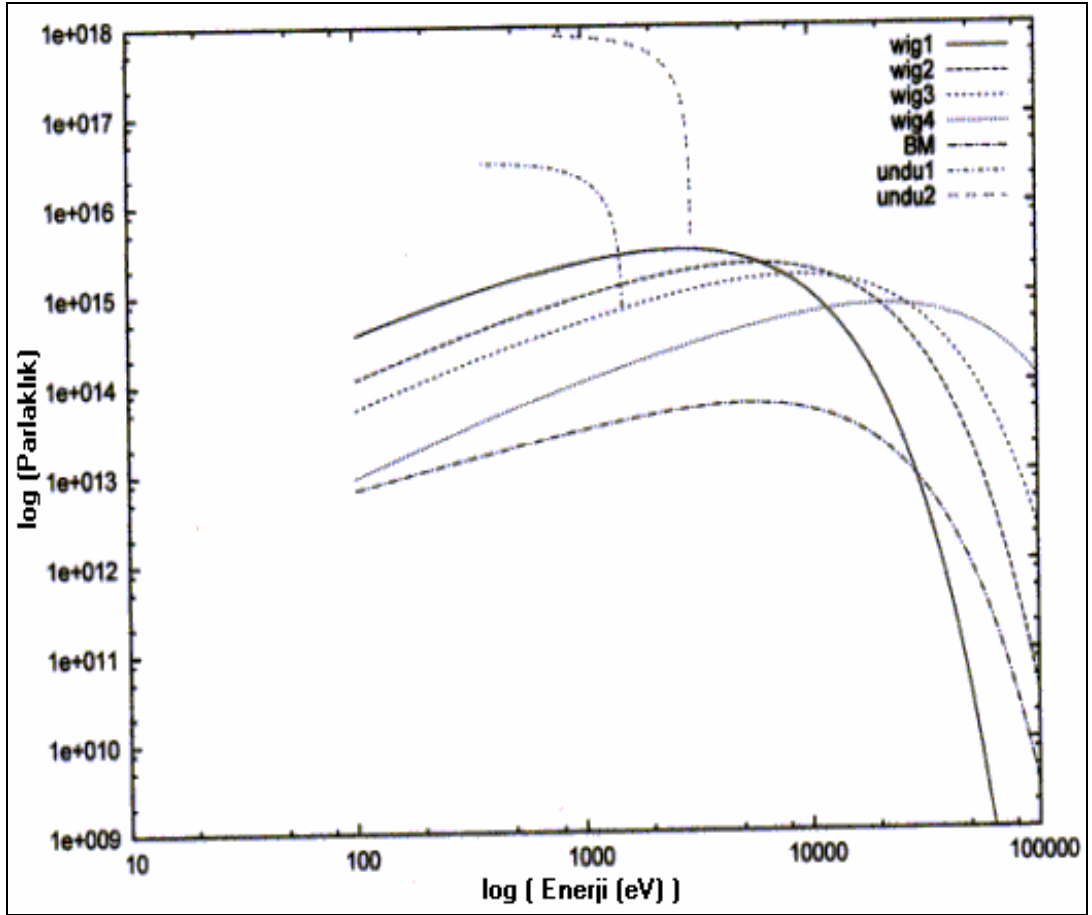
Aşağıda depolama halkasında kullanılan eğici magnetten elde edilecek ışınımın akı yoğunluğunun ve parlaklığının foton enerjisine göre grafiği verilmiştir. Sadece depolama halkasının parametreleri ile ilişkili olması sebebi ile eğici magnetten elde edilecek ışınımın akı ve parlaklık değerleri değişmez kalacaktır.

Halkanın tasarımında kullanılan eğici magnetin eğrilik yarıçapı 12.22 m ve manyetik alanı 0.972 T dır. Bu magnetin üreteceği ışınımın spektrumu (Şekil 4.2)'da verilmiştir. Örgüde eğici magnetin bulunduğu noktada dispersiyon 0.8, betax 4 m ve betay 30 m'dir.



Şekil 4.3. Eğici magnetten elde edilecek ışınımın akı yoğunluğu (flux density) ve parlaklık (brilliance) değerlerinin enerjiye göre grafiği [26].

Yukarıda incelenen tipteki magnet ve eklentilerin tasarlanan tiplerinin tamamının spektrumu logaritmik grafikte (Şekil 4.3)'de verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi bu eklentiler ile elektromanyetik spektrumunun önemli bir kısmının kapsanması bu depolama halkasında mümkündür.

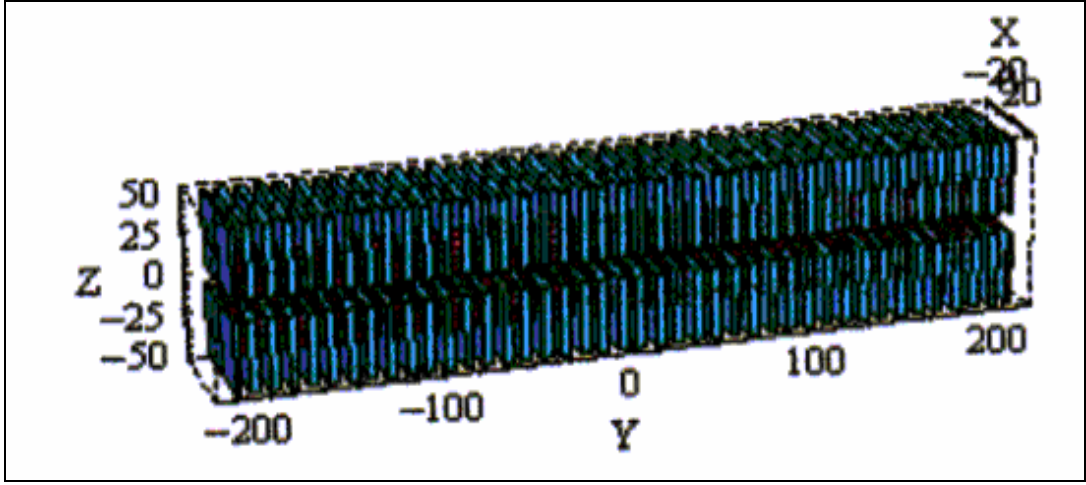


Şekil 4.4. Halkada kullanılan bütün magnetler için parlaklığın enerjiye göre grafiği (logaritmik ölçek) [26].

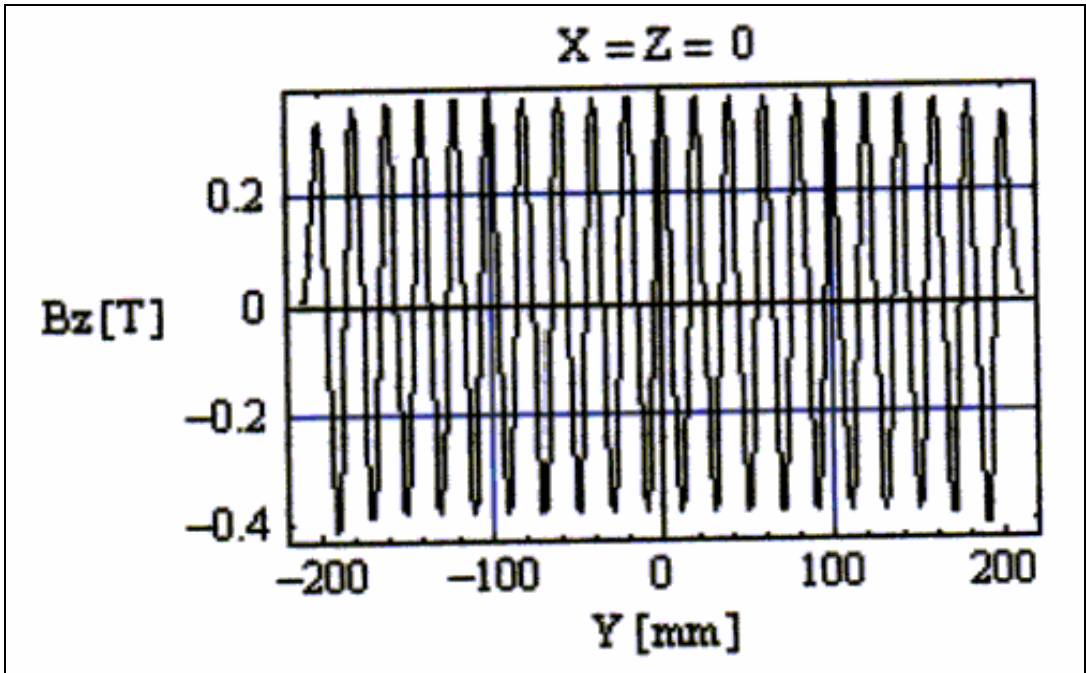
4.2. TAC Projesinde Magnet Tasarımı

Radia simülasyon programı kullanılarak magnet tasarım üzerine çalışmalar yapılmıştır. (Şekil 4.5)'de NdFe_2 den yapılmış gap genişliği 10 cm olan ve 3.5 m uzunluğundaki bir hibrid undulatör tasarımı görülmektedir.

Undulatörün içerisinde oluşacak manyetik alan (Şekil 4.6)'da gösterilmiştir. Burada tasarlanmış salıncıcının fiziksel boyutları 3,5 m boy, 1 m yükseklik ve 40 cm derinlik olarak hesaplanmıştır [26].



Şekil 4.5. Radia kullanılarak tasarlanmış bir düzlem undulatör.



Şekil 4.6. Undulatör içerisindeki manyetik alan [26].

4.3. TAC Projesinde Optik Demet Hattının Tasarımı

Optik demet hattının fonksiyonu sinkrotron ışınımının geniş spektrumunu deneylerin gerektirdiği foton enerjilerine göre dar aralıklara ayırmaktır. Bu ise filtreler ve aynalar yardımıyla olur. Filtre eden en önemli aygıtlar

tekkromatörlerdir. Deney istasyonuna kadar olan demet hattının diğer elemanları vakum sistemleri, pencereler, deney ve kontrol odalarıdır

(Şekil 4.7). Bilindiği gibi gazlar, sıvalar ve katılar, morötesi ve x-ışınları bölgesindeki elektromanyetik ışımayı soğururlar. Morötesi/yumuşak x-ışınları bölgesi ile sert x ışınları bölgesi bu bakımdan farklılıklar gösterir. Öyle ki, birinci spektrum bölgesinde gazlar ve katılar kuvvetli bir şekilde soğurulur ve fotonların yolu boyunca demet hattından geriye hiçbir şey kalmaz; ikinci spektrum bölgesinde ise fotonlar gazlar içerisinde metrelerce ilerleyebilir. Dolayısıyla morötesi/yumuşak x-ışınları bölgesi demet hatları vakumda tutulmalıdır, sert x-ışınları bölgesinde ise gazla (tipik olarak helyum) doldurulabilir.

Optik demet hattında yer alan düzlem aynalar foton demetini yansıtmak ve yüksek foton enerjisini kesmek (cutoff), (küresel ve küresel olmayan) eğri aynalar ise odaklama yapmak, kaynağı büyütmek veya küçültmek için kullanılır. Örneğin tekkromatörün giriş deliğinde foton yoğunluğunu artıracak şekilde odaklama yapmak gerekir. Morötesi ve yumuşak x ışınlarnı elde etmek için ızgara (grating) tekkromatörler, sert x-ışınları için kristal tekkromatörler kullanılır.

Yansıtmada kullanılan optik elemanların tasarımı malzemelerin morötesi x-ışınları bölgesindeki yansıtma özellikleri göz önüne alınarak yapılmalıdır. Kural olarak, eğer derece cinsinden sıyırma açısı ($\text{\AA}$) Angstrom cinsinden verilmiş dalga boyunun onda birinden daha olur. Morötesi x-ışınları bölgesinde x-ışınımı iki kısma ayrılabilir; enerjisi 30 eV'dan küçük olan kısım için normal-geliş optiğı ($\theta \geq 30^\circ$) kullanılır; enerjisi 30 eV'dan büyük olan kısımda ise sıyırarak geliş optiğı kullanılır. Sıyırma açısı $\theta = n \cdot \lambda$ -geliş açısı şeklinde bulunur. Örneğin 20 eV enerjili fotonlar için sıyırma açısı 62° 'den küçük olmalıdır.

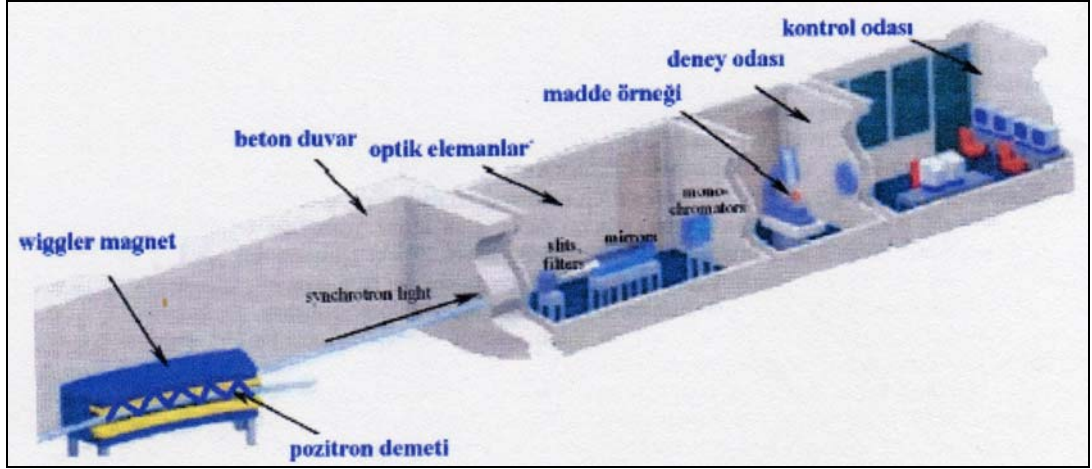
Sinkrotron ışınımı optik demet hattında kullanılan aynaların yapımında en çok kullanılan malzemeler silisyum karpit ve float camdır. Sık kullanılan diğer malzemeler elektroliz nikel, bakır, berilyum ve silisyumdur.

Burada optik demet hattı XOP'nin bir alt programı olan "SHADOW" simülasyon programı kullanılarak tasarlanmıştır. İlgilenilen enerji bölgesi düşük enerjili sinkrotron ışınımı spektrumuna karşılık geldiği için optik demet hattının vakumda tutulması gerekmektedir. Ayrıca sert x-ışınları bölgesinden farklı olarak burada Be penceresi kullanılamaz, çünkü düşük enerjilerde Be elementi demetteki fotonların tamamını soğurur.

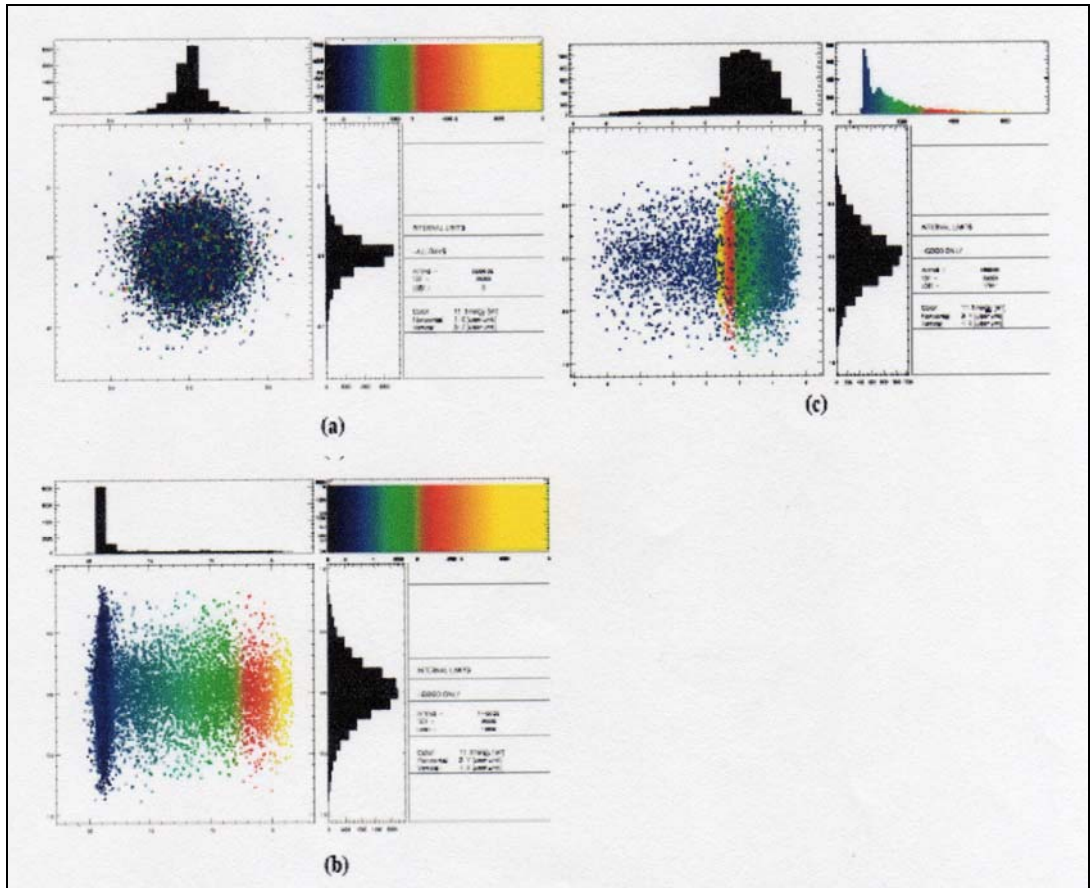
Wiggler-1 magnetten (kaynak) elde edilen fotonlar sırasıyla M1 aynasından, g1, g2 ızgara tekkromatörlerinden ve M2 aynasından yansıtılır. Burada M1 ve M2 aynaları SiC'den yapılmış olup silindirik yapıya sahiptir. Kaynaktan çıkan fotonlar önce M1 aynasıyla odaklanarak g1 ve g2 ızgara tekkromatörlerine yansıtılır. Tekkromatörlerden çıktığı zaman ışınım foton enerjilerine göre spektruma ayrılmış olur. Bu ışınım M2 aynasıyla tekrar odaklanır (Şekil 4.8.). Gereken enerji bölgesindeki fotonlar çıkışa dar bir yarık konularak ayrılır ve deney istasyonuna gönderilir.

100-1000 eV aralığındaki fotonlar vakum morötesinden yumuşak X-ışınlarına kadar olan spektrum bölgesine düşmektedir. Bunlar ise radyografide, madde üzerindeki radyasyon tahribatının incelenmesinde ve foto-elektron spektroskopisinde kullanılabilir.

Son olarak da enerjileri 1000-7000 eV aralığında olan fotonlar vakum morötesinden başlayarak yumuşak x-ışınlarını da içeren geniş spektrum bölgesine sahip olup akışkan yüzeylerde kompleks biyomoleküllerin yapısının belirlenmesinde, polimerlerin yapısının çözülmesinde, iz elementlerin analizinde, X-ışını optiği floresansı ve litografisinde, malzeme biliminde ve başka birçok alanda kullanılabilir.



Şekil 4.7. Wigglerden elde edilen sinkrotron ışınının deney istasyonuna kadar taşınması [26].



4.4. Sinkrotron Işınım Kaynaklarının Demet Dinamiğine Etkileri

Sinkrotron ışınımı kaynakları içerisinde demet geçerken bir salınım hareketi yapar. Bu salınım hareketi sırasında doğal olarak ışıma yapar ki zaten ışınım kaynaklarının amacı da bu ışınımı elde etmektir. Demet içerisinde parçacıklar ışınım yaptıklarında enerjilerinin bir kısmını kaybederler. Bu da gerek demetin enerji yayılmasında gerekse demetin emitansında değişiklik meydana getirir. Bu etkilerin büyüklüğü hem kullanılan ışınım kaynağının özellikleri hem de depolama halkasının bu etkilerin tespit edilmesi önemlidir. Örneğin bir undulatörde meydana gelebilecek enerji yayılmasındaki artış başka bir undulatör tarafından telafi edilebilir.

Depolama halkalarında ışınım aleti kullanılmadığı durumda demet emitansı ve enerji yayılımı aşağıdaki ifadeler ile verilir.

$$\varepsilon_{\xi 0} = \gamma^5 \frac{I_{\xi 5}}{2^{1/2} - I_{\xi 4}} \quad \sigma_{\varepsilon 0}^2 = \gamma^2 \frac{I_{\xi 3}}{2^{1/2} + I_{\xi 4}} \quad (4.3)$$

Burada $C_q = 3.84 \cdot 10^{-13}$ m ve I_k' lar sinkrotron integralleridir. Işınım aleti kullanıldığı durumda ise

$$\varepsilon_{\xi} = \varepsilon_{\xi 0} \frac{1 + \frac{I_{\xi 5}}{10}}{1 + \frac{I_{\xi 3}}{2} - \frac{I_{\xi 4}}{4}} \quad (4.4)$$

$$\sigma_{\varepsilon}^2 = \sigma_{\varepsilon 0}^2 \frac{1 + \frac{I_{\xi 3}}{10}}{1 + \frac{2^{1/2} I_{\xi 2}}{2} + \frac{I_{\xi 4}}{4}} \quad (4.5)$$

Burada:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{2\Delta}^{\Delta} = \frac{\lambda^N}{2p^2}; \quad I_{3\Delta}^{\Delta} = \frac{4\lambda^N}{3\pi p^3} \\ I_{4\Delta}^{\Delta} = -\frac{3\lambda^{3N}}{32\pi p^4} \\ I_{5\Delta}^{\Delta} = \frac{4\lambda^N}{3\pi p^3} \frac{n_0^2}{\beta_0} + \frac{\lambda^{3N}}{15\pi^3 p^5} \beta_0 + \frac{\lambda^{5N}}{32\pi^5 p^5 \beta_0} \end{array} \right\} \quad (4.6)$$

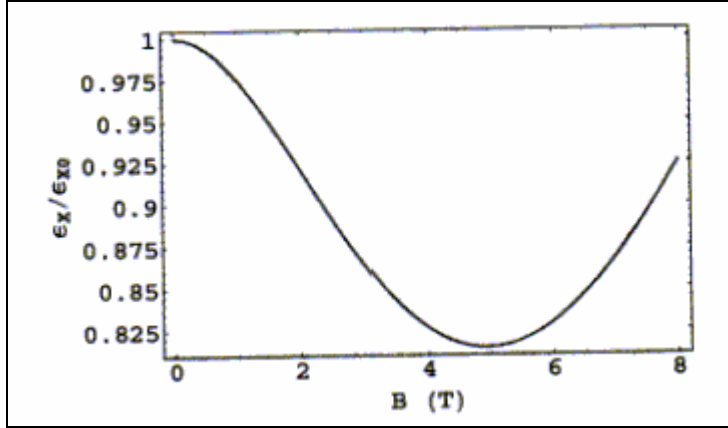
ile verilir. Enerji kaybındaki görelî değişim ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$\frac{Y - Y_0}{Y_0} = \frac{1}{2} \frac{\Delta I_{\Delta}}{2\pi p_0} \left(\frac{p_0}{p_{\Delta}} \right)^2 \quad (4.7)$$

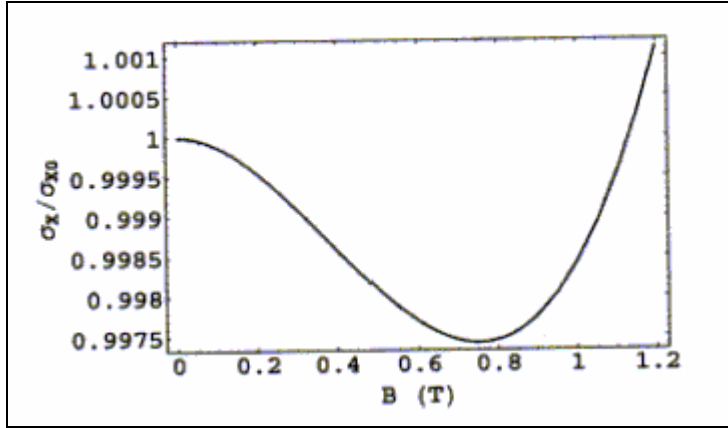
Tasarlanmış eklentilerin depolama halkasının enerji kaybına enerji yayılmasına ve emitans değişimine yaptığı katkılar yukarıdaki denklemlerin yardımıyla hesaplanmış ve (Çizelge 4.2)'de verilmiştir. Bir örnek olarak undulör2'nin manyetik alanının ışınımın frekansını değiştirmek amacıyla değişmesi durumunda bu parametrelerin ne kadar etkilendiği (Şekil 4.9) ve (Şekil 4.10)'da gösterilmiştir. Bu çizelge ve şekillerden görüldüğü gibi salındırıcı magnetlerin çarpıştırıcı modunda çalışırken SI üretmesinin sakıncası görülmemiştir. Ancak zigzaglayıcı magnetlerin kaç tanesinin çalıştırılabileceğinin incelenmesi DPT-YUUP kapsamında sürdürülmelidir.

Çizelge 4.2. Seçilen eklentilerin depolama halkasına etkisi

Işınım kaynağı	Wiggler1	Undulator1	Undulator2
Görelî enerji kaybı $\frac{Y - Y_0}{Y_0} (\%)$	1.90	0.061	0.2
Görelî enerji yayılması $\frac{\sigma_E - \sigma_{E0}}{\sigma_{E0}} (\%)$	-0.21	-0.020	-0.1
Görelî emitans değişimi $\frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon_0} (\%)$	-1.50	-0.060	-0.2



Şekil 4.9. Undulatör 2 için manyetik alanın demet emitansına etkisi [26].



Şekil 4.10. Undulatör 2 için manyetik alanın demetin enerji yayılmasına etkisi [26].

4.5. Demet İzleme Teknikleri

Elektron paketçik uzunluğunu 1 ns'den küçük olduğu durumlarda ölçmek oldukça zordur bu sebeple çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu farklı metotlar ikiye ayrılır. Zaman baskın ve frekans baskın metotlar.

Zaman baskın metotlar;

- Piko saniye fotoiletken detektörler
- Streak kamera
- RF deflektör
- Spektrometre

Frekans baskın metotlar;

- Koherent radyasyon
- Mikrodalga spektroskopisi

4.5.1. Yüklü bir parçacık tarafından yayımlanan ışınım

Hareket eden yüklü bir parçacık elektromanyetik ışınım yayınlayabilir. Eğer ışınım hedefteki elementin çekirdeğinin oluşturduğu alanlardan üretiliyorsa bremsstrahlung, bir dış elektromanyetik alan ile üretiliyorsa sinkrotron ışınımı olarak isimlendirilir. Aynı zamanda parçacık ortam değiştirdiğinde de ışınım gerçekleşir. Bir farklı durum da Cherenkov ışınımı olarak adlandırılır. Cherenkov ışınımı bir ortamda ilerleyen elektronun hızı, o ortamdaki ışık hızından fazla ise üretilir.

Bu tip ışınım anlık olarak düşünülebilir ve buradan ışınımın geçici dağılımı direkt olarak paketçik ile ilişkilendirilebilir.

Cherenkov Işınımı

Sürekli bir ortamda sabit bir hızla ilerleyen parçacığın yolu üzerinde, yakın bölgelerde ortamı polarize edecektir.

Eğer yük, ışığın o ortamdaki faz hızından fazla ise parçacığın yolu boyunca polarizasyon simetrik olmayacak ve dolayısıyla eksen boyunca dipol alanı oluşacaktır.

Cherenkov ışınımında yayılma açısı

$$\cos \theta = \frac{c}{v} \frac{1}{n(\omega)} \text{ ve } v \geq \frac{c}{n(\omega)} \quad (4.8)$$

Burada c ışığın boşluktaki hızı, v parçacığın hızı ve $n(\omega)$ ortamın kırıcılık indisi.

Geçiş Işması (Transition Radiation)

Yüklü bir parçacığın sabit hızla homojen olmayan bir ortamda hareket ederken ortam değiştirdiğinde veya böyle bir ortamın yakınından geçtiğinde yayınlanır. Genel olarak kırıcılık indisi n ω olan ortamdan ϖ hızı ile bir parçacık geçtiğinde parçacığın hızının ışığın faz hızına oranı

$$\frac{\varpi}{\chi_{\pi\eta}} = \frac{\varpi v(\omega)}{\chi} \quad (4.9)$$

değiştğinde yayınlama gerçekleşir. Oranın hem parçacığın hızının değişmesiyle hem de ortamın kırıcılık indisinin değişmesi ile değişebileceği açıktır. Bu tip en basit problem yükün iki ortam arası sınırdan geçişidir (örneğin vakum-metal). Geçiş ışması yükün bazı engellerin (*diyafram veya yarık gibi*) yakınından geçmesi ile de oluşabilir. Bu durumda difraksiyon ışması olarak isimlendirilir. Geçiş ışması hem ileri hem de geri doğrultuda yayınlanabilir ki büyük ölçüde $\theta = \gamma^{-1}$ 'de pik verir.

Sinkrotron Işması

Sinkrotron ışması daha önce bahsedilen ışma türlerinden yükün düzgün bir yol izlemeyerek yayınlanması sebebi ile ayrılır. Bu durumda ışma, hızın büyüklüğündeki değişimden değil doğrultunun değişmesinden oluşur. Işma yüklü parçacığın yörüngesine teğet doğrultuda $\pm 1/\gamma$ 'lık bir açı içinde yayımlanır. Işma gücü parçacığın momentumu üzeri dört ile doğru, yörünge çapının karesi ile ters orantılıdır.

4.5.2. Demet tanımlaması için cihazlar

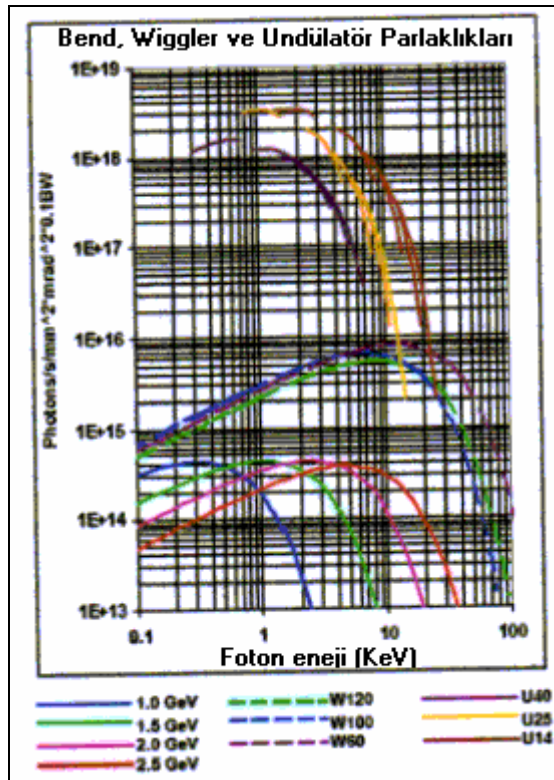
- Demet izleme Monitörleri (BPM): Demetin düşey düzlemdeki konumunu demet borusu etrafına yerleştirilmiş dört anten kullanarak belirler. Dört sinyalin genliğindeki değişiklik demetin pozisyonunu verir.

- Faz Monitörleri (PM): Rf frekansına bağlı olarak demetin fazını verir. Mekanik olarak BPM'lerle aynıdır ancak data okuyan elektronik cihazları farklıdır.
- Wail Current Monitörleri (WCM): Paketçiğin yükünü ölçer. Bunun için demet borusunun duvarında ilerleyen görüntü akımını kullanır.
- Geçiş ve Cherenkov Monitörleri: Bir alüminyum ya da safir yaprak sırasıyla geçiş veya Çerenkov ışınması üretmek için kullanılır. Daha sonra bu ışınma CCD kamera yahut streak kamera yardımı ile analiz edilerek paketçiğin enine ve boyuna ölçülerinin belirlenmesinde kullanılır.
- Spektrometre: Bir eğici magnet demeti saptırır ve ışıldayan bir ekrana çarpmasını sağlar. Paketçiğin enerji spektrumu sapma açısının paketçiğin momentumu ile orantılı olması sebebi ile değişken manyetik alan kullanılarak ölçülür.
- Beam Loss Monitor (BLM): Paketçik tarafından yayımlanan ışınmayı ölçer. Demetin nerede vakum borusuna çarptığını veya nerede saptığını belirtmesi dolayısıyla iletimin optimize edilmesinde oldukça kullanışlıdır. Demet yükünün ölçülmesinde aşağıdaki yöntemler kullanılır.
- Mikrodalga Spektroskopisi
- Faraday Cup: Hızlandırıcının muhtelif noktalarına demetin konumunu, şeklini, enerjisini ve zamanlamasını belirlemek için yukarıda belirtilen detektör ve monitörlerden kullanılacaktır. Bunların en önemlisi olan BPM'den hızlandırıcının empedansının izin verdiği sayıda olacaktır. Detektörlerin sayısını belirleyen en önemli parametre ise maliyetleri olacaktır. Ancak demetin dört özelliğinin halkada belirlenmesi çok önemlidir. Bunlar bir hızlandırıcıyı işletenler için gözler ve kulaklar gibidir. Dolayısıyla teknik tasarım raporu hazırlanırken bunların seçimlerinin yapılması gerekecektir.

4.6. CANDLE ve SESAME Işınım Kaynağının Özellikleri ile TAC'ın Karşılaştırılması

CANDLE'in sinkrotron ışınımı özellikleri, depolama halkasının tasarım parametrelerini belirlemektedir. 3 GeV'lik nominal elektron enerjisinde 1.35 T'lık eğici magnet için kritik foton enerjisi 8 keV ve zigzaglayıcı1'den 12 keV kritik foton enerjisi tutturulmuştur. TAC sinkrotron halkasında ise eğici magnet için kritik foton enerjisi 10 keV, zigzaglayıcı1 için 2.4 keV ve zigzaglayıcı 4 için 15 keV'dir. Wigglerlerden elde edilecek maksimum akı değeri CANDLE'dan 1 mertebe düşük olmakla beraber eğici magnetten elde edilecek ışınımın parlaklığı charm opsiyonunda enerjinin yüksek olması dolayısıyla TAC'da daha yüksektir.

Şekil 4.11'de SESAME projesi için ışınım kaynaklarından elde edilecek ışınımın farklı enerjiler için parlaklık spektrumu verilmiştir [16].



Şekil 4.11. SESAME projesinde ışınım kaynaklarından elde edilecek ışınımın parlaklığı [26].

4.7. TAC Projesinde Önerilen Sinkrotron Işınımının (S/) ve Sinkrotron Halkasının Ana Parametreleri

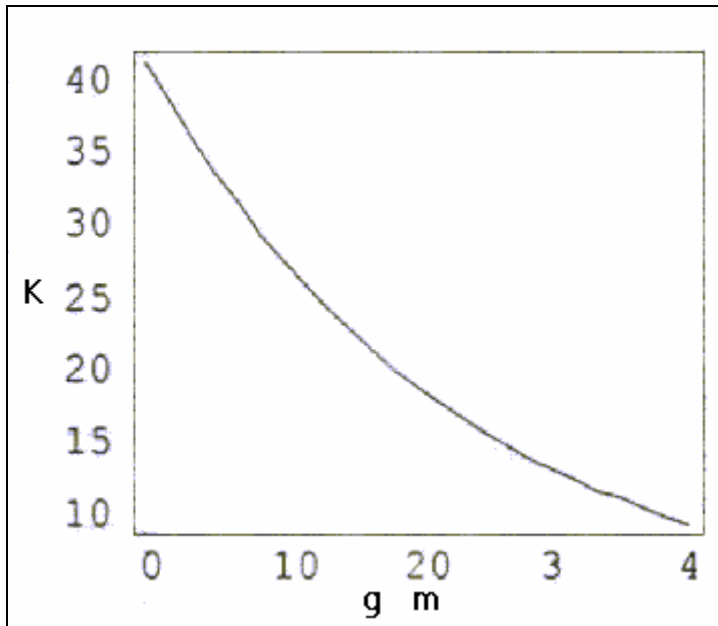
4.7.1. Sinkrotron ışınımının ana parametreleri

SiCo tipinde bir magnet için $B_m = 3.33$ Tesla ve $b=5.47$, $c=1.8$ olmak üzere 1 ve 2 GeV pozitron demet enerjileri [7-10] kullanılarak hesaplanan sinkrotron ışınması parametreleri (Çizelge 2.5)'de verilmiştir. Tabloda verilen maksimum alan değeri Eş. 2.12 kullanılarak hesaplanmıştır. Zigzaglayıcının toplam uzunluğu kesim 2.1'de tasarlanmış olan pozitron depolama halkasındaki düz kısımlara sığacak şekilde seçilmiştir. Zigzaglayıcının periyod boyu tüm zigzaglayıcıya 16 periyod sığacak şekilde seçilmiştir. Kutuplar arası mesafe iki düşünce gözönünde tutularak seçilmiştir: Birincisi, kutuplar arasındaki çekim kuvveti g mesafesi ile ters orantılıdır; belli mesafeden sonra magnet sistemi bir arada tutulamaz. İkincisi ise K zigzaglayıcı parametresinin uygun bir değerde seçimi Eş. 2.11' in hesabıyla yapılmaktadır. Aynı denklemin hesaplanmasıyla çizilen (Şekil 4.12) K 'nın g 'ye göre değişimini gösterir. Tabloda verilmiş olan toplam yayılan güç ise Eş. 2.13 yardımıyla hesaplanmıştır.

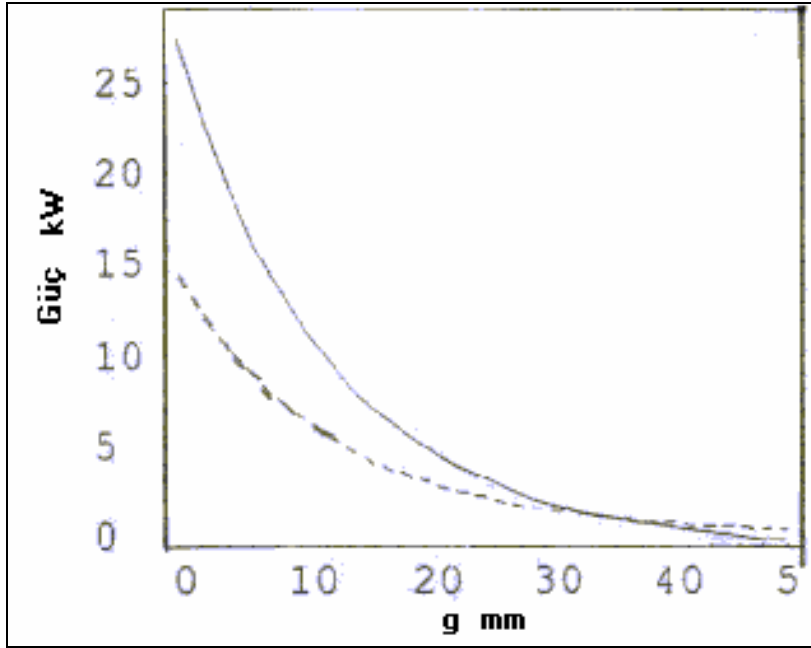
Çizelge 4.3. Sinkrotron ışınımının temel parametreleri

Enerji (GeV)	1	2
Maksimum manyetik alan değeri (T)	1.054	1.054
Akım (A)	0.967	0.488
Zigzaglayıcı periyodu (cm)	13.2	13.2
Kutuplar arası dik uzaklık (mm)	30	30
Zigzaglayıcının toplam uzunluğu (m)	2.112	2.112
Toplam yayılan güç (kW)	1.44	2.90
Kritik enerji ϵ_c (KeV)	0.700	2.804
Zigzaglayıcı parametresi, K	12.99	12.99

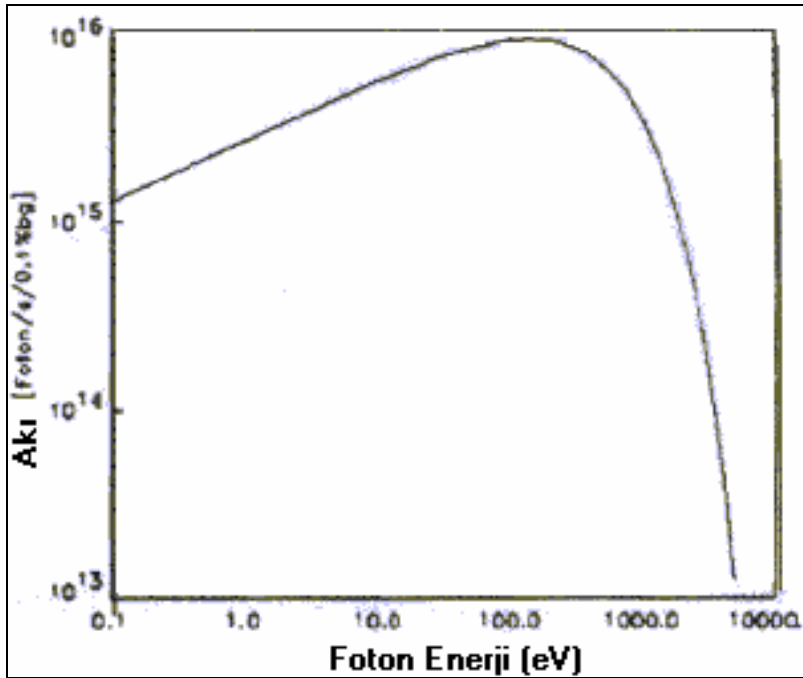
1 ve 2 GeV seçenekten için çizdirilen gücün kutuplar arası mesafe olan g 'ye göre değişimi (Şekil 4.13)'de Eş. 2.13 kullanılarak çizdirilmiştir. Kritik foton enerjisi ise Eş. 2.16 kullanılarak hesaplanmıştır. Kritik foton enerjisi sağındaki ve solundaki sinkrotron ışıması spektrumunu ışıyan güçleri eşit olacak şekilde ikiye böler. Toplam akının foton enerjisine göre değişimi 1 GeV seçeneği için (Şekil 4.14)'de ve 2 GeV seçeneği için (Şekil 4.15)'de verilmiştir. Bu şekiller Eş. 2.17'deki ifadenin açıya göre integralinin alınmasıyla hesaplanmıştır. Gücün foton enerjisine göre spektral değişimi 1 GeV seçeneği için (Şekil 4.16) ve 2 GeV seçeneği için (Şekil 4.17)'de verilmiştir. Ayrıca 2 GeV'lik seçenek için parlaklığın foton enerjisine göre değişimi Eş. 2.14'ün kullanılmasıyla (Şekil 4.18)'de çizdirilmiştir. (Şekil 4.14), (Şekil 4.15), (Şekil 4.16), (Şekil 4.17) ve (Şekil 4.18) ESRF'de geliştirilmiş olan XOP 2.0 programı kullanılarak çizilmiştir [11]. Parlaklığın değeri tasarlanmış olan SI kaynağının 3. nesil bir kaynak olduğunu göstermektedir. (Şekil 4.14) ve (Şekil 4.15)'in incelenmesi 1 GeV'lik seçeneğin 0.01 eV ile 2 keV arasındaki 2 GeV'lik seçeneğin ise 0.1 eV ile 10 keV arasındaki geniş bir foton spektrumunda araştırma yapmaya imkan sağlayacağını göstermektedir.



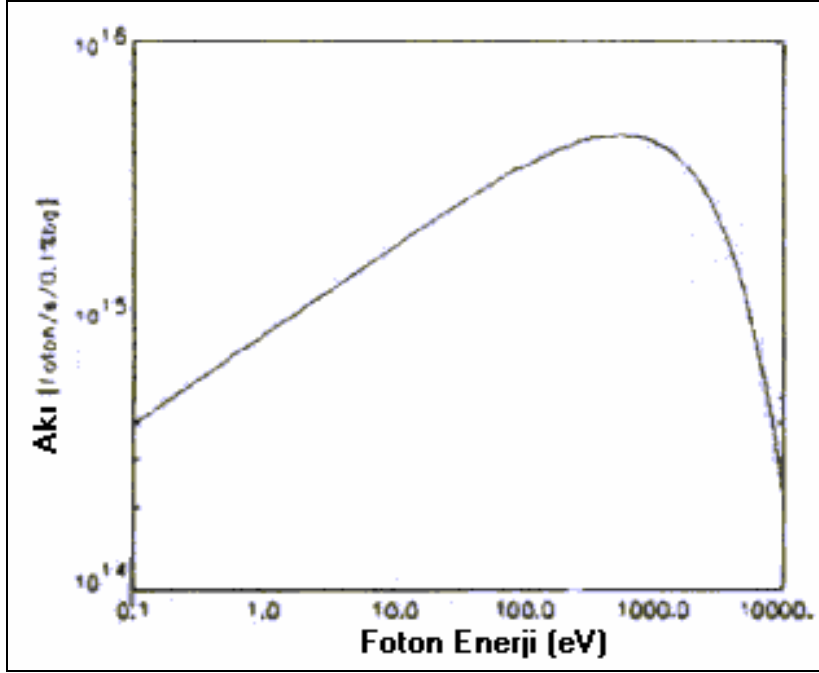
Şekil 4.12. K 'nın g 'ye göre değişimi [27].



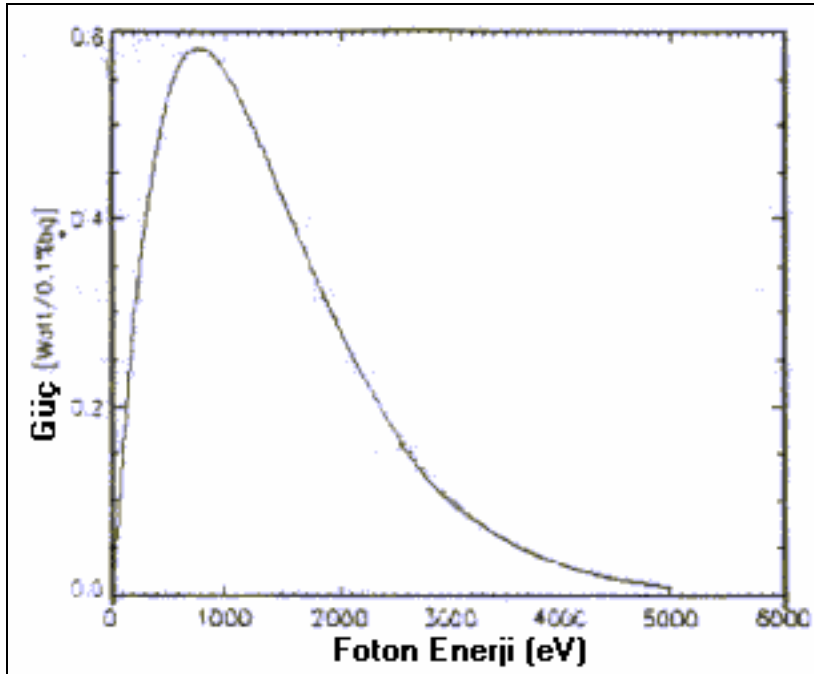
Şekil 4.13. Gücün g'ye göre değişimi (kesikli çizgi 1 GeV düz çizgi 2 GeV için) [27].



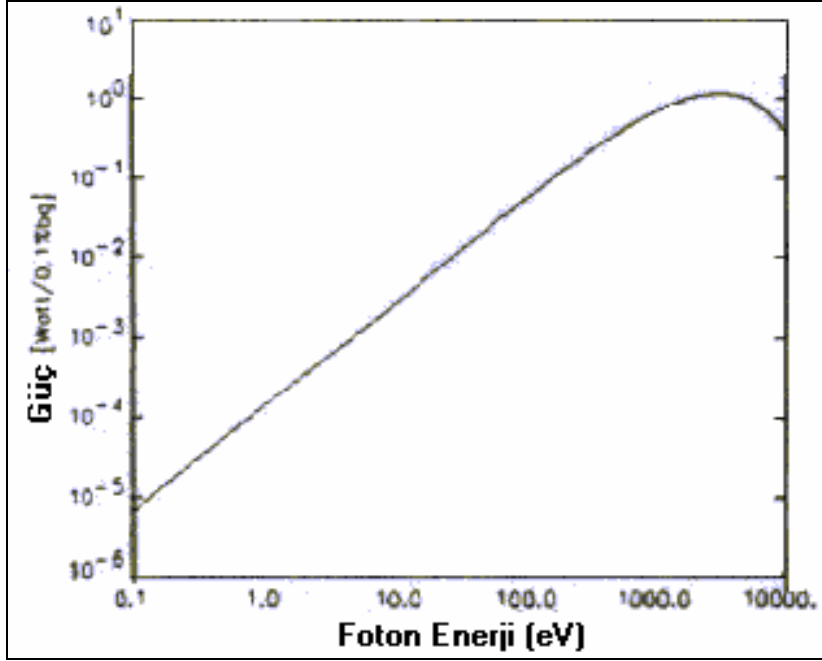
Şekil 4.14. 1 GeV enerjili pozitron halkası için akının foton enerjisine göre değişimi [27].



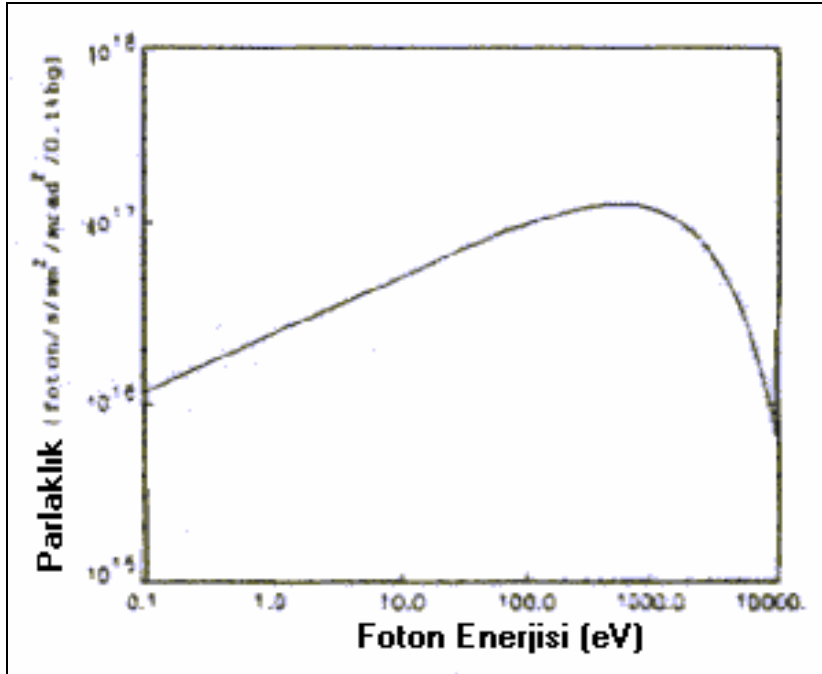
Şekil 4.15. 2 GeV enerjili pozitron halkası için akının foton enerjisine göre değişimi [27].



Şekil 4.16. 1 GeV enerjili pozitron halkası için gücün foton enerjisine göre değişimi [27].



Şekil 4.17. 2 GeV enerjili pozitron halkası için gücün foton enerjisine göre değişimi [27].



Şekil 4.18. 2 GeV enerjili pozitron halkası için parlaklığın foton enerjisine göre değişimi [27].

4.7.2. Pozitron depolama halkasının demet optiği

Projede önerilmiş olan linak-halka tipli hızlandırıcının pozitron depolama halkasının demet optiği tasarlanmış ve bu tasarıma ait betatron ve dağınım fonksiyonları bilgisayar programı yardımı ile hesaplanmıştır. Projede pozitron demet enerjisi 1 veya 2 GeV olarak öngörülmüştür, bir örnek olarak 1 GeV pozitron demet enerjisi için tasarım yapılmıştır [12-13].

Hızlandırıcılarda parçacık demetlerini ideal yörüngelerinde tutabilmek için magnet sistemlerinden yararlanılır. Kuadropol magnetler genellikle parçacık demetini ideal yörüngeye odaklamak için, dipol magnetler gerekli yerlerde parçacık demetinin yönünü değiştirmek için, sextupol magnetler ise kromatik hataları düzeltmek için kullanılırlar.

Çalışmada, günümüzde sıklıkla kullanılan örgü tipi olan Expanded Chasman Green Achromat yapıdan esinlenilerek oluşturulan örgü için elde edilen betatron ve dağınım fonksiyonları (Şekil 4.19)'da, örgüde kullanılan magnetler ve sürüklenme [12-13]. Buradaki tasarım ve hesaplamalar GPT (*General Partide Tracer*) programı kullanılarak yapılmıştır [14]. Parlaklık Eş. 4.10'da tanımlanmıştır. Aslında parlaklık, emitansın çeşitli nedenlerden dolayı artışı nedeniyle belli bir değerden yukarıya çıkamaz. Dipol magnetlerde meydana gelen sinkrotron ışıması demetteki parçacıkların enine hareketlerinde kinetik enerjilerinin azalmasına sebep olur. Bu ise etkin olarak demetin soğutulmasıdır Dolayısı ile emitansın küçültülmesi için bir mekanizmadır. Emitansın büyütülmesiyle soğutulması arasında denge meydana gelir ve dengedeki emitansın değeri Eş. 4.10 gibidir.

$$\varepsilon_{\gamma,denge} = \frac{55\pi}{32\sqrt{3}} \frac{\hbar}{m_0 c} \left[\frac{E^2}{m_0 c} \right]^2 \left[\frac{1_5}{1_2 - 1_4} \right] \quad (4.10)$$

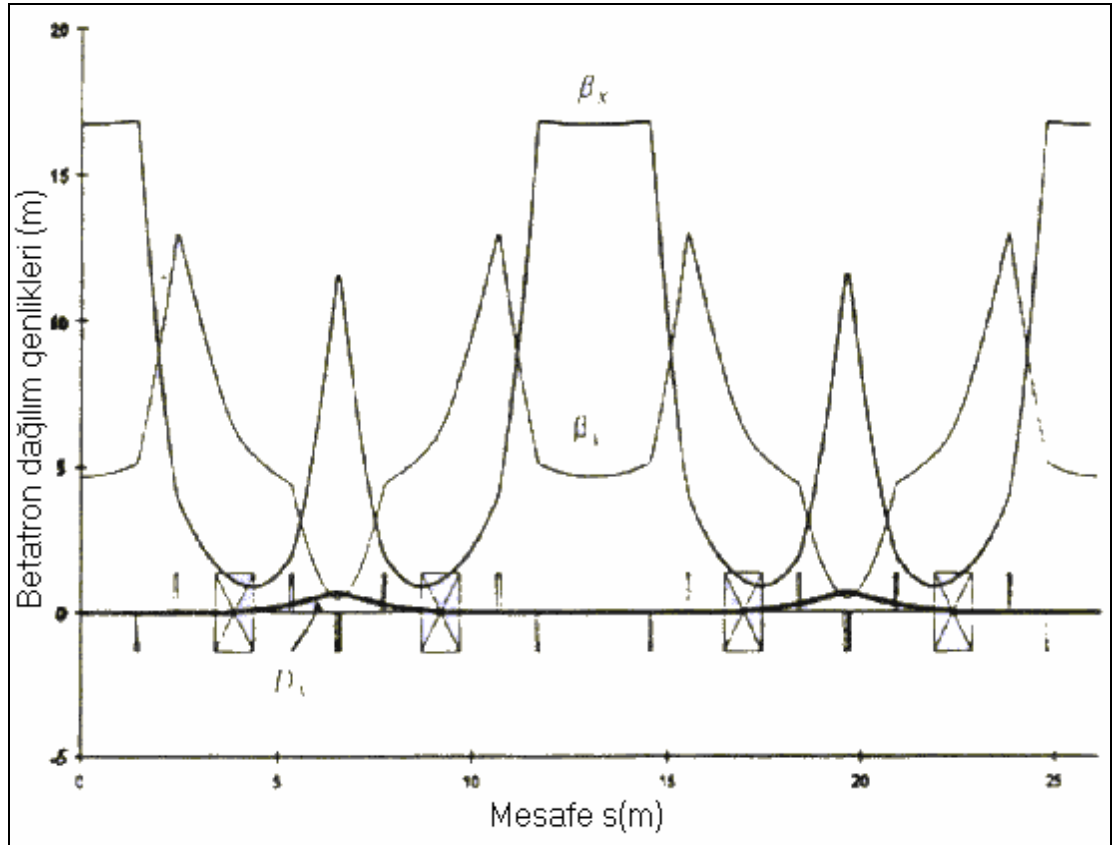
$$I_1 = \int \frac{D(s)}{p(s)} ds \quad (4.11)$$

$$I_2 = \int \frac{D(s)}{p^2(s)} ds \quad (4.12)$$

$$I_3 = \int \frac{D(s)}{p^3(s)} ds \quad (4.13)$$

$$I_4 = \int \frac{D(s)}{p^3(s)} [\wedge - 2p^2(s) k(s)] ds \text{ ve} \quad (4.14)$$

$$I_5 = \int \frac{D(s)}{p^3(s)} H(s) ds \quad (4.15)$$



Şekil 4.19. Genlik (Betatron) ve dağılım fonksiyonları.

olarak belirlenmiştir (sektör dipoller için $\wedge = 1$, düz dipoller için $\wedge = 0$ alınır)

Burada $p(s)$ sinkrotronun s noktasındaki eğrilik yarıçapıdır, $k(s)$ ise çok kutup

magnet şiddet sabitidir. Dağınım veya örgü sabiti denilen $H(s)$ aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$H(s) = \gamma D(s)^2 + 2\alpha D(s)D'(s) + \beta D'(s)^2 = \text{sabit} \quad (4.16)$$

Bu kısım referans [12-13] de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Emitans, tasarlanmış olan sinkrotron enerjisi için ≈ 20 nm rad olarak bulunmuştur. Bu ise üçüncü nesli sinkrotron ışınım kaynağının emitans değerine eşdeğerdir. Ayrıca burada zigzaglayıcılar yardımıyla da emitans soğutması yapılacaktır. Hesaplarda muhafazakar davranılarak emitansın denge değeri için yapılan hesaplamada zigzaglayıcının katkısı hesaba katılmamıştır. Bu sinkrotronda demetlerin düz hareket ettikleri bölgelere zigzaglayıcı veya ışımayla kaybolan enerjiyi pozitronlara aktaran RF yapılar yerleştirilebilir.

5. KULLANIM ALANLARI

Bu kesimde Sinkrotron ışınımı kaynaklarının kullanım alanları verilmiştir [15-16]. Sinkrotron ışınım kaynaklarına yapılan araştırma tipleri birçok disiplinden gelmekte ve son derece çeşitlidir. Mesela fizik mühendisliği, astronomi, biyolojik bilimler, kardiyoloji, hücre biyolojisi, kimya mühendisliği, kimya inşaat mühendisliği, jeoloji, materyal bilimi, tıp, farmakoloji, fizik ve radyoloji alanındaki bilim adamları arz etmektedir. Proteinlerdeki atomlar nasıl düzenlenmişlerdir? Camlar, metaller ve yarı iletkenlerdeki safsızlıklar nasıl bağlanmışlardır? Materyallerin yüzeylerindeki atomların düzenlenişleri nasıldır? Metal ile yarıiletkenin ortak yüzünün doğası nedir? Çok büyük miktarlarda integral devre üretiminde X-ışını ne kadar etkin olarak kullanabiliriz? Kalp arterlerinin tıkanıklıklarındaki teşhislerdeki bugün kullanılan yöntemlerdeki riski azaltıp buna karşın teşhis imkanını geliştirebilir miyiz?

5.1. Biyolojik Bilimler

Sinkrotron ışınımı enzimlerin, proteinlerin ve diğer biyolojik materyallerin içeriğinin çalışılmasına imkan sağlamaktadır.

- Mesela, enzimler gelişimden çürümeye kadar yaşamla ilgili hemen hemen bütün süreçlerin kompleks kimyasını kataliz, etmektedir. Enzimlerin nasıl çalıştıklarının anahtarı atomlarının üçboyutlu organizasyonunda ve reaksiyonların meydana geldiği enzimlerin aktif mevkilerinin civarındaki bağlantıların ve yüklerin dağılımlarında gizlidir.

X-ışını soğurulma spektroskopisi adı verilen teknik enzim içindeki metal atomlarının en yakınındaki komşularını soğurulma yardımıyla belirlemektedir.

- AIDS' e sebep olan virüsün çoğalmasında önemli bir rolü olan HIV-protease enziminin yapısının belirlenmesi. Bu durumda proteasenin 3-boyutlu çözümlenmesinde protein kristalografisi (protein kristallerinden x-ışınlarının

kırınımının incelenmesine dayanan bir metot) kullanılmaktadır. Bu bilgi ilaç şirketlerinin yeni AIDS ilaçlarının tasarımlarında kullanılmaktadır.

- Metal-proteinler ve metal-enzimlerdeki metal atomlarının konumlarının yapısı ve fonksiyonları incelenmektedir.
- Membran yapıların doğası ve membranlarla proteinlerin etkileşmesi araştırılmaktadır.

5.2. Yarıiletken, Yüzey ve Ara Yüzey Fiziği

- En ileri integral devreler yarıiletkenlerle metal veya oksit arasında mükemmel yakın olması gereken ara-yüzeylere ihtiyaç duyar. Birçok durumda ara yüzeylerin oluşumları ve daha sonraki süreçleri ara-yüzeyin kalitesinde dramatik farklara sebep olabilir.
- Sinkrotron ışınması ara-yüzeydeki atomların kimyasal durumları ve atomik yapılarının sondajında kullanılmaktadır. Bu üretim sürecinin optimizasyonunu mümkün kılar.
- Son zamanlarda disk sürücü endüstrisi çok karmaşık teknolojilere yönelmektedir. Bunlardan biri de disk üzerindeki manyetik materyalin manyetik ve manyetik olmayan ince metal filmlerinin birbirini ard arda takip etmesini içermektedir.
- Bu yöntem ile çok yüksek bilgi depolama yoğunluklarına ulaşılabileceği bulunmuştur. Fakat film tabakaları arasındaki temel fiziksel etkileşimler anlaşılamamıştır. Sinkrotron ışınımı filmlerin manyetik yapısının sondajında kullanılmaktadır.

Çizelge 5.1. Sinkrotron ışınımının kullanım alanları

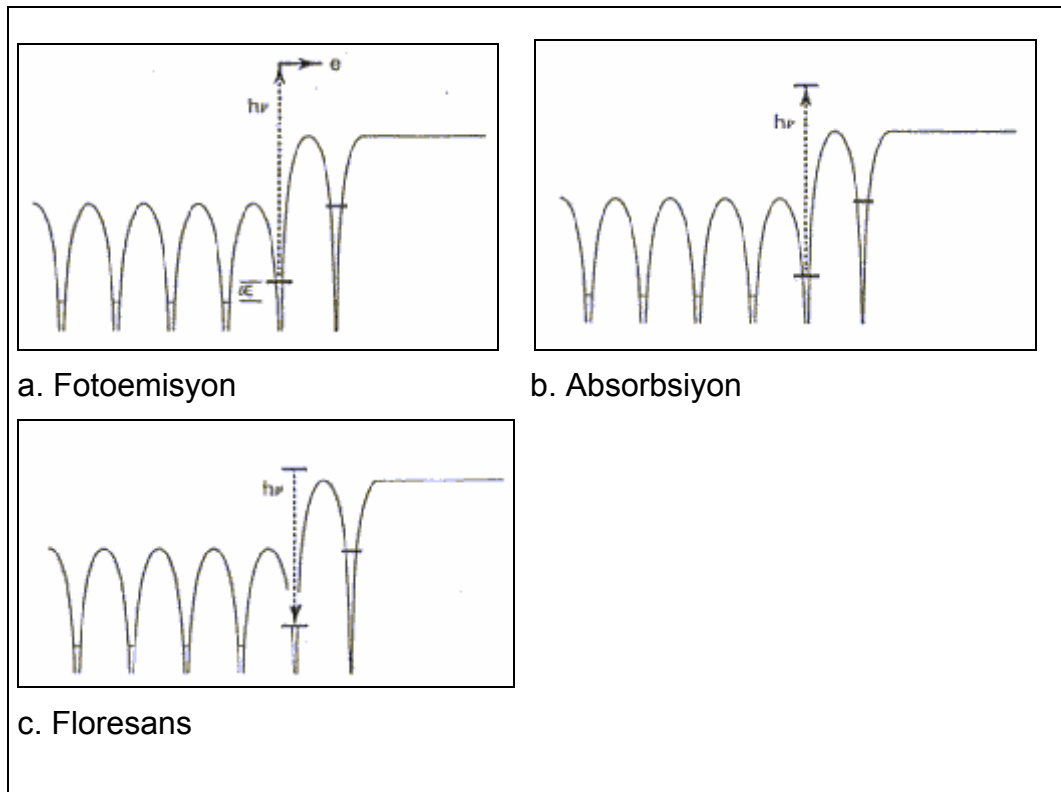
Dalgaboyu Å	Foton Enerjisi (eV)	Biyoloji/Tıp	Kimya	Fizik	Teknoloji
1000	0.1 Kızılötesi	Biyokimya	Katalizli reaksiyonlar	Katıların elektron Yapısı	Spektroskopide yeni metodlar
	1 Görülebilir	Biyofizik	Foto-Kimya	Yüzeylerin ve arayüzeylerin özellikleri	Yüksek Performanslı Optik
100	10 Morötesi	VUV ve X-ışını mikroskopisi	Elektron spektroskopisi ile kimyasal analiz	Atomik ve moleküler fizik	Kalibrasyon ve Radyasyon standartları
	100 Vakum Morötesi	Radyografi	Işıma tahribatının incelenmesi	Foto-elektron spektroskopisi	Zigzaglayıcı ve salındırıcı ışınması
10	1000 Yumuşak X-ışını	Akışkan yüzeylerde kompleks biyomoleküllerin yapısının belirlenmesi	Polimerlerin yapısının belirlenmesi	X-ışını optiği	X-ışını litografisi
1		X-ışını anjiyografisi ve tomografisi	İz elementlerin analizi	X-ışını floresansı	Malzeme araştırması
0.1	10000 Sert X-ışını			Tomografi	
				İnelastik X-ışını saçılması	
				Compton saçılması	

5.2.1. Sinkrotron ışınımı ile yarı iletken yüzey ve ara yüzey fiziği uygulamaları

Sinkrotron radyasyon, polarizasyon gibi kendine has özellikleri kullanan bir takım spektroskopiler ortaya koyar [16]. (Şekil 5.1), yüzeylerdeki elektronik hallerin bir şematik potansiyel diyagramını kullanarak, en çok bilinen spektroskopinin nasıl çalıştığını gösterir. Foto emisyon da (Şekil 5.1.a) da bir bağlı elektron iyonize edilir. Fotoelektronun kinetik enerjisinden foton enerjisi çıkarmak suretiyle belirlenen enerjisi de iyonize edilir. Altaş ve absorbsiyon enerji kaynaklarının seviyeleri yüzey atomundaki kimyasal bağ ve transferin bir ölçüsüdürler. Sinkrotron radyasyonunun, rezonans lambaları ve X-ışın tüpleri gibi geleneksel ışık kaynaklarıyla kıyasla ana avantajı, foton enerjisi ayarlanarak (tuning) foto elektronların kinetik enerjisini ayarlayabilme ihtimalidir. Böylece kimse, tipik 30-70eV kinetik enerji seviyesinde olduğu gibi, elektronların kaçış derinlik minimumuna erişebilir. Minimumda birkaç

atomik katman derinliği elde edilir, böylece bu teknik yüzeyleri ve adsorbantları incelemek için ideal hale gelir.

Apsorbsiyon spektroskopisi, (Şekil 5.1.b) onları bir merkez seviyeden optik olarak hareketlendirerek bağımsız orbitallerin şeklini belirler. Yansıtıcılığı ölçmek yerine, karşılıklı etkileşim olabilir, foto elektron, oje eterhron ve adsorbate floresan gibi ikincil ürünleri toplayarak yüzey deneyleri ile belirlenir. Fotonlarla kıyaslanan elektronların kısa kaçış derinlikleri yüzey hassasiyetini sağlar. Absorbsiyon spektroskopisi Sinkrotron radyasyonu has alandır. Çünkü geniş bir foton enerji oranı üzerinde sürekli bir ayarlamayı gerekli kılmaktadır. Sadece yüksek enerji elektron kaybı spektroskopisi bu özelliklere sahiptir, fakat yüzey hassasiyeti yoktur ve radyasyon zarar etkilerine açıktır.



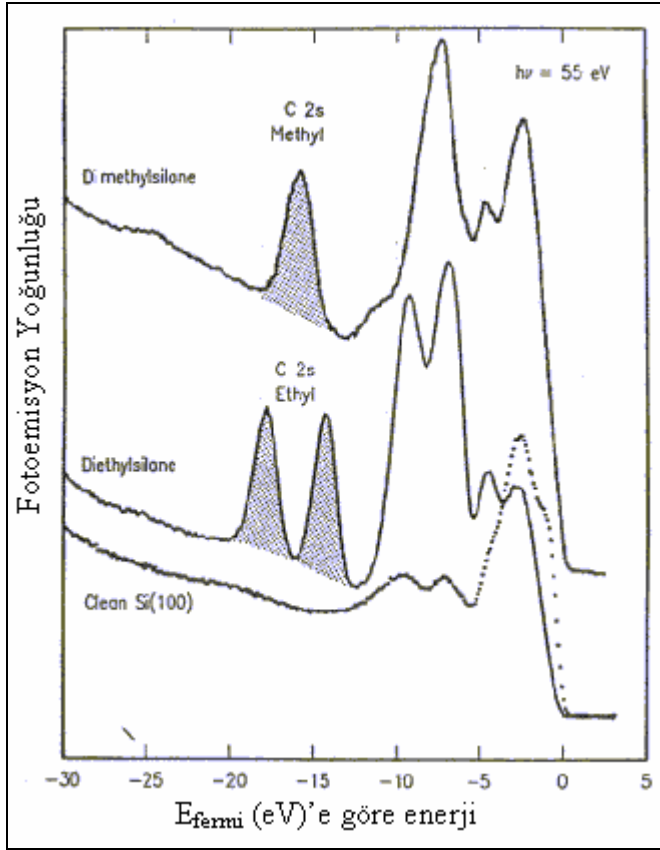
Şekil 5.1. Sinkrotron ışınımı kullanan yüzey spektroskopilerinin en yaygın şeması, en dıştaki alt tabaka atomları ve soğurulan bir atomun (sağ) potansiyel diyagramını kullanıyor.

Floresan spektroskopisi (Şekil 5.1.c) Absorbsiyon spektroskopisinin tersi olarak gözlenebilir. Burada, valans (*değerlik*) orbital yapısı, bir valans (*değerlik*) elektronu ile çekirdek deşik yeniden birleşme esnasında çıkan floresan ışığın spektral dağılımından elde edilir. Tamamen optikal bir spektroskopisi olarak floresans yüzeye duyarlı değildir. Fakat üçüncü nesil Sinkrotron ışın kaynakları gücü ile tekkatmanları görülebilecek kadar duyarlı hale getirilebilir. Bu güç turunun sebebi, kısa ayar derinlikli tekniklerin giremediği gömülü içyüzlerin araştırılmasıdır. Tekkatman duyarlılığının derin bir sızma ile ilginç yeni fırsatlar sunduğu bir başka alan, gaz varlığında yüzeylerdeki kimyasal reaksiyonların çalışılmasıdır.

Bu spektroskopilerdeki önemli bir değerlendirme bütün elementlerin çekirdek seviyelerine girer. Eğer her elementin en keskin çekirdek seviyesi değerlendirilirse (Şekil 5.1.c)'de görülebilir. 1 keV' den 2 keV' e kadar foton enerjileri onları harekete geçirmeye yetecektir. Emilim ve floresans üzerinde spektroskopisi için, eşğin üzerinde ilk 10- 20 eV ile, foto emisyon için 30-70 eV, ile ilgilenecek optimum yüzey duyarlılığına ulaşabilir. Doğru ALS, gelişmiş ışın kaynakları gibi mevcut üçüncü nesil ultraviyole sinkrotron ışın kaynakları bu ihtiyaçlar doğrultusunda dizayn edilmiştir. Arzulanan enerji oranı merkezinde, mesela 300-500 eV, C,N,O, 1s seviyelerini yerleştirir ki bunlar organik yüzey kimyası için çok önemlidirler.

5.2.2. Yarıiletken yüzey kimyası

Yarıiletken işlem ıslaktan kuru işlemlere kadar sürekli değişir, mesela, reachre ion etehine (RIE) ve kimyasal buhar depozisyon (CVP). Bu teknikler, totsik artık mataryel ve bir işlem seviyesinden diğerine hızlı bir dönüş gibi bir takım menfaatler sağlar. Bu metotlar çeşitli yanlışlar dolayısıyla oldukça karmaşık hale gelmişken, yüzey kimyasal reaksiyonların sistematik çalışması ile gelişme şansı vardır . Silikonun CVD'sinde düşük ısı ve düşük basınç tekniklerinde ultra vakum temizlik standartları gerektiren gelişmeler olmuştur, fakat silikon esaslı elektronik aletlerde çarpmada hız rekorları kıran mükemmel elektriksel özellikli aletler üretilmiştir. Bu metottaki kritik bir aşama



Şekil 5.3. Si(100) yüzeyindeki etil ve metil gruplarının C 2s seviyelerindeki yarılımlar kullanılarak tespit edilmesi. C 2s parçalarının sayısı doğrudan alttaki grup içindeki C atomlarının sayısını verir [20].

Doğru Latince uygunluğu ile aynı materyallerde SiC ile bu aletler üretilebilir. Şekil 5.3.'de bu yöndeki ilk çalışmalar gösterilebiliyor, ki orada Si- ve -C ilkelerden olarak C2s valence durumu ve C1s çekirdek seviyesindeki fotoemiyonun kullanılmasıyla Si (100) yüzeyinde test edildi [18-19]. SiC'nin geleneksel depozisyonu (900-1600°C) yüksek derecelerde silane ve hidrokarbonların çatlamasını içerir, ve katman kontrolüne müsait değildir.

Self-limiting büyümeye ulaşabilen C— içeren bileşiklerin araştırılmasında bazı engellerle karşılaşabilir. Trichloromethylsilane gibi SiC' nin CVD'sindeki geleneksel ilkelerin yüzeye hafifçe yapışık oldukları görüldü buda muhtemelen klor ve metil grupların tabiatından kaynaklanabilir. Hidrojen Si'den çok kolay ayrılır. Katman kontrolüne ulaşabilmek ve interdifüzyonu önlemek için gerekli

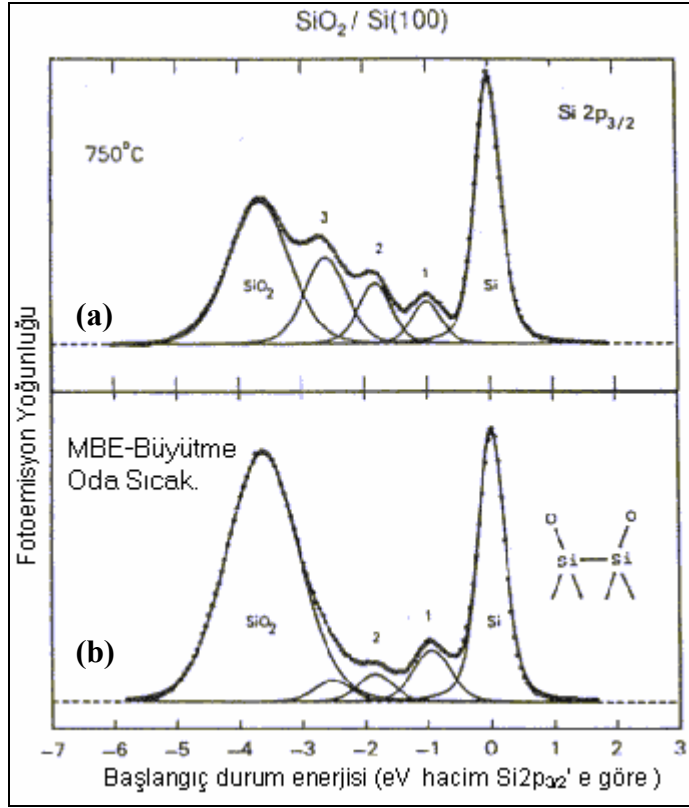
olan düşük sıcaklıklardaki yüzey kirliliğini engellemek için yeteri kadar fazla olan bir yapışma ihtimalini elde edebilmek için bir ön şart olarak gözükmüyor. Dimethylsilane ve diethylsilane için olan Şekil-3'de gösterildiği gibi. Alkali gruplar, bir tekkatman adsorbe edildikten sonra yüzeyin arzulanan doluluğunu sağlar. C 2s'in arasındaki bağ / zıt-bağ ayrışımından, yüzeyi dolduran alkali grup çabucak belirlenebilir. Genel olarak - (n) atomları alkali zincir n C 2s seviyelerinin yükselmesini sağlar, yüzeydeki bu türlerin belirlenmesini kolay bir çalışma haline getirir [21]. Alkali ligantlar III-V yarıiletkenler gibi birçok diğer materyalin kimyasal buhar depozisyonundan çokça kullanılırlar.

Fakat SiC'in depozisyonu için yüzeyin termal olarak aktif hale getirilmesi çalışmaları esnasında Alkali bir bütündür ve yüzeyde çok az karbon bırakır. Bu araştırma bizi bileşiklerin ikinci sınıfına götürür. Mesela, C'nin Si'den daha fazla olmak zorunda olduğu durum gibi. Mevcut çalışmalar gösteriyor ki dönüşün başına alkalisilanın iki katı kadar karbon yığar ve karbidik konfigürasyon üretir, alkasilin ile gözüken grafik içerikleri değil [20]. Bu deneyler zinciri birinin foto-elektron spektroskopisi kullanarak bir sistematik SiC'in katman büyümesi gibi kişinin zor bir probleme nasıl yaklaşabileceğini gösterir.

5.2.3. Arayüzeylerin elektronik yapıları ve bağlama

Şu ana kadar yarıiletkenler alanındaki en kayda değer ara yüzey sistemi Si / SiO₂ ara yüzeyidir. Özellikle Si(100) deki o da Si aletlerinin oryantasyonuna karşılık gelir. Bu ara yüzeyin yüksek elektrik kalitesi, her ara yüzey başına 10⁻⁵ aktif defadan daha az artan bu günün silikon teknolojisinin baskın yönünün temel sebepleridir. Bu arayüzey üzerindeki geniş tarihi ölçümlere rağmen, onun yerel atomik ve elektronik yapısı henüz tamamen çözülmüş değil. Net bir çözüm için büyük bir engel, yalnızca orta miktarların belirlenmesine olanak veren SiO₂ üst katmanı'nın amortus tabiaholer. Sinkrotron radyasyonlu çekirdek seviye spektroskopisi ara yüzeydeki bağ topolojisini ara

yüzeydeki farklı Si oksidasyon hallerinin açıkça çözülmesi ile ışık tutabilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Kor (core) seviyesi foto-elektron spektroskopisi kullanılarak SiO₂/Si(100) ara yüzeyindeki Si'nin oksitlenme durumlarının çözülmesi [22].

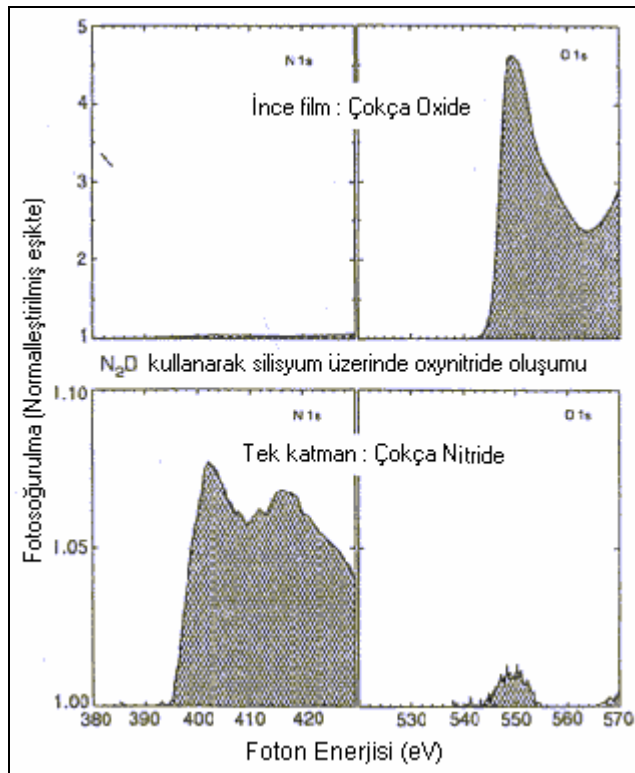
Substrate'in Si 2p seviyeleri ve SiO₂ üst katmanından ayrı olarak arada Si nin arta kalan üç oksidasyon hali açıkça görülebilir. Bunlar 1,2 ve 3 oksijen atomuna kısmın, bağlanan Si atomlarına karşılık gelir. Bu bağ konfigürasyonları Si ve SiO₂ içinde az bulunurlar. Si / SiO₂ arayüzünde bunlar geometrik kartellerle zorlanırlar. Si ara yüzey atomları, Substrate de Si ile, üst katmanda O ile bağ yapmak zorundadırlar. Orta oksidasyon hallerinin dağılımı ve toplam yüzeyde bağ topolojisinin iyi bir ölçümüdür ve arayüzey modellerinin kritik testini temin ederler. Bu ölçümlerin ikisi de oksit üst katmanının hazırlanmasına dayanırlar. Bu yüzden elektriksel-aktif arayüzey depolarının gerçek sayısının böyle bir deneyde direkt, görülmesi çok düşük

olması gereğine rağmen, bir kişi arayüzey bağ geometrisini kendi elektrik özelliklerine bağlamaya çalışabilir. (Şekil 5.4.a)'daki üst spektrum, termal dengede büyüyen arayüzeyin temsilcisidir, mesela düşük oksijen basıncı ve yükseltilmiş sıcaklık. 1, 2 ve orta oksidasyon halleri altındaki bölge yaklaşık iki Si katmanına karşılık gelir. Bu da geniş bir arayüzey öngörür ki orada Si ve SiO₂ arasındaki Si atom yoğunluğunun uymaması Si oksijenlerle koordinasyonundaki artış ile yükselir / ele alınır. Böyle bir bağ topolojisi özel minimizasyon ölçümleri ile uyumludur. (Şekil 5.4.b)'nin altında gösterilen arayüzey zıt bir durumu temsil eder. Mesela oda sıcaklığında termal dengeden uzak ve artmıştır başından da özelliği kısmen düz bir başlangıç yüzeyi elde etmek için moleküler beam epitaxy'sinin kullanımıdır.

Bu arayüzey otomatik dik limite yakın gelir, çoğu tek bir oksijene bağlı olan orta oksidasyon hallerindeki Si atomlarının tek katmanıyla böyle olur. Bağ yoğunluğu yanlışlığı bu durumda Si atomlarının ikilenmesi tarafından kullanılır ki bu durum bir iki faktörü ile ara yüzey karşısındaki bağların sayısını azaltır. bu tipin ara yüzeylerinin süper elektrik davranışlar gösterdiği görülmüştür. Arttırılmış bozulma durumu gibi özellikler MOS cihazlarının gelecek nesillerinde gittikçe önem kazanacak ki bu durum arka oksit katmanının kalınlığını fiziksel limitlere itecektir. Mesela oksinitritlerde, SiO₂'ye bileşikler ekleyerek arka oksit performansının zarfını genişletmek için birçok yolla test edilmiştir. Nitrojen, oksit'e enjekte edilen ve sıkışan şartlarla kıyaslandığında MOS cihazlarının ömrünü uzatır. (Şekil 5.5) N₂O'da büyüyen oksinitritlerin soğurma spektrasını gösterir. N ve O kapağının bir ölçüsü olarak N1s ve O1s absorbe kenarlarının sebep olduğu absorpsiyonu kullanarak (Şekil 5.5)'in sol ve sağ kenarları artan film kalınlığı ile stokiyometri'de dramatik bir terslik gözlenir Si bağlarının bir hidrojen terminasyonu ile birinci katman baskılanırken, kalın bir 42 Å filmi hemen hemen saf oksittir. Bu ölçüm ALS'de bir undulator ışık huzmesi seviyesinde basit bir akım metre icra edildi. Kenarların altlarına geri plan absorpsiyonunu normalleştirerek bir kalibrasyon elde etmek mümkündür. Bir tekkatman absorpsiyonun da %7'lik bir değişikliğe karşılık gelir. Ölçü oranının dinamik ölçüsü bir tek katmanın

10'dan 100 katmana kadar değişir. (Şekil 5.5)'deki tepeden alta kadarki ölçek değişikliğine dikkat edin. Yüksek uçtaki finite fotoelektron kaçış derinliğinden dolayı sinyalin saturasyonu ve düşük uçtaki ışın stabilizesiyle sınırlıdır.

N 1s ve O 1s absorpsiyonunu monitör etmek için foto-elektronlar yerine floresan fotonlar kullanarak bu tür ölçümler çok daha büyük dinamik oranlar üzerinden mümkün olabilir, çünkü ön kenar arka plan kendinin kaçış derinliği elektronlar için daha uzun olmaktan bir büyüklük düzenidir. Çekme oksidasyon meydana gelirken, ambient gazının floresan fotonlarla karışması, böyle bir deneyin yapılması mümkündür. Katman katman büyüme ve işleme böyle bir kuruluşa gerçek bir zamanda gözlenebilmelidir.

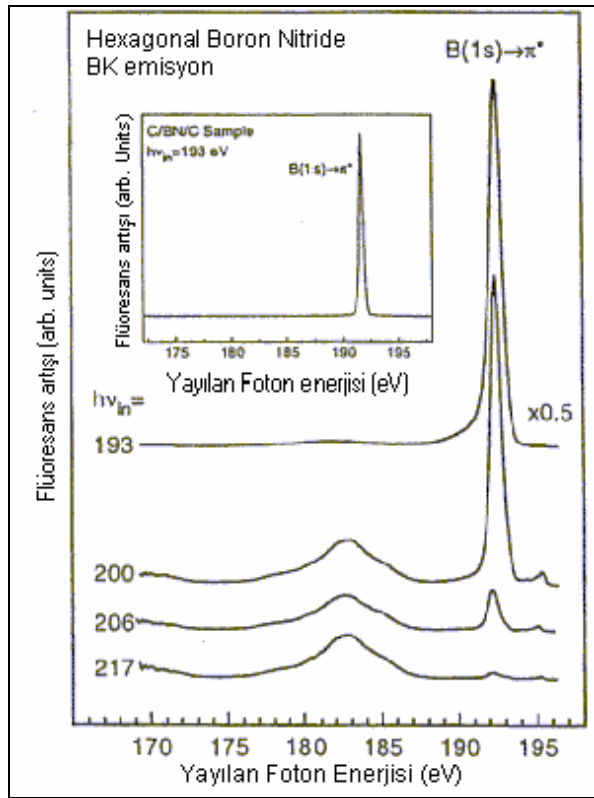


Şekil 5.5. SiO_2 üzerinde büyütülmüş oksinitrid (oxynitride) filmlerin film kalınlığının Stokiyometri (Stoichiometry) ile tersine çevrilmesi [23].

Tek handikap floresan fotonlarının düşük ürünüdür, ki bu şekilde listelenen keskin çekirdek seviyeler için olan foto elektronların 3 büyüklük sırasının altında tipik olarak yer alırlar. Aşağıdaki paragrafta gösterildiği gibi üçüncü

nesil ışık kaynaklarından ötesinde gelinebilir. Bu türünden prototip deneylerin icra edilmiş bulunmaktadır ve floresan tekniği yeni ışık kaynaklarında çabucak notoriety elde edilmiştir.

Aletlerdeki çoğu ara yüzeyler, foto-elektronlar gibi kısa kaçış derinliği ile kendilerini problemlara girebilir kılmak için çok derine gömülüdürler. Floresan burada tekrar imdada gelir Şekil 5.6., 50 Å karbonu altına gömülü olan bir BN tek katmanı için üçüncü nesil bir undulator ışık kaynağı ile izlenmenin olduğunu gösterir [24]. Burada duyarlılığı geliştirmek için özel bir oyun vardır.



Şekil 5.6. Her bir hacim (bulk) BN örneği ve gömülmüş tek katman BN için BN içindeki B 1s kor (core) seviyesi parıldama spektrumu [24].

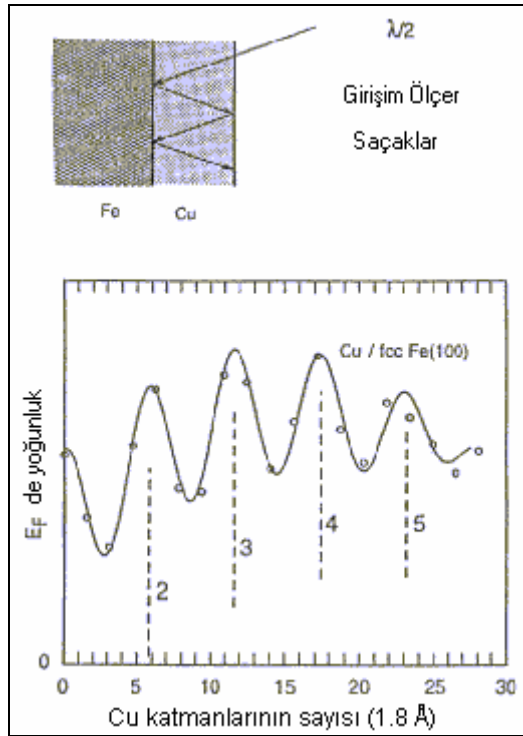
Uyarılma enerjisini en düşük B 1s soğurma özelliğine ayarlayarak yüksek enerjilerde daha fazla uyarılmış gelişmiş floresans ile karşılaşabilir. Bu ise B' nin en düşük boş bir orbitalındaki B 1s elektronlarının uyarılmasına bağlıdır. Böyle bir orbitalın varlığı Boronun elektronik konfigürasyonu hakkında ipuçları

verir. Mesela o kübik BN' de yoktur ki orada, hexagonal BN' nin uzun ömürlü π orbitalının eşiti yoktur.

Elektrik-aktif boron dopantları kendilerinin meşgul olmayan doping seviyelerince gözlemlenir.

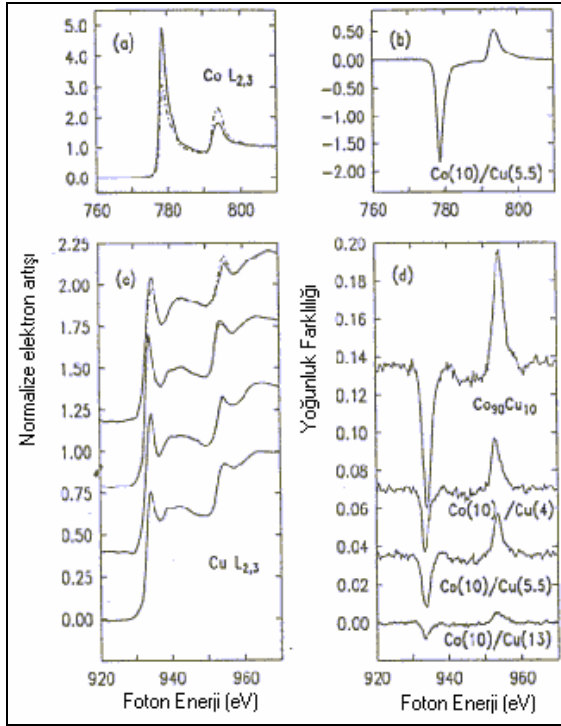
5.2.4. Manyetik çoklu katmanlarda kuantum etkileri

Manyetik tek katmanlar bu yapılarıdaki dev magnetorezistans ve değişken manyetik eşleşmelerin keşfinden beri çok önemli bir konu olmuştur. Bunların dayanaklılığı kısmen düşük dış olanlarda bir iki faktörü ile değişebilir, buda onları state-of-the-art başlıklarının %2 permolloy magnetorezistansını kullandıkları manyetik data disklerinin okuma başlıkları için olan çekici maddeler haline getirir, iki manyetik katman arasındaki manyetik anlaşma (örneğin Co), paralel ve anti paralel arasında asil bir metal spacer'in kalınlığına bağlı olarak değişir (örneğin Cu).



Şekil 5.7. Manyetik bir alt taş üzerindeki soy metal tabakası üzerindeki kuantum kuyusu durumları [25].

Bu olgular yüzey fiziği için entelektüel zorlukları içerir. Dayanaklılık bir dış sahada nasıl bu kadar değişebilir? Manyetik olmayan asil bir metal nasıl manyetik bilgi gönderilir? Multikatmanların manyetik eşlenmesinde kalınlığa dayalı değişiklerin sebep olduğu elektronik halleri araştırırken araştırmacı öncelikle ince filmlerin elektronik hallerini anlamalıdır. Genel olarak bantlar serisi, elektronlar bir ince film üzerinde bulunduklarında ara yüzeye dik yönde farklı hale gelir. Farklılık hallerinin sayısı bant başına filmdeki otomatik katmanların sayısına zaman kuantum kuyu halleri diye etiketlenir. Çünkü bir potansiyel kuyu ile ince film'e bağlandıklarında özellikle böyle telaffuz edilirler. Bu segmentasyon ince asil metal film'ler için manyetik substratelerde (*alt taşlarda*) görülebilir [25]. Fark hallerini gözlemenin özel bir yolu (Şekil 5.7)'de gösterildiği gibi elektronlar için fabry-perot interferometre gibi, asil metal üst katmanını değerlendirmektedir. Kuantum kuyu halleri iki ara yüzey arasında ileri geri yansıtılan Cu filmindeki duran dalgalara karşılık gelir. Üst katman kalınlığına karşı gelen hallerin yoğunluğuna bakarak bu düzenli aralıklı interferens hareketlerini fotoemisyon ile veya zıt fotoemisyon ile görebilir [25]. Bunlar bir kuantum kuyu halinde elektronların yarım dalga boylarında oranlanmışlardır. Altı atomik katmanın periyodisitesi manyetik eşleşmedeki değişikliklerle uyumludur bu tür interferens hareketlerin çeşitli Sinkrotron ışık kaynaklarında spinpolarize emisyonu ile ölçülmeleri, spinpolarozasyonu, aynı periyotla değiştiğini göstermiştir. Böylece asil metol spinpolarize halleri üretmiş ve magnetize olmuştur. Spin araştırması magnitude yoğunluğun 3-4 sırasının kaybını içerdiği için ayarlama gerektiğinden, böyle bir deney undulator temelli Sinkrotron ışık kaynaklarının tam bir uygulamasıdır. Manyetik eşleşmeyi veya bu işleri görmek için Cu boşluk katmanındaki dönüş yoğunluk dağılımının bir resmini görmek iyi olurdu. Ölçümler bu bilgiyi zaten sağlamaktadır. Bir kişi aynı zamanda manyetik sirküler diceheroüm'yi kullanarak deneysel bir giriş yapabilir, örneğin soldan sağ tarafa çekirdek seviyesindeki absorpsiyon değişikliği, sirküler olarak polarize ışık (Şekil 5.8)



Şekil 5.8. Dairesel kutuplu ışıkla kaydedilen Cu ve Co 2p soğurma spektrumu.

Co2p ve Cu2p çekirdek seviyelerini seçerek spin manyetik moment ve angular'ı içeren toplama kaideleri kullanarak, Co ve Cu katmanlarındaki ortalama momentleri elde etmek mümkündür. Cu katman kalınlığını çeşitlendirmek derinlik bilgisi sağlar. Zayıf polarizebiasil metal üzerindeki böyle sirkülerdikroizim deneyleri birkaç percentlin küçük absorpsiyon değişikliklerini incelemek zorundadır. Bunlar sadece yoğun, ayarlanılabilir, polarize Sinkrotron ışık kaynaklarıyla yapılabilir.

Çoklu katmanlar birçok kuantum yapılarından sadece birini temsil eder. Daha genel kavramları değerlendirerek araştırmacı ikincil süper örgülere, kuantum kablolarına ve kuantum noktalara ulaşabilir. Bu noktada kişi böyle yapıların ilginç ve faydalı olgular sağlayıp sağlamayacağını tahmin ederler. Eldeki iş bunları atomik mükemmellekle üretmektir. Litografi gibi geleneksel metotlar bu aşamada işe yaramaz. Atomları bir tarayıcı tünel mikroskopla hareket ettirmek riskli ve sıkıcıdır. Yarıiletken kuantum yapılarından elde edilen tecrübe ile bir kişi misinal bir yüzeyde bir basamaklar düzenini ikinci manyetik

süper örgülerle metalik kuantum kablolar için template olarak kullanılmaya çalışılabilir. Basamaklar, bir basamakta yüksek enerji gölgesi arayan bir metali buharlaştırarak dekore edilebilir ve eğer yüzey enerjileri doğruysa basamak kenarlarında ek atom sıraları bir parçası olur ve bir basamak akış modu oluşturur. Alt tek katman kapakta büyümeyi durdurma ve başka bir materyale geçme arzulan çizgili yapıyı sağlayacaktır. Metal (substrateler) alt taşlar üzerindeki ilk deneyler böyle bir yaklaşımın fizibilitesini test etmek için yollarır. Bu tür kuantum çizgilerinin ve kuantum kablolarının manyetik ve elektronik yapısını keşfetmek için atom spesivike ihtiyacı vardır—supsturale sinyali baskılayan arka plan serbest probu. Çekirdek seviye floresansı bu özelliklere sahiptir ve (Şekil 5.6)'da gösterildiği gibi III. nesil sinkrotron ışık kaynaklarındaki alt tek katman inceleme limitlerine gönderilebilir. Çekirdek seviye absorpsiyon ve dikroizmi floresan kullanarak inceleme sonuca varıcı olabilir. Böyle deneyler yeni III. nesil sinkrotron kaynaklarında bulunabilecek tekniklerin arsenalinde ilginç bir bölümü olmaya adaydırlar.

5.3. Malzeme Bilimi

- Materyallerdeki kusurların gerçek zamandaki gözlemleri
- Moleküler fotofragmentasyonu
- Mikrofabrikasyon araştırmaları
- Açı çözümlemeli X-ışını floresans spektrometresi
- Polimer geliştirilmesinde, katalistlerin optimazyonunda, uzay gemisi endüstrisi için yeni seramiklerin geliştirilmesine ve materyal yaşlanması sürecinin anlaşılmasında X-ışını soğurulma spektroskopisi başarıyla kullanılmaktadır.
- Amorf materyallerin yapısı sert X-ışınları kullanarak incelenebilmektedir.
- X-ışını foto-elektron spektroskopisi
- Arkeometri
- Fiziksel kimya:

- Işıma altında fullerenlerin davranışları.
- Polimerlerin radyasyon kimyasının sinkrotron ışması altında ESR spektroskopisiyle çalışılması.
- Manyetik nano yapıların incelenmesi
- Mikromakineler
- X-ışını astronomisi:
- Uzayda yapılan gözlemlerde kullanılan detektör ve filtrelerin kalibrasyonu.
- Yüksek sıcaklık süper iletkenliğin anlaşılması
- Foto-elektron holografisi
- Akışkanların elektronik özelliklerinin anlaşılmasına.

SI kaynağında üretilen fotonların dalgaboyu ve enerjisine göre teknoloji, tıp, fizik, kimya ve biyoloji alanlarındaki kullanımlarının bir listesi verilmiştir [27].

6. SONUÇLAR

Bu tezde sinkrotron ışınımının tanımı, fiziği, uygulama ve araştırma yerleri incelenmiştir. TAC projesindeki sinkrotron ışınımının ana parametreleri ve demet hatları incelenmiştir. Bunun yanında sinkrotron ışınımının yarıiletken ve katı hal fiziğindeki uygulamaları açıklanmıştır.

Sinkrotron ışınımını kullanarak belirleyen deney teknikleri spektroskopi, saçılma, görüntüleme ve zaman çözümlemeli deneylerdir. Bu tekniklerin kullanılmasıyla tasarlanan ışınım kaynağı da aşağıdaki kullanıcı profiline ağırlıklı olarak hizmet edecektir:

Tıbbi görüntüleme ve radyasyon terapisi

- Anjiyografi
- Bronşografi
- Mamografi
- Bilgisayarlı tomografi
- Mikrodemet radyasyon terapisi
- Foton aktivasyon terapisi

Makromoleküler Kristalografi

- Yüksek kapasite Kristalografi
- Enzim mekanizması
- Supra-moleküler yapı
- Moleküler tanıma
- Nükleer asitler
- Yapısal genomik
- Protein yapısı ve ilaç tasarımı

Malzeme bilimi

- Yüksek sıcaklık süper iletkenliği
- Manyetizma ve manyetik malzemeler
- Kompleks malzemeler

- Ağır fermiyonun davranışı
- 2 boyutlu yük-yoğunluk-dalga malzemeleri
- Nano yapılar ve yarıiletkenler
- Polimerler, Biyomalzemeler ve yumuşak madde

Çevre ve Yer Bilimi

- Ağır metallerin, radyonüklidlerin, toksik organik bileşiklerin belirlenmesi
- Atıkların taşıma yollarının ve toplandığı yerlerin araştırılması
- Atıkların ekosistem üzerindeki etkisinin araştırılması
- Çevre gözetimi için araçların geliştirilmesi

Mikromekanik ve nanoteknoloji

- Membranlar, işaretleme ve transport
- Makromoleküler oluşumlar ve makineler
- Mikroelektronik araç teknolojisi
- Mikromakine yapımı ve mikrofabrikasyon
- Optoelektronik ve yarıiletken imalatı
- Kristalografik nanoteknoloji

Kimya ve katalizleme

- Kimyasal Dinamik
- Heterojenler
- Nano ölçekte kimya
- Biyokimya ve organik kristal kimyası
- Radikallerin dinamiği
- Katalitik girişimler [26]

KAYNAKLAR

1. Jackson J.D., "Classical Electrodynamics", **Wiley**, New York, 47-53 (1962).
2. Ciocci F., "Insertion Devices for Synchrotron Devices for Synchrotron Radiation and Free Electron Laser", **World Scientific**, Singapore, 2: 107-118, (2000).
3. Wiedemann H., "Particle Accelerator Physics I", **Springer-Verlag**, 52-56 (1993).
4. Turner ed S., "Proc of CERN-Accelerator School (CAS) on Synchrotron Radiation and Free Electron Lasers", **CERN-Accelerator School**, CAS, 90-03 (1990).
5. Turner ed S., "Proc. Of CERN-Accelerator School (CAS) on General Accelerator Physics", **CERN-Accelerator School**, CAS,1: 94-01 and 2: 94-12 (1994).
6. Dattoli G., Renieri A. and Torre A., "Lectures on the Free Electron Laser Theory and Related Topics", **World Scientific**, Singapore, 3: 30-42 (1995).
7. Çiftçi A.K., "Linac-Ring Type Factory for Basic and Applied Researches", **Turkish J.of Physics**, 24: 747-758 (2000).
8. Yavaş Ö., Çiftçi A.K., Sultansoy S., "TAC Propsal for Fundamental and Applied Research: Linac-Ring Type Phi-Factory", **Proc. Of the 7 th European Particle Accelerator Conference, EPAC2000**, Wien, Austria, 26-30 (2000).
9. Çiftçi A.K., Recepoğlu E., Sultansoy S., Yavaş Ö., Yılmaz M., "Ulusal Hızlandırıcı Projesi Sonuç Bulguları", **TFD**, 26-29 (2000).
10. Çiftçi A.K., Sultansoy S., Yavaş Ö., Yılmaz M., "TAC Proposal For Fundamental and Applied Research", **I Eurasia Conference on Nuclear Science and Its Application**, İzmir, 23-27 (2000).
11. Philip J. Bryant, Kjell Johnsen, "The Principles of Circular Accelerator and Storage Rings", **Cambringe University Pres**, 78-84 (1993).
12. Martin Raiser, "Theory And Design of Charged Particle Beams", **Wiley Inc.** , New York, 142-153 (1994).

13. Morio Conte, William W. Mackay, "An Introduction To The Physics of Particle Accelerators", **World Scientific**, London, 152-177 (1991).
14. D'Amico K.L., Terminello L.J. and Shuh D.K. (eds.), "Synchrotron Radiation Techniques in Industrial", **Chemical and Materials Science, Plenum Pres**, New York, 39-44 (1996).
15. Mais H., "Some topics in beam dynamics of storage rings", **DESY** 96-119 (1996).
16. T. Suntola, "Cost-effective processing by atomic layer epitaxy", **Thin Solid Films**, 225 96 (1993).
17. Lapiano-Smith D.A., Himpsel F.I., and Terminello L.J., "Epitaxy of LiF on Ge(100)", **Appl.Phys.Lett** 59: 2174-2176 (1991).
18. Himpsel F.J., McFeely F.R., Taleb-Ibrahimi A., Yarmoff J.A., and Hollinger G., "Microscopic structure of the SiO₂/Si interface", **Phys. Rev. B** 38, 6034-6096 (1982).
19. Himpsel F.J., Akatsu H., Carlisle J.A., Terminello L.J., Hudson E.A., Jia J.J., Cacott T.A., Perera R.C.C., Samant M.G., Stöhr J., and Ederer D.L., "Proceedings of the Sympasium on "Silicon Nitride and Silicon Dioxide Thin Insulating Films", **Electrochemical Society**, San Francisco, California 22-27 (1994)
20. Georgson M., Bray G., Claesson Y., Nordgren J., Ribbing C.G., and Wassdahl N., Vac J., "In situ chemical analysis. in thin film production using soft X-ray", **Sci. Tech., A** 9: 638-639 (1991).
21. Pireaux J.J., Svensson S., Basilier E., Malmqvist P.A., Gelius U., Caudano R., Siegbahn K., "Core-electron relaxation energies and valence-band formation of linear alkanes studied in the gas phase by means of electron spectroscopy", **Phys. Rev. A** 14: 2133-2145 (1976).
22. Carbone C., Vescovo E., Rader O., Gudat W., and Eberhardt W., "Exchange split quantum well states of a noble metal film on a magnetic substrate", **Phys. Rev. Lett.**, 71: 2805-2808 (1993).
23. J.E. Ortega and F.J. Flimpsel, "Quantum well states as mediators of magnetic coupling in superlattices", **Phys. Rev. Lett.**, 69: 844-847 (1992).
24. K. Garrison, Y. Chang, and P.D. Johnson, "Spin polarization of quantum well states in copper thin films deposited on a Co(001) substrate", **Phys. Rev. Lett.**, 71: 2801-2804 (1993).

25. Samant M.G., Stohr J., Paring S.S.P., Held G.A., Hermsmeier B.D., and Herman F., "Induced spin polarization in Cu spacer layers in Co/Cu multilayers", **Phys. Rev. Lett.**, 72, 1112-1115 (1994).
26. Pizzini S., Giorgetti C., Fontaine A., Dartyge E., Kriil G., Bobo J.F., and Piecuch M., "X-ray magnetic circular dichroism study of the induced spin polarization of Cu in Co/Cu and Fe/Cu multilayers", **Mat. Res. Soc. Symp. Proc.**, 313, 625 (1993).
27. Proje Sonuç Raporu, "Sinkrotron Işınımı ve Serbest Elektron Lazeri Üretimi ve Kullanımı İçin Genel Tasarım", Proje No: **DPT-2003K-1201906-5** (2006).
28. Proje Sonuç Raporu, "Parçacık Hızlandırıcıları: Türkiye'de Neler Yapılmalı?", Proje No: **DPT-97K-120420** (2000).
29. Proje Sonuç Raporu, Türk Hızlandırıcı Kompleksinin Genel Tasarımı, Proje No: **DPT-2002K-120250** (2002-2005).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GENÇ, Banu Nurşat
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 14.01.1979 Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (535) 983 72 91
e-mail : banunursat@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lise	Ankara Gazi Lisesi	1997
Lisans	Gazi Üniversitesi /Fizik Bölümü	2003

Yabancı Dil

İngilizce