

**RAL ISIS (İngiltere) LABORATUVARININ HIZLANDIRICILARI ve
UYGULAMA ALANLARI**

Arslan ÇAYLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2007
ANKARA**

Arslan ÇAYLAN tarafından hazırlanan RAL ISIS (İngiltere) LABORATUVARININ HIZLANDIRICILARI ve UYGULAMA ALANLARI adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Saleh SULTANSOY
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile FİZİK anabilim dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Cüneyt CAN

Üye : Prof. Dr. Saleh SULTANSOY

Üye : Prof. Dr. Ömer YAVAŞ

Üye : Prof. Dr. Ergün KASAP

Üye : Doç. Dr. Eyüp TEL

Tarih : 29.01.2007

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.

Arslan ÇAYLAN

**RAL ISIS (İngiltere) LABORATUVARININ HIZLANDIRICILARI VE
UYGULAMA ALANLARI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Arslan ÇAYLAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2007

ÖZET

Türk Hızlandırıcı Merkezi projesi çerçevesinde kurulması öngörülen GeV enerjili proton hızlandırıcılarına örnek olması amacıyla dünyanın önde gelen hızlandırıcı merkezlerinden RAL ISIS incelenmiştir. ISIS Merkezinin genel yapısı, ISIS’de bulunan hızlandırıcılar, nötron ve müon demet hatları ve deney istasyonları irdelenmiştir. Nötron ve müon demetleri kullanılarak yapılan binlerce araştırma ve uygulamalardan bazılarının detayları verilmiştir.

Bilim Kodu : 221.1.149
Anahtar Kelimeler : RAL, ISIS, proton sinkrotronu, nötron demeti, müon demeti
Sayfa Adedi : 80
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Saleh Sultansoy

**RAL ISIS (ENGLAND) LABORATORY'S ACCELERATORS AND
APPLICATIONS**

(M.Sc. Thesis)

Arslan ÇAYLAN

**GAZİ UNİVERSTY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2007

ABSTRACT

In this thesis, the RAL ISIS research center, one of the leading accelerator centers in the world, is analyzed keeping in mind the GeV energy proton accelerator proposed in the framework of Turkic Accelerator Complex Project. The structure of the center, accelerators, neutron and muon beamlines and experimental stations have been considered. Several applications (among thousands) of neutron and muon beams are presented in detail.

Science code : 221.1.149

Key words : RAL, ISIS, proton synchrotron, neutron beam, muon beam

Page number: 80

Advisor : Prof. Dr. Saleh Sultansoy

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Saleh SULTANSOY'a yine kıymetli desteklerini esirgemeyen hocalarım Prof. Dr. Abbas Kenan ÇİFTÇİ, Prof. Dr. Ömer Yavaş, Doç. Dr. Eyüp TEL ve Yrd. Doç. Dr. Metin YILMAZ'a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca tezin hazırlanması sürecinde desteklerini esirgemeyen değerli eşim Emine ÇAYLAN'a ve arkadaşlarım Pehlül Serkan BİLGİN ve Erdoğan AKYAZI'ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu tez DPT'2002K120250 nolu "Türk Hızlandırıcı Kompleksi Genel Tasarımı" isimli DPT projesi tarafından kısmen desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. HIZLANDIRICILARA GENEL BAKIŞ	4
2.1. Lineer Hızlandırıcıları (Linac)	4
2.2. Siklotron Hızlandırıcısı	5
2.3. Sinkrotron Hızlandırıcısı	6
3. ISIS HIZLANDIRICI MERKEZİ(RAL)	8
3.1. Rutherford Appleton Laboratuvarı.....	8
3.2. ISIS (Pulsu Nötron ve Müon Üretim Merkezi).....	10
3.2.1. Pulsu kaynağın özellikleri.....	11
3.2.2. Nötron saçılmasının uygulama alanları.....	11
3.2.3. Nötron saçılması ve malzemeler.....	11
3.3. ISIS'in Bilimsel Programı.....	15
3.3.1. ISIS Hızlandırıcı Merkezinde yapılan uygulamalardan örnekler.....	15
3.4. ISIS'de Araştırma Bölümleri ve ISIS Aygıtları.....	21
3.4.1. Kristalografi.	21

	Sayfa
3.4.2. Düzensiz malzemeler.....	22
3.4.3. Büyük ölçekli yapılar.....	23
3.4.4. Uyarılmalar	24
3.4.5. Moleküler spektroskopi.....	24
3.4.6. Müon spektroskopisi.....	25
3.4.7. Mühendislik.....	26
3.4.8. Veri analizi	27
3.4.8. Teori.....	27
4. ISIS HIZLANDIRICILARI.....	29
4.1. İyon Kaynağı	29
4.2. 665 keV'lik Cockcroft-Walton (DC) İyon Hızlandırıcısı.....	30
4.3. 70 MeV'lik Lineer Hızlandırıcı.....	30
4.4. Proton Sinkrotronu.....	32
4.4.1. H ⁻ İyonların ve protonların hızları.....	34
4.5. ISIS'deki Hedefler ve Soğutucular.....	35
4.5.1. İkinci hedef istasyonu (2. nötron hedefi).....	37
4.6. İkincil Demetler.....	39
5. ISIS DENEY İSTASYONLARI.....	42
5.1. Nötron Deney İstasyonları.....	42
5.1.1. LAD deney istasyonu.....	42
5.1.2. HRPD deney istasyonu	44
5.2. Müon Deney İstasyonları	46
5.2.1. EMU deney istasyonu.....	47
5.2.2. MuSR deney istasyonu.....	49

Sayfa

5.2.3. RIKEN-RAL deney istasyonu.....	51
6. ISIS'DE MÜON ÜRETİMİ VE MÜON DEMET KANALI	52
6.1. Müon Üretimi ve Fiziği.....	52
6.2. Müon Üretimi ve Hedefler	52
6.3. Müonlar ve Pionlar.....	53
6.4. Müon Demet Kanalının Tasarımı.....	54
6.5. Demet Bozunum Kanalı	59
6.6. Bozunan Müon Demetinin Ayarlanması.....	60
6.7. Pozitif ve Negatif Müonlar.....	61
6. 8. Sürekli ve Pulsu Demetler.....	61
6.9. Müon Bölgesi ve Kullanım Alanları.....	63
6. 9.1. Müon bölgesi.....	63
6. 9.2. Müon katalizörlü füzyon (μ CF).....	65
6. 9.3. Enerji üretimi.....	66
7. ISIS HIZLANDIRICI MERKEZİ UYGULAMA ALANLARI.....	69
7.1. CdS ve GaN'nın Merkezinde Toplanan Hidrojen Eksiklikleri İçin Müon Modelleri.....	69
7.2. İnce Film Süperiletken Örneklerde Manyetik Alan Dağılımları.....	72
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	76
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	80

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. H ⁻ iyonları ve protonların hızları.....	34
Çizelge 4.2. İkinci hedef istasyonunun temel parametreleri	38
Çizelge 5.1. Demet parametreleri.....	43
Çizelge 5.2. Dedektör parametreleri.....	43
Çizelge 5.3. LAD dedektör takımının parametreleri.....	44
Çizelge 5.4. HRPD'ye gelen demetin ve dedektör takımının özellikleri	45
Çizelge 5.5. EC yüzey müon demetinin özellikleri.....	46
Çizelge 5.6. EMU deney istasyonunun parametreleri	48
Çizelge 5.7. MuSR deney istasyonunun parametreleri.....	49
Çizelge 6.1. Pionların özellikleri.....	54

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dünya çapındaki proton hızlandırıcılarının güç grafiği.....	7
Şekil 3.1. ISIS hızlandırıcıları ve hedef istasyonları.....	10
Şekil 3.2. Merkez molekülün etrafındaki metanol moleküllerinin uzaysal yoğunluğu	12
Şekil 3.3. DNA etrafındaki suyun yapısı	13
Şekil 3.4. ENGİN-X’de nötronlarla görüntü.....	14
Şekil 3.5. AlMePo- beta’nın organik kanallarının görünüşü	15
Şekil 3.6. SANDALS saçılım deneylerinden elde edilen, ferrosin molekülünün etrafında toluen molekülünün tahmini dağılımı.....	23
Şekil 3.7. Corone molekülünün TOSCA’da inelastik saçılma spektrumunun şematik gösterimi.....	25
Şekil 3.8. Radikal rezonansları: cyclohexadienyl radikalinin radyo-frekans μ SR sinyali; elde edilen müonun benzen içine implantasyonu.....	26
Şekil 3.9. ENGİN-X deney istasyonunda yapılan bir deney; çember şeklindeki metalin kaynak yapılan kısmının gerilimi (a) kaynak yaparak birleştirildiğinde, (b) kaynaktan sonraki rahatlama davranışı (c) ve düzelme.....	27
Şekil 4.1. 665 keV’lik Cockcroft-Walton (DC) İyon Hızlandırıcısı.....	30
Şekil 4.2. Lineer hızlandırıcı tankının görünüşü	31
Şekil 4.3. ISIS Sinkrotronunun görünümü.....	32
Şekil 4.4. Hedef, reflektör ve soğutucu (TRAM).....	35
Şekil 4.5. Hedef istasyonun görünüşü.....	36
Şekil 4.6. Hedef modülü.....	37
Şekil 4.7. ISIS 1. hedef istasyonun, demet kanallarının ve deneysel çalışma istasyonlarının görünüşü.....	40

Şekil	Sayfa
Şekil 4.8. ISIS 2. hedef istasyonunun demet kanallarının ve deneysel çalışma istasyonlarının görünüşü.....	41
Şekil 5.1. EC yüzey müon merkezinin demet kanallarının ve deneysel çalışma alanlarının görünüşü.....	46
Şekil 5.2. EMU spektrometresi	47
Şekil 5.3. MuSR spektroskopisi dedektörleri.....	49
Şekil 5.4. RIKEN-RAL müon merkezinde demet kanallarının ve deneysel çalışma alanlarının görünüşü.....	51
Şekil 6.1. Protonların hedefe çarpmasıyla oluşan parçacıklar.....	53
Şekil 6.2. Müon demet kanalı.....	54
Şekil 6.3. Tekli lens.....	55
Şekil 6.4. Kuadrapol mağnetin yapısı.....	56
Şekil 6.5. Üçlü lenslerin yapısı	56
Şekil 6.6. Kuadrapol mağnette parçacık yörüngeleri.....	57
Şekil 6.7. Demetin elektrik ve mağnetik kuvvetler etkisindeki hareketi.....	57
Şekil 6.8. Pressesion frekansının pulsa bağlı değişimi.....	58
Şekil 6.9. Kicker'dan çıkan birincil, ikincil pulslar.....	58
Şekil 6.10. Üretim hedefinden numuneye demetin gönderilmesi.....	59
Şekil 6.11. Kuadrapol mağnette parçacık yörüngeleri.....	60
Şekil 6.12. Pion momentumunun müon momentumuna bağlı değişimi.....	60
Şekil 6.13. Demetin, demet kanalındaki hareketi.....	62
Şekil 6.14. Numunedeki demet büyüklüğü.....	63
Şekil 6.15. (dt μ) molekülünün oluşumunda negatif müonların döngüsü.....	66
Şekil 7.1. EMU'da 3,7 K da CdS'de kaydedilen müon spin rotasyonu sinyali ve Fourier dönüşümü.....	70

Şekil	Sayfa
Şekil 7.2. CdS'deki hidrojen veya müonyum verici durumları için molekül yapısı (a) ve enerji seviyeleri şeması (b)	71
Şekil 7.3. Süperiletken bir hücredeki akı çizgilerinin oluşturduğu kafesin şematik gösterimi ve girdap yapılarından kaynaklanan periyodik manyetik akı yoğunluğu değişimi.....	73
Şekil 7.4. 150 nm (a) ve 300 nm (b) kalınlığındaki kurşun numuneler için süperiletken durumların spin asimetrisi.....	74
Şekil 7.5. 7.4 (a) ve 7.4 (b)'deki numuneler için manyetik akı yoğunluğunun değişimi.....	75

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. CCLRC Rutherford Appleton Laboratuvarının İngiltere'deki yeri	8
Resim 3.2. Rutherford Appleton Laboratuvarının üstten görünüşü.....	9
Resim 3.3. Pürüzlü yüzeyden ayrılan katyonların yapısının gösterilmesi	12
Resim 3.4. Bir volkan dağıının patlaması.....	13
Resim 3.5. Nötronlarla çalışma alanları	14
Resim 4.1. 17 keV'lik iyon kaynağı.....	29

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve açıklamaları ile birlikte aşağıda verilmiştir.

Simgeler	Açıklama
W	Bozon
DC	Doğru Akım
I	Akım
AVF	Azimutal Değişken
TAC	Turkic Accelerator Complex
PSI	Paul Scherrer Enstitüsü
CERN	Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
EPB	Proton Demet Hattı
PNR	Polarize Nötron Saçılımı
CCLRC	Merkezi Araştırma Kurulu Laboratuvarları
RAL	Rutherford Appleton Laboratuvarı
ISIS	Pulslu Nötron ve Müon Üretim Merkezi
MeV	Mega elektronvolt
GeV	Giga elektronvolt
mA	Miliamper
MW	MegaWatt

1. GİRİŞ

Yüksek teknolojinin üretimine dayanan gelişmiş bir ekonomi, günümüzde devletleri güçlü kılan en önemli faktörlerden birisidir. Yüksek teknolojilerin geliştirilmesi ve üretilmesi hiç kuşkusuz temel bilimsel araştırmalara dayanmaktadır. Hızlı ve sürekli gelişmenin temelinde, ülke özellikleri göz önünde tutularak hazırlanan, etkin bir bilim ve teknoloji stratejisinin uygulanması yatmaktadır [1].

Parçacık Hızlandırıcıları 21. yüzyılın stratejik teknolojilerinden biridir. Diğer stratejik teknolojilerin, öncelikli alanların ve alt-alanların büyük çoğunluğunun gelişmesi hızlandırıcılara bağlıdır. Parçacık Fiziği, diğer adıyla Yüksek Enerji Fiziği, 21. yüzyılın öncelikli araştırma alanlarından biridir. Tüm gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin ulusal hızlandırıcı merkezleri vardır [1].

Geleceğin Teknolojisi Olarak Parçacık Hızlandırıcıları

Hızlandırıcı teknolojisi 1930'lu yıllarda gelişen bir teknolojidir. Son 20-30 yıl içinde de çok büyük aşama kaydetmiştir. Başlangıçta bu daha çok parçacık fiziği ve nükleer fizik alanlarında temel araştırmalara yönelik bir teknolojiydi. Proton, elektron gibi elektrik yüklü parçacıklar yüksek enerjilere ulaşmaya kadar hızlandırılır ve durgun hedef ile veya birbirlerine çarpıştırılarak doğa hakkında en temel bilgilerin elde edilmesinde kullanılmaktadırlar. Ne kadar yüksek enerji olursa o kadar küçük mesafeleri incelememizi sağlar.

21. yüzyılın stratejik teknolojilerinden biri olan hızlandırıcıların 300'den fazla kullanım alanları vardır. Mesela, İnsan Geni Haritalanması (GENOM) Projesi'nde DNA'ların yüzde 90'ını hızlandırıcılar kullanılarak çözülmüştür. Diğer taraftan, iyon hızlandırıcıları ise mikro elektronik alanında büyük gelişmeler sağlamıştır. Dolayısıyla bu liste daha çok uzatılabilir. Dünyada 15 binden fazla orta ve büyük çaplı hızlandırıcılar vardır. Bunlardan sadece 110'u parçacık ve nükleer fizikte temel araştırmalar için kurulmuştur, kalanlar ise tıp ve sanayi başta olmakla birlikte diğer alanlarda kullanılmaktadır.

Enerji üretimi, parçacık hızlandırıcılarının 300 kadar kullanım alanından sadece bir

tanesisidir. Aslında 1950’li yıllarda hızlandırıcı sürümlü sistemler fikri ortaya atılmıştır. Ancak o yıllarda hızlandırıcı teknolojisi bu sürecin yapılabilmesine imkan vermemiştir. 1990’lı yılların hızlandırıcı teknolojisi artık yeni nesil reaktör sistemlerin kurulmasına imkan vermektedir.

Hızlandırıcı sürümlü sistemler toryumu yakıt olarak kullanma imkanı veriyor [2]. Bizim açımızdan en önemli konu da budur. Aslında bu insanlığın gelecek yüzyıllar için enerji sorununu çözüyor ama yüksek enerji fiziği açısından önümüzdeki yıllarda çok daha etkili enerji kaynakları ortaya çıkacaktır. Bütün dünyada hızlandırıcılara 10 milyarlarca dolar harcanmaktadır. OECD ülkeleri şöyle dursun, komşularımızdan Rusya’da çok büyük hızlandırıcı merkezleri bulunmaktadır. 3 milyon nüfuslu Ermenistan 1960’larda kurduğu 6 GeV’lik hızlandırıcıya sahip iken 2010’a kadar yeni bir çok daha ileri hızlandırıcı merkezi kurmayı planlıyor. Bütün alanlarda kullanıldığı için elde edilen bilgiler teknolojik ve toplumsal gelişime ivme kazandıracaktır. Ama ne Türkiye’de, ne de Türk Cumhuriyetlerinde benzer bir çalışma yapılmamaktadır [1].

Yirmi Birinci Yüzyılın “Nükleer Fiziği”

Parçacık Fiziği (diğer adı ile Yüksek Enerji Fiziği) 21. Yüzyılın ~15 öncelikli AR-GE alanından biridir, Parçacık Hızlandırıcıları ise 21. Yüzyılın ~10 stratejik teknolojisi arasında çok önemli yer tutuyor [3].

Kısaca söylesek Parçacık Fiziği 21.Yüzyılda, Nükleer Fiziğin 20. Yüzyılda oynadığı role taliptir [4]. Birinci sanayi devrimi alt-süreç düzeyinde biyolojik enerjiden kimyasal enerjiye geçiş ile birim süreçte enerji açısından 10-100 kat kazanımdan kaynaklandı. İkinci sanayi devriminde kimyasal enerjiden nükleer enerjiye geçiş ile bu kazanım 100.000 kat oldu. Bugün parçacık fiziğinde ulaşılan enerji skalası nükleerin 10.000 katıdır.

YEF alanında gelişmeler bir çok alanda atılımı sağlıyor. Örneğin, hepimizin kullandığı World Wide Web CERN’de geliştirildi. Yarının bilişiminin belkemiğini oluşturacak GRID yüksek enerji fiziği ürünlerindedir. YEF için geliştirilen parçacık

detektörleri tıp başta olmak üzere bilim ve teknolojinin bir çok alanında etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

20. yüzyılın gelişmesi Rutherford'un meşhur deneyine bağlıdır. 1905 yılında Einstein'ın yayınladığı üç çalışma çağdaş bilimin oluşmasına çok büyük katkıda bulundu. Bununla birlikte, 1911 yılında meşhur Rutherford deneyi yapıldı ve bu deney 20. yüzyılın bilim ve teknolojisinin temelini oluşturdu. Alfa parçacıklarının çekirdekten saçılmasından dolayı maddenin çekirdek ve etrafında dolanan elektronlardan oluştuğunu öğrendik. Çağdaş kimya ve biyoloji, bilişim teknolojisinin temelini oluşturan elektronik dahil bütün bildiğimiz teknolojiler bu deneye dayanmaktadır. Şimdi deneyler çok daha yüksek enerjilerde yapılıyor ve çok daha küçük mesafeleri incelemeye imkan sağlıyor. Hızlandırıcı teknolojisi kullanılarak özellikle temel araştırmalar sonucunda elde edilecek bilgiler 21. yüzyılın çehresini oluşturacaktır.

Bu merkezlerin oluşması ve etkin çalışması için temelinde en azından bir mega-proje yatması gerekiyor. Türk Hızlandırıcı Kompleksi (TAC), Türkiye ve Türk Dünyasında Yüksek Enerji Fiziğinin ve Hızlandırıcı Teknolojisinin gelişmesi için önerilen bir mega-projedir. TAC projesinin Teknik Tasarım aşamasına taşınması Devlet Planlama Teşkilatının 1997 yılından verdiği destek ile mümkün olmuştur.

Bu çalışmada ISIS Hızlandırıcı Merkezinin genel yapısı ve proton sinkrotronunun müon bölgesindeki katı hal fiziği uygulamaları hakkında bilgi verilmiştir. Kurulması planlanan Türk Hızlandırıcı Kompleksindeki proton sinkrotronunun müon bölgesinde çalışılabilecek konulara örnek olması hedeflenmiştir.

2. HIZLANDIRICILARA GENEL BAKIŞ

Hızlandırıcılar; elektron ve proton gibi yüklü temel parçacıkları, belirli bir amaç çerçevesinde, belirlenen bir enerjiye ulaşmaya kadar hızlandırılmasını sağlayan aygıtlardır. Hızlandırıcıların tasarımı, hangi amaç için kullanılacaklarına bağlı olarak önemli değişiklik gösterir. Bazı durumlarda yüksek enerji, bazı durumlarda ise yüksek yoğunluk gereklidir. Hızlandırıcılarda elektrik alan, yüklü parçacıkları hızlandırmak için; manyetik alan ise demeti odaklamak ve saptırmak için kullanılır.

1920 yılında yapılan bir fizik konferansında Rutherford, nükleer fizik araştırmalarında kullanılması için parçacık hızlandırıcılarının geliştirilmesini önermiştir. Cockcroft ve Walton, Rutherford'un Cavendish laboratuvarında başarılı bir hızlandırıcı tüp geliştirdiler. İlk çevrimsel hızlandırıcı 1925'te Ising tarafından önerilmiş ve Widereo bu düşünceyi geliştirerek 1928'de çalışan bir lineer hızlandırıcı inşa etmiştir. Bu hızlandırıcıda civa iyonları radyo-frekans voltajı ile hızlandırılmıştır. 1932 yılında Cockcroft-Walton, proton hızlandırıcısı ile hızlandırılan protonları Li çekirdekleri ile çarpıştırılmıştır. Daha yüksek elektrostatik hızlandırma potansiyelleri ise Van de Graff jeneratörü ile elde edilmiştir. Bu hızlandırıcı ile enerji olarak MeV düzeyine ulaşılmıştır. Yükselen enerjilerde sürüklenme tüplerinin sayısında görülen artış, dairesel hızlandırıcı fikrini ortaya koymuştur.

1940'lı yılların sonlarından başlayarak gelişen teknoloji ile ortalama her yedi yılda bir, hızlandırıcılarla ulaşılan enerjinin üst sınırı on kat artmış ve günümüzde TeV mertebesindeki enerjilere ulaşılmıştır. Çeşitli hızlandırıcı tipleri arasında; linac, siklotron ve sinkrotron dairesel hızlandırıcısı en önemlileridir.

2.1. Lineer Hızlandırıcılar (Linac)

Lineer hızlandırıcılarda, lineer bir tüp içerisine belli sayıda elektrot yerleştirilmiş bir düzeneğe iyonlar enjekte edilir. Elektronların her iki tarafına uygulanan alternatif voltaj uygun şekilde belli aralıklarla sıralanmış elektrotların fazları değiştirilerek hareketlenen iyonların hızlanmaları sağlanır.

1928 yılında R. Widoreo tarafından tasarlanan lineer hızlandırıcı ile 50 keV'lik pozitif iyonlar hızlandırılmış ve ikinci dünya savaşından sonra hem elektron hem de proton hızlandırmak için kullanılmıştır. Stanford Üniversitesi'nde bulunan 3 km uzunluğundaki lineer hızlandırıcı, en uzun lineer hızlandırıcı olup elektron veya pozitronu 50 GeV'e kadar hızlandırılmaktadır.

2.2. Siklotron Hızlandırıcısı

İyonları MeV mertebesinde hızlandırabilen, en iyi bilinen ve en yaygın kullanılan hızlandırıcılardır. Lineer hızlandırıcılarda olduğu gibi bu hızlandırıcılarda da değişen fazlar yardımıyla iyonlar hızlandırılır. Siklotron hızlandırıcısında demet, manyetik alanın etkisiyle dairesel bir yol izler ve parçacıklar D'ler adı verilen yarım daire şeklindeki metal odalar içinde hareket eder. D'ler arası aralıkta ise parçacıklar hızlandırıcı gerilimin etkisini duyarlar ve her dönüşte küçük bir miktar enerji kazanırlar. Demet spiral bir yörünge çizdiği için yarıçap sabit kalmamaktadır. Siklotron tasarımı fikri, ilk olarak 1929 yılında Ernest Lawrence (Berkeley) tarafından ortaya atılmış ve ilk deneysel siklotron 1931 yılında Berkeley'de M. Stanley Livingston tarafından yapılmıştır. D'ler 12,5 cm yarıçapındaydı ve siklotron 1,3 T alanda 1,2 MeV enerjili protonlar üretebiliyordu. Buna karşılık gelen frekans 20 MHz dolayındaydı.

Görelî hızlarda, demetin hızı olan v değeri artarken rezonans durumunu korumak için B değerini de arttırmak gerekir. Bu yüzden büyük yarıçaplarda manyetik alan daha büyük olmalıdır. Manyetik alan artırıldığı zaman ise istenmeyen bir takım saçılma etkileri oluşmaktadır. Bu problemi aşmak için, sinkrosiklotron adı verilen frekans modülasyonlu siklotronda olduğu gibi değişken bir frekans kullanılabilir. İlk defa 1946'da çalıştırılan Berkeley sinkrosiklotronu en yüksek enerjiye sahip sinkrosiklotronudur. Elde edilen protonların enerjisi 740 MeV ve ortalama demet akım $0,1 \mu A$ 'dır. Aynı boyutlarda diğer önemli iki sinkrosiklotron, Dubna'da ve Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi'nde (CERN) çalıştırılmaktadır.

Siklotronları yüksek enerjilere ulaştırmak için alternatif bir çözüm, artan yörünge yarıçapı ile birlikte manyetik alanı da arttırmak için, manyetik alanı birbirini takip

eden yüksek ve düşük değerli bölgelere bölmektir. Burada amaç, manyetik alanın artırılmasıyla dağılan demetin yeniden odaklanmasını sağlamaktır. Bu tür bir siklotrona bölge odaklı veya AVF (azimutal olarak değişen alan) siklotronu denir. AVF siklotronların, sinkrosiklotronlara göre en büyük avantajı sürekli bir demet ve dolayısıyla daha yüksek demet akımları ($100 \mu\text{A}$ mertebesinde) olanağı sunulmaktadır. İlk AVF siklotronlarından olan ve ilk kez 1961 yılında çalıştırılan Oak Ridge eş zamanlı siklotronu (ORIC), $100 \mu\text{A}$ akımla enerjisi 70 MeV değerine ulaşan protonlar üretebilmektedir. Daha büyük bir AVF siklotronu olan TRIUMF, Kanada'da kurulmuştur. 520 MeV'lik protonları üretebilen TRIUMF, protonlarla gerçekleştirilebilen nükleer reaksiyonları araştırmak için tasarlanmıştır.

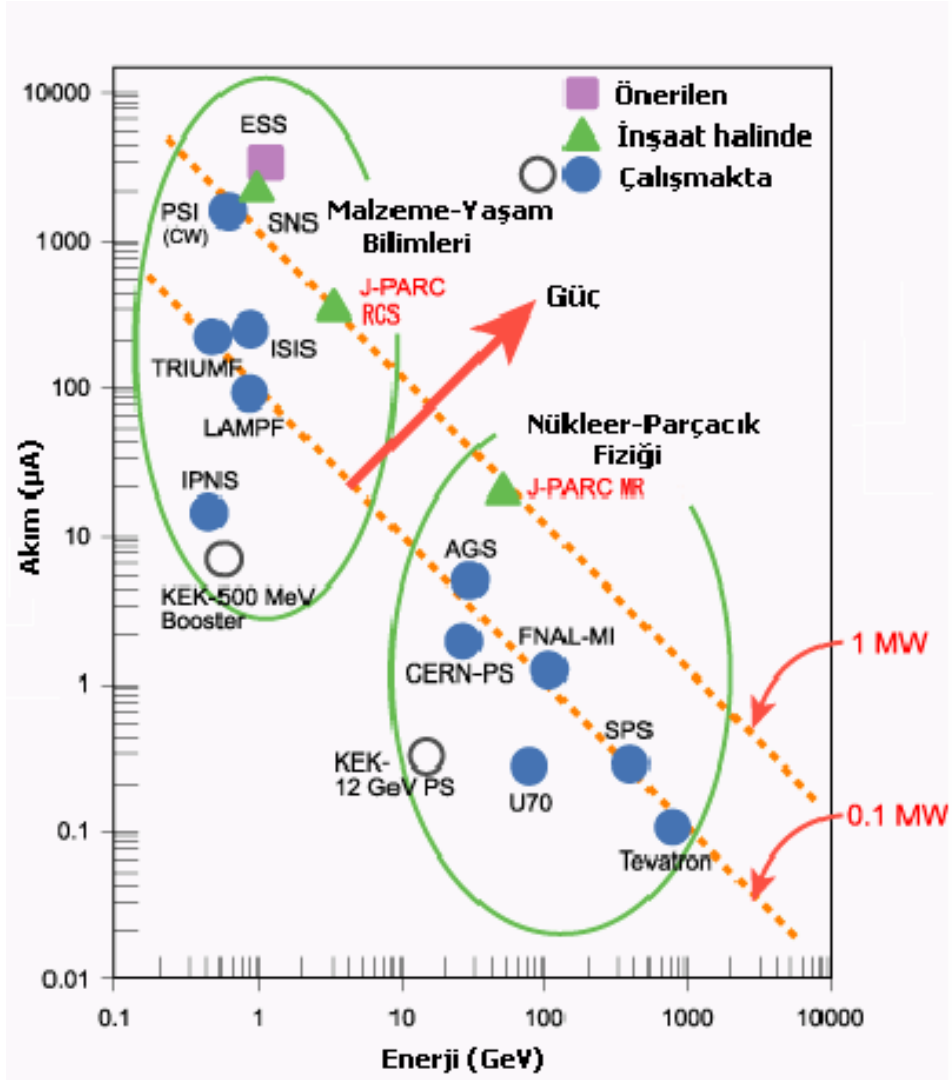
2.3. Sinkrotron Hızlandırıcısı

Siklotron veya sinkrosiklotronların daha yüksek enerjilere çıkartılması daha büyük yarıçaplı makineler inşa etmek anlamına gelir. Kullanılacak mıknatısların büyüklüğü de düşünüldüğünde hızlandırıcının maliyeti oldukça büyük olacaktır. Bunun yerine içerisinde, hem manyetik alan şiddetinin hem de rezonans frekansının değiştirildiği sinkrotron hızlandırıcıları geliştirilmiştir.

Sinkrotron tipli hızlandırıcılarda yarıçap sabittir. Parçacıklar dairesel bir yörünge izler ve her yörünge boyunca bir boşluktan geçtikçe bir rezonans elektrik alan tarafından hızlandırılırlar. Enerji arttıkça, rezonansı sürdürmek için, boşluk boyunca ac gerilim frekansı arttırılmalıdır. Eşzamanlı olarak, yarıçapı sabit tutmak için manyetik alan artmalıdır.

İlk proton sinkrotronu, 1952 yılında Brookhaven Ulusal laboratuvarında yapıldı. Kozmotron adı verilen bu aygıt 3 GeV enerjide protonlar üretmek için tasarlanmıştır. Bir rakip proton sinkrotronu aynı yıllarda Berkeley'de Lawrence Radyasyon Laboratuvarında inşa edildi. Yarıçapı ve manyetik alan şiddeti biraz daha büyüktü. Berkeley'deki bu makineye Bevatron adı verildi. Bu makinenin tasarım enerjisi 6,4 GeV'di. 1950'lerin sonlarında ABD, İngiltere, Fransa ve Sovyetler Birliğinde çeşitli başka geleneksel proton sinkrotronları inşa edilmiştir. Bu makineler 1-10 GeV enerjili protonlar üretmiştir. 1950'lerin sonlarında, proton sinkrotronlarına kuvvetli

odaklama prensibini uygulamak için tasarım çalışmaları başladı. 1960'dan itibaren iki makine çalışmaktaydı. Bunlar Brookhaven'deki değişken gradyen sinkrotronu (AGS) ve CERN proton sinkrotronu (CPS) idi. CERN daha büyük ve daha pahalı nükleer hızlandırıcılara çoğu ülkenin tek başına ekonomik olarak erişemeyeceği gerçeğini gören birçok batı Avrupa ülkesinin ortak çabasıyla kurulmuştur. İsviçre Cenevre'de inşa edilen CPS, CERN'deki tesiste ilk büyük hızlandırıcıydı. Bu merkezdeki Süper Proton Sinkrotronu (SPS) ise 400 GeV enerjili protonlar için tasarlanmıştır. Bu tesis yüksek enerji fiziği araştırmaları alanında dünyanın en aktif merkezlerinden biri haline geldi.



Şekil 2.1. Dünya çapındaki proton hızlandırıcılarının güç grafiği.

3. ISIS HIZLANDIRICI MERKEZİ(RAL)

3.1. Rutherford Appleton Laboratuvarı

CCLRC Rutherford Appleton Laboratuvarı, Didcot yakınlarındaki Oxfordshire'dadır. Bütün hava, demir ve karayollarının kesiştiği bir yerde olan bu laboratuvarında yaklaşık olarak 1200 kişi devamlı olarak çalışmaktadır. Yılda çoğunluğu üniversitelerden gelen araştırmacılar olmak üzere 10000'in üzerinde bilim adamı ve mühendis araştırma yapmaktadır. Bu laboratuvardaki araştırmalar yeni malzeme ve yapılar üzerine odaklanmıştır. Örneğin; pillerin elektrotlarından türbin bıçaklarına, X-ışını lazer araştırmaları, astronomi, parçacık fiziği ve bunun gibi birçok alanda araştırmalar yapılmaktadır. CCLRC üç ana laboratuvardan oluşmaktadır. Chilbolton Observatory, Daresbury Laboratory ve Rutherford Appleton Laboratory.



Resim 3.1. CCLRC Rutherford Appleton Laboratuvarının İngiltere'deki yeri

1921'de Appleton Laboratuvarı olarak kurulan merkezin adı 1957'de uluslararası Rutherford Appleton Yüksek Enerji ve Nükleer Enerji Laboratuvarı olarak değiştirildi. 1995 yılında Daresbury Laboratuvarı ile birlikte Araştırma Kurumları ile İlgili Merkezi Araştırma Kurulu (Council for the Central Laboratory of the Research Councils (CCLRC)) çatısı altına girdi [5].



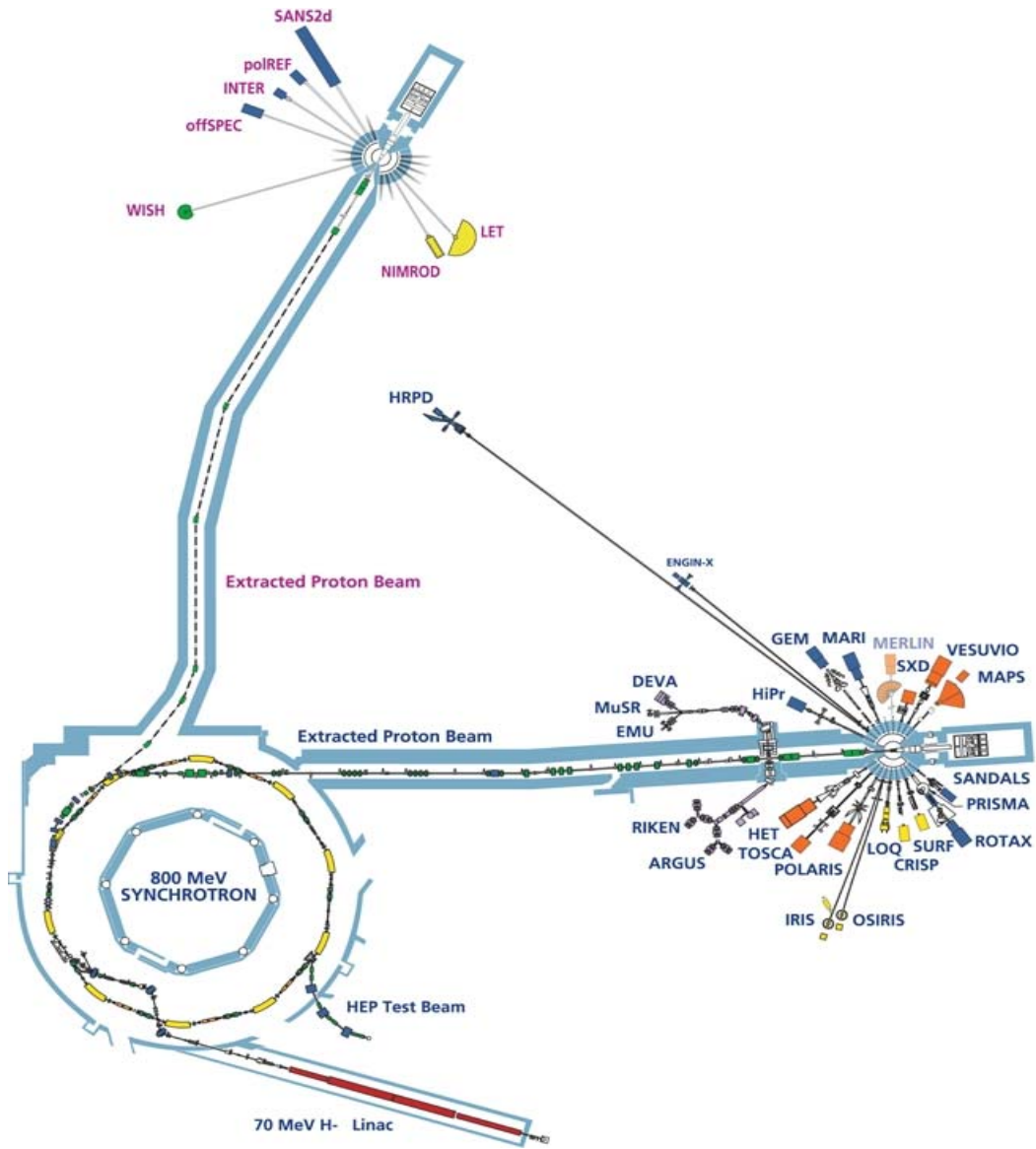
Resim 3.2. Rutherford Appleton Laboratuvarının üstten görünüşü

Bu laboratuvardaki başlıca çalışma alanları şunlardır;

- Bilgi teknolojileri
- Lazer uygulamaları merkezi
- Bilgisayar ve Bilgisayar Mühendisliği
- Mühendislik
- Aygıtlar
- ISIS
- Parçacık Fiziği
- Radyo ve iletişim araştırmaları
- Uzay bilimi ve teknolojisi

3.2. ISIS (Pulsu Nötron ve Müon Üretim Merkezi)

ISIS hızlandırıcı merkezi İngiltere’de kurulmuş dünyanın en güçlü pulslu nötron ve müon üretim kaynaklarından birisidir. ISIS adı herhangi bir kurum yada kuruluş adının bir kısaltması değildir. İngiltere Başbakanlarından Margaret Thatcher, ölümden sonra dirilişi simgeleyen eski bir Mısır tanrıçasından esinlenerek 1984 yılında eski adı SNS (Spallation Neutron Source) olarak bilinen merkeze ISIS adını vermiştir.



Şekil 3.1. ISIS hızlandırıcıları ve hedef istasyonları

Rutherford Appleton Laboratuvarı'nın bir tesisi olarak 1974 yılında kurulmuştur. İlk nötron üretimi 1984 yılında gerçekleşmiştir. Bu tesiste 200 kişi çalışmaktadır. Dünyanın çeşitli ülkelerinden her yıl yaklaşık 1600 bilim adamının; fizik, kimya, biyoloji, jeoloji, malzeme bilimi, mühendislik ve hızlandırıcı teknolojisi alanlarında müon ve nötronlarla araştırma yaptığı bir laboratuvardır. Yılda yaklaşık olarak 600 deney yapılmaktadır ve dünyada 260 kuruluş tarafından desteklenmektedir. Yılda 1.5 M£ elektrik kullanılmaktadır. ISIS hızlandırıcı merkezi, dünyanın en şiddetli pulslu müon üretim kaynağıdır. 21 nötron ve 6 müon deney istasyonundan oluşmakla birlikte ikinci hedef istasyonunun inşası devam etmektedir [6].

3.2.1. Pulslu kaynağın özellikleri

Nötronlar ISIS'de saçılma metotları ile elde edilir. Hızlandırıcılarda üretilen yüksek enerjili pulslu protonlarla bombardıman edilen ağır metallerin hedef atomlarının çekirdekten saçılmasıyla oluşurlar. Yüksek şiddetli pulslu nötronlar ,sadece normal sıcaklıkta elde edilirler. Geleneksel reaktörlerde, reaktör korundaki nötronların sıcaklığı düşürülerek malzeme teknolojisinde kullanılırlar. Protonlar düşük güçteki ISIS hızlandırıcısında hızlandırılıp hedefe gönderildiklerinde sıcak nötronlar elde edilir. Hedef gücü 160 kW'dır.

3.2.2. Nötron saçılmasının uygulama alanları

Kırk yıldan fazla bir süredir nötron saçılmasının çeşitliliği, temel fizik çalışmalarından nadir yer metalleri ve yalıtkanlarda ferromağnetik olmayanların içindeki araştırmalara kadar, nötron saçılması kullanılarak bir çok geniş disiplinde gelişmeler devam etmektedir.

3.2.3. Nötron saçılması ve malzemeler

Polimerler ve Hafif Madde

Hafif katıların aynı zamanlı nötron çalışmaları yöntemi ile kompozitlerden kolloidlere kadar birçok endüstriyel alanda büyük katkıda bulunmuştur [6].

Düzensiz Malzemeler

Nötron saçılması; düzensiz kristal malzemeler, camlar ve sıvılar-optik iletişimin merkezinde, kimyasal ve biyokimyasal mühendislik, yiyecek bilimleri, eczacılık ve moleküler biyoloji alanlarında bir çok ilerlemeler sağlanmıştır [6].



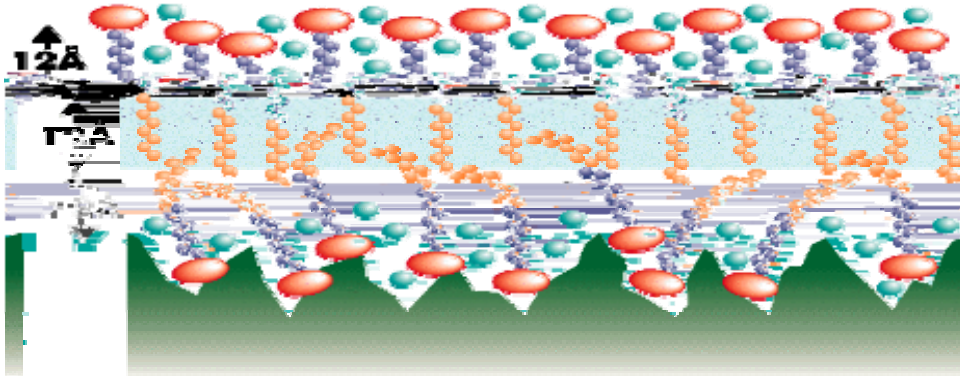
Şekil 3.2. Merkez molekülün etrafındaki metanol moleküllerinin uzaysal yoğunluğu

Yapısal Kimya

Hızlı eşzamanlı endüstriyel boyuttaki örneklerle yapılan deneyler, bizim en basit üretim, sentez ve çalıştırma temelini oluşturmuştur [6].

Kimyasal Aktivite ve Moleküler Hareketler

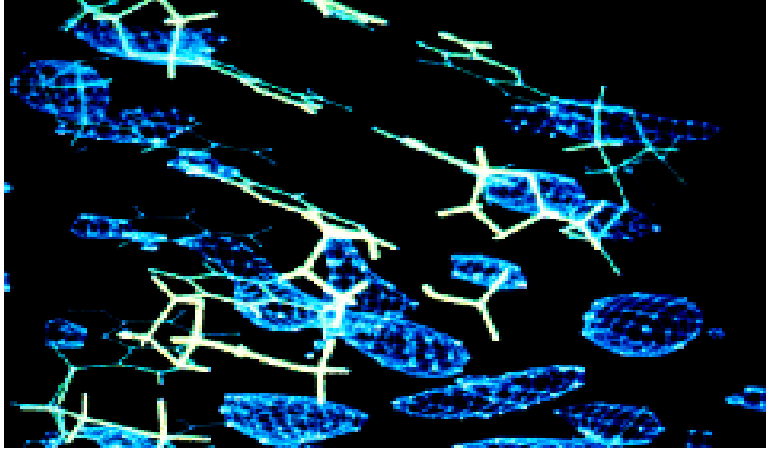
Nötronlar, ara yüzeydeki kimyasal reaksiyon hareketlerinde, yeni katalitik yöntemlerle çarpışarak temizleme teknolojisi ve atık yönetiminde kullanılır.



Resim 3.3. Pürüzlü yüzeyden ayrılan katyonların yapısının gösterilmesi

Biyoloji ve Biyoteknoloji

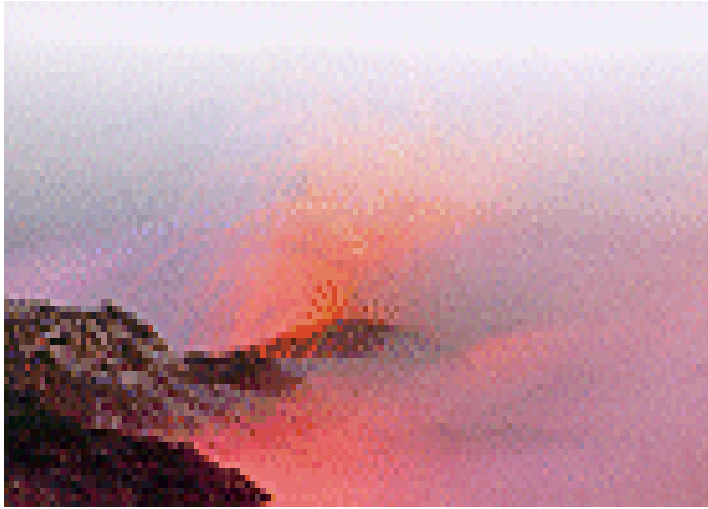
Nötronlarla DNA'yı çevreleyen su yapısı incelenebilir, bu durum büyük ölçekli sistemlerin iç yüzünü anlamamız için çok önemlidir. Nötron yansımaları, zar'a karşın sıvı iletimi hakkında bilgi verir [6].



Şekil 3.3. DNA etrafındaki suyun yapısı

Yer ve Çevre Bilimleri

Yüksek sıcaklık ve basınçta kompleks minerallerin yapısal deneyleri, depremlerin ve jeolojik aktivitelerin içeriği hakkında bilgi verir [6].



Resim 3.4. Bir volkan dağının patlaması

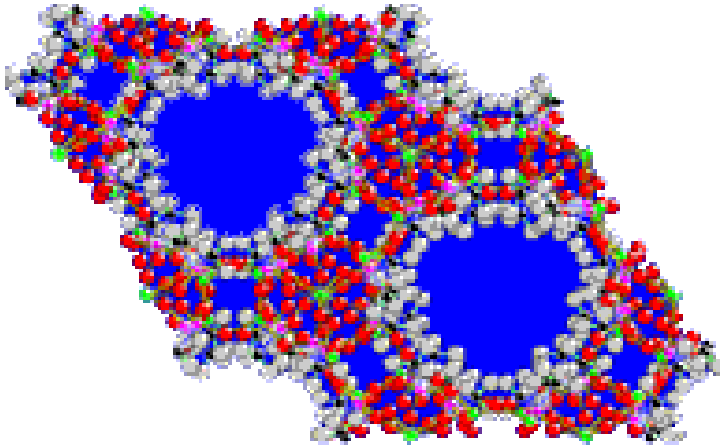
Temel Fizik

Pulsu nötron kaynakları, yoğun nötrinolarla temel fizik araştırmalarına izin verir [6].

3.3. ISIS'in Bilimsel Programı

ISIS deneysel kullanıcılarına pulsli nötron ve müon demeti sağlar, bu merkezde atom altından makromoleküler aralığa kadar mikroskobik skalada yoğun maddenin yapı ve dinamikleri incelenmektedir. ISIS'deki bütün aygıtlar yerli ve yabancı araştırmacıların nötron ve müon tekniklerini kullanarak araştırmalar yapması konusunda yardımcı olur.

ISIS'in bilimsel programı temel ve stratejik araştırmaların, özel bilimsel disiplinleri ile akademik ve endüstriyel araştırmalar arasındaki işbirliğinin her ikisini de kapsar. Bu merkezde yılda 600'den fazla deney yapılır. Aşağıda yapılan bir çok bilimsel deneyden birkaç örnek verilmiştir [7].



Şekil 3.5. AlMePo- beta'nın organik kanallarının görünüşü

3.3.1. ISIS hızlandırıcı merkezinde yapılan uygulamalar

Son iki- üç yılda ISIS'deki deney istasyonlarında yapılan uygulamalardan bir kısmı aşağıda verilmiştir [8,9].

Hızlandırıcı teknolojileri

2005

- İkinci hedef istasyonu aygıtlarının dizaynı için güçlü gridler.
- RAL test standı

2004

- ISIS'de 1/2 MW güç için 180 MeV'lik yeni bir lineer hızlandırıcı
- Yoğun maddelerin yeni VLAD detektör teknolojisi ile soğukta incelenmesi
- İkinci hedef istasyonun demet hattı için magnet dizaynı.
- Organik malzemelerin nötron toz difraktometresi ile çalışmaları

Fizik

2005

- Müonlarla, Na_xCoO_2 hacminde magnetik fazdaki hızlı taşınmaların açıklanması.
- Moleküler süperiletkenler için yeni yasaların araştırılması
- Fullerene buckyballs etrafındaki büyük kabuğun çözülmesi
- $\text{Pr}_{2-x}\text{Bi}_x\text{Ru}_2\text{O}_7$ de şiddetli seviyedeki Inhomogeneous'lar
- Yeni kobalt oxyhydride süperiletkenlerdeki iletimlerde magnetik etkileşim
- Merkezinde Fermi sıvısı olmayan $\text{Sc}_{1-x}\text{U}_x\text{Pd}_3$ 'in davranışlarının kritik kuantum ölçümleri
- Çok katmanlı örneklerde magnetik incelemeler.
- Lityum kobalt nitritli anot malzemelerinin kusurlu yapılarını çözmek
- Buzun yeni fazları

2004

- Antiferromağnetik ve polaronların çok büyük mağnetoresistive manganitlerle ilişkileri
- Müonlarla çalışılan $YBa_2Cu_3O_{6+X}$ 'de süperiletkenliği ve mağnetikliğın bir arada bulunuşu.
- Jüpiterin uydularında İngiliz Tuzu
- $TbMn_2O_5$ de ferroelektriğin ve mağnetik etkileşimin rekabeti.
- Dünyada nadir bulunan fosfat camlarının GEM de farklı mağnetik alanlar kullanılarak direk incelenmesi.
- Nötronların Compton saçılması ile adyabatik olmayan elektronik aletler konusunda çalışmalar
- $NaxCoO_2 \cdot yH_2O$ 'in müonlarla örneklerin en derin içine kadar işlenmesi.
- Süperiletkenlerde bakır oksitin soyularak kuantum mağnetik çıkarımlar.
- Kuadropol spin hareketlerinin $PrFe_4P_{12}$ 'le düzenlenmesi
- Yüksek enerjili yapının bir yüksek sıcaklık süperiletkeninde spin çıkarımı
- Bir sıvı kristalin nötron yansıtarak zaman kararlılığı
- Nb katalizörüyle Hidrojen atımı, mağnezyumun nano biçimlendirilmesi.
- Nanomağnetlerin serisinin mağnetizasyonu
- Basınç ayarlamalı piezo elektrik özelliklerin teknolojik uygulamaları
- $C_{14}D_{10}O_2$ de dağınık nötron saçılması
- Suda H^+ ve OH^- iyonlarının çözülmesi

Çevre ve Yer Bilimleri

2005

- Kilde organik moleküllerin değişkenliği
- Buzun yeni fazları

2004

- Jüpiterin uydularında İngiliz Tuzu araştırmaları

2003

- Yüksek basınçta yüksek yoğunluklu amorf buzun yapısı.
- Yerin çekirdeğindeki Fe₃C durumunun denklemi

Mühendislik ve Metalürji

2005

- Bioaktif camların büyütülerek geliştirilmesi.
- Mühendislik yöntemlerinin izlenmesi; makinenin yük boşalmasından dolayı gerilmesi (streslenmesi)
- Tarih öncesi bakır baltaların doku analizi

2004

- Nb katalizörüyle Hidrojen atımı, magnezyumun nano biçimlendirilmesi.
- Uçağın kaynaklı kısımlarında yoğun performanstan dolayı artan stresi önlemek.

Kimya

2005

- HAB sıvı kristallerinde moleküler ve intra moleküler yönlendirilmeksizin yapılan QENS çalışmaları
- Polielektrolitlerin kullanımıyla yüzey soğurulması
- Nano tüplerdeki suyun incelenmesi
- Lityum kobalt nitritli anot malzemelerinin kusurlu yapılarını çözmek

2004

- Nötronlarla biyolojik sistem araştırmalarında yapı ve dinamiklerin dondurarak kurutma etkileri.
- Polimer kristalizasyonunda gerçek zamanlı SANS hızlı geçiş fazı çalışmaları.
- Bir sıvı kristalin nötron yansıtarak zaman kararlılığı
- Biyolojik zarların korunması için şeker tabakası
- Organik malzemelerin nötron toz difraktrometresi ile çalışmaları
- $C_{14}D_{10}O_2$ 'de dağınık nötron saçılması

Biyoloji ve Biyomedikal Bilimler

2005

- Bioaktif camların büyütülerek geliştirilmesi.

2004

- Benzil' de nötron saçılmalarının dağınımı
- Organik malzemelerin toz nötron difraksiyon metodu ile çalışılması

- Sudaki H^+ ve OH^- iyonlarının kabuğunun ayrılması
- Biozarların korunması için şeker tabakası
- Biyolojik sistemlerdeki hareketlerin ve kuru buzun yapısındaki etkilerin nötronlarla incelenmesi.

Arkeoloji

2005

- Tarih öncesi bakır baltaların doku analizi

2003

- Gerçek ya da sahte? Nötron kırınımı ile müzedeki eserlere zarar verilmeden test edilmesi [8].

Malzemeler

2003 [8]

- Üretim hattında küçük açılı nötron saçılması: kişisel bakım ürünlerinin endüstriyel yöntemlerle optimize edilmesi.
- Görülmedik yüzey yapılarının incelenmesi.
- Elektronik sıvılar: metal- ametal iletim süresi.
- Ağır fermiyon bileşiklerinde spin boşluk yapısının incelenmesi: $CeRu_4Sb_{12}$
- Molekül-molekül ve molekül- molekül altı etkileşmelerinin evriminin doğrudan incelenmesi.
- Bilayer manganet ailesinde spin soğutması.
- Güçlü bir spinörde bakır oksit zincir ilişkisi
- Dinamik bir mağneti düzenli bir hale getirmek.

- MnAs de alan kırılma ilişkisine neden olmak.
- İnce film süper iletkenlerde mağnetik alan dağılımı.
- Zeolitlerin düzensizleşmesi sırasında meydana gelen yumuşak modların doğrudan incelenmesi.
- Yüzeyde ve derinde, müonyum uygulamalarında kullanılan indiyum nitritteki hidrojenin elektronik durumları.
- Cam gibi bir mağnetin durağanlaşma durumunun incelenmesi.
- Nötron ve Müonlar ile moleköl- basit metal-organik mağnetlerin incelenmesi.

3.4. ISIS'de Araştırma Bölümleri ve ISIS Aygıtları

ISIS'de dokuz bilim grubu, deney istasyonlarında (aygıtlarla) nötron ve müonlarla yoğun madde teorisi ve veri analizinde çalışmaktadırlar [8].

3.4.1. Kristolografi

ISIS'deki kristalografi takımı iki toz difraktometresi (*HRPD* ve *POLARIS*) ve bir tekli kristal difraktometresi (*SXD*)'den oluşmaktadır.

HRPD dünyada $\Delta d/d$ 'si yaklaşık 5.10^{-4} 'ü veren en büyük çözme gücüne sahip toz nötron difraktometresidir. Bu yüksek çözünürlük ince yapıların detaylı çalışmaları ve küçük birim hücre değişimleri için idealdir ve düşük d uzayında kompleks materyalleri çözer.

POLARIS bir yüksek akılı aygıttır. Yapıların hızlı karakterizasyonunda az miktar numune ve zor örnek ortamları gibi yüksek basınç çalışmaları için çok iyi bir aygıttır.

SXD'de uçuş zamanı (time of flight) tekniği ile dağınık saçılma çalışmaları, organik boyutta ve eczacılık malzemelerinin sıradan yapısal çalışmaları kullanılmaktadır.

PEARL'de şu anda mühendislik bölümlerinde stres deneyleri ve yüksek basınçta saçılmaları geliştirme çalışmaları kullanılmaktadır.

ROTAX çok amaçlı toz difraktrometresi, tekli kristal ve yüzey ölçümleri , yüksek mağnetik alan çalışmaları yapılmaktadır.

GEM için devam eden dizayn çalışmalarında hedef düzensiz malzemeler ve kristolografi araştırmaları için yüksek akı ve yüksek çözünürlük sağlamaktır.

Kristolografi grubu çok geniş bir alanda çalışmaktadır;

- Kimyasal reaksiyonlarda çözünme süresi çalışmaları
- Yapı kusurları ve süper iyonikler
- Lityum iyon kondüktörleri
- Moleküler malzemelerin toz (Powder) çalışmaları
- Ferroelektriklerde faz dönüşümleri
- Yüksek basınçlarda FeS de manyetizma
- Jeolojik örneklerde tekli kristal difraksiyonu ve powder
- Düzensiz malzemeler ve saçılım dağınım çalışmaları
- Eczacılık malzemelerin toz difraksiyonu ve tekli kristal incelemeleri
- Kristal mühendisliği
- Organik tekli kristallerin yapı değişimleri

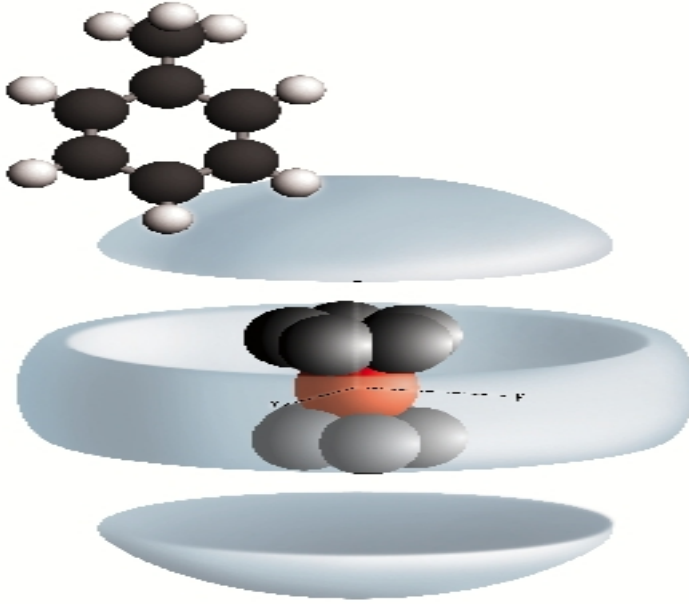
3.4.2. Düzensiz malzemeler

ISIS’de çalışılan düzensiz malzemeler, sıvılar ve amorf yapıların difraktrometresi (*LAD*) ve küçük açılı sıvı difraktrometresi (*SANDALS*) tarafından gerçekleştirilmektedir.

LAD sıvılar ve camlarda yapılan çalışmalarda çarpışma bölgesi saçılmalarını incelemede kullanılır.

SANDALS özellikle küçük atom numaralı elementlerle düzensiz sistemlerin araştırmaları yapılmaktadır.

GEM ayrıca düzensiz malzeme çalışmaları için uygun olacaktır.



Şekil 3.6. *SANDALS* saçılım deneylerinden elde edilen, ferrosin molekülünün etrafında toluen molekülünün tahmini dağılımı

3.4.3. Büyük ölçekli yapılar

ISIS'de çoğunlukla yapılan büyük ölçekli yapı çalışmalarında yüzey yansıması ve küçük açı nötron saçılma teknikleri kullanılıyor.

ISIS iki reflektrometreye (*CRISP* ve *SURF*) sahiptir. Nötron reflektrometresi yüzey bilimi için çok güçlü bir tekniktir. Bu reflektrometrenin bir çok uygulama alanı vardır. Örneğin; deterjanların yüzeyden soğurulması, polimerlerin ve proteinlerin soğurulması, doğal ince polimer filmler, Langmuir Blodgett filmleri, çoklu katmanlar ve ince filmlerde mağnetizma çalışmaları kullanılırlar..

LOQ küçük açılı saçılma difraktrometresinde 10-500 Å^o bölgesindeki büyük ölçekli yapıların nötronlarla ileri saçılmaları yapılmaktadır.

3.4.4. Uyarılmalar

Uyarılma (Excitation) takımı aygıtları; iki chopper spektrometresi (*HET* ve *MARI*) ve çoklu analiz spektrometresini (*PRISMA*) kapsamaktadır.

HET düşük momentum iletimi aracılığıyla bir geniş enerji boyutunda saçılmalara optimize edilir, polikristal ve tekli kristal örneklerinin her ikisinde mağnetik phenomena çalışmaları için yapılan özel bir aygıttır.

MARI bir direk geometri spektrometresidir. Fakat q ve d uzayının geniş bir aralığında 3° - 138° dereceye kadar yapılan eşzamanlı deneylerin aynı zamanlı detektörde çalışmasına izin verir.

PRISMA bir direkt olmayan geometrik spektrometredir. *PRISMA* da fonon ve magnon dağılımının gözden geçirilmesinde kullanılır. Dağınık ve kritik saçılma çalışmaları için mükemmel bir potansiyele sahiptir.

Tekli kristal düzenleme aracı (*ALF*), tekli kristal düzenlenmesi ve örnek karakterizasyonu için *ROTAX* demet hattı kullanılır.

MAPS bir spektrometredir. Tekli kristal deneyleri için bir chopper spektrometresidir ve şu anda inşa halindedir.

3.4.5. Moleküler spektroskopisi

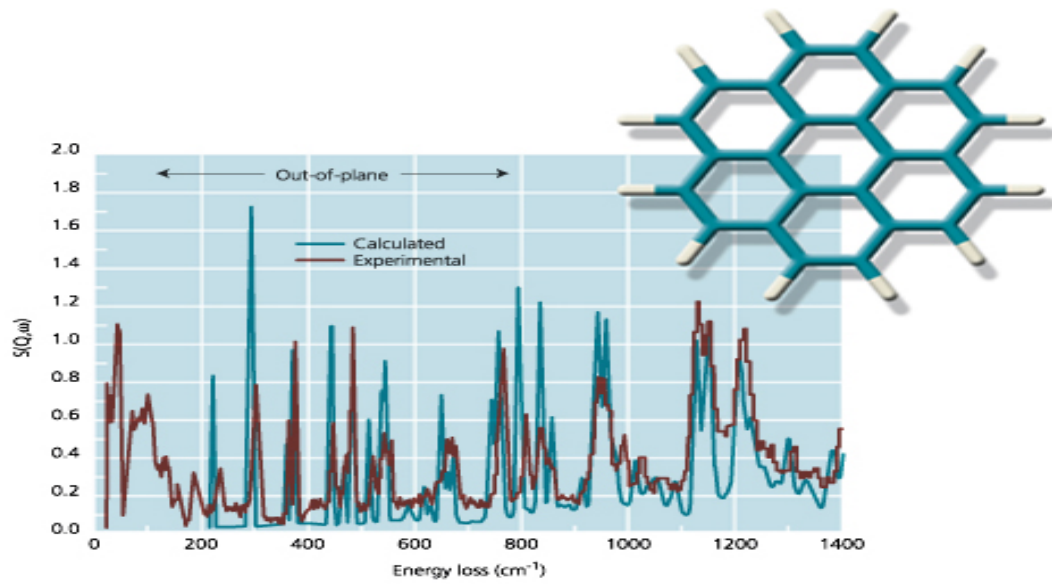
ISIS’de moleküler dinamik çalışmaları için çoğunlukla üç aygıt kullanılmaktadır.

IRIS yüksek çözünürlüklü inelastik spektrometre, $1 \mu\text{eV}$ ’tan $50 \mu\text{eV}$ ’ta değişken enerji çözünürlükleri ile 10 meV ’in üzerinde enerji transferi sağlar. *IRIS* bir malzemenin geniş aralığında, kuantum ekzistasyonlarında ve kristal alan efektlerinde iletim ve dönme difüzyon efekt çalışmaları için çok uygundur.

TOSCA kompleks kimyasal sistemlerde moleküler titreşimlerin sınanması için direk olmayan bir geometri spektrometresidir. Örneğin; katalizör malzeme çalışmaları, alt tabakada soğurulan etkileri, hidrojenle ilgili malzemeler, polimerik model malzemeleri, ilaçlar gibi kompleks organikler.

eVS, bir elektron-volt spektrometresidir. ISIS’de elde edilebilir yüksek akılı epitermal nötronları kullanarak atomik momentum dağılımı deneyleri için tasarlanmıştır. *eVS* hidrojenle ilişkili sistemlerin çalışmalarında, atomik boyutta yapılan direk araştırmaların ve Helyum sıvıları gibi kuantum sıvılarının çalışmalarında kullanılır.

OSIRIS yüksek çözünürlüklü spektroskopi ve büyük dalga boylu kırınımlar için elverişli olacaktır.

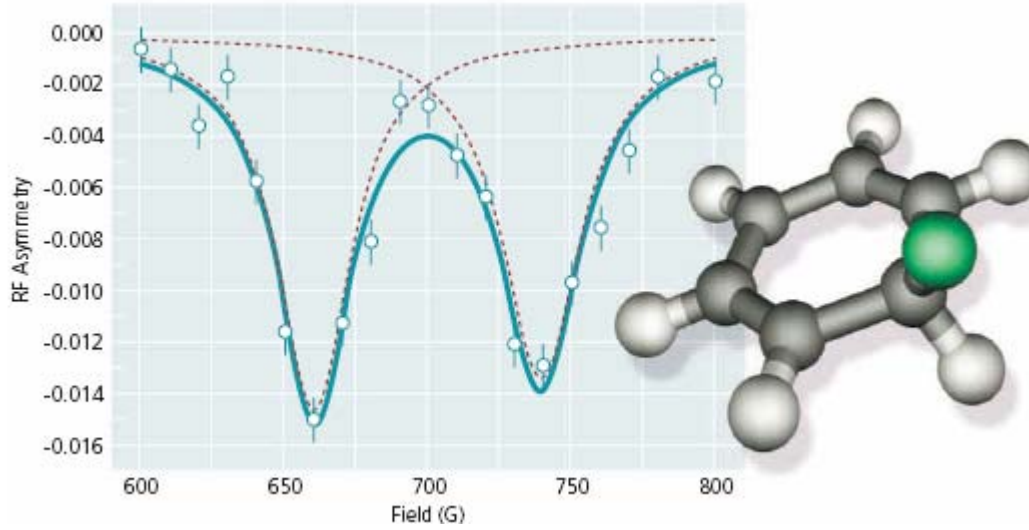


Şekil 3.7. Corone molekülünün TOSCA’da inelastik saçılma spektrumunun şematik gösterimi.

3.4.6. Müon spektroskopisi

ISIS’de müon spektroskopisi programı halen üç spektrometreye (*MuSR*, *EMU* ve *ARGUS’a*) sahiptir ve *DEVA* aygıtı geliştirilmektedir.

Müon, mikroskopik manyetometreye hassastır. Bir müon neredeyse her malzemenin içerisinde rahatlıkla ilerleyebilir ve müonun spin polarizasyonu ve durulma oranı gözlenerek lokal madde ve dinamikleri hakkında bilgi sağlanır. Bilimsel çalışmalarda müon spektrometresi maddenin derinlerindeki çalışmalar ve süper iletkenlerde akı kafesi hattını, müonyum kimyasında, dağılım yöntemlerinde, yarı iletkenlerde ve organik ferromagnetlerde yapılan araştırmalarda kullanılır.



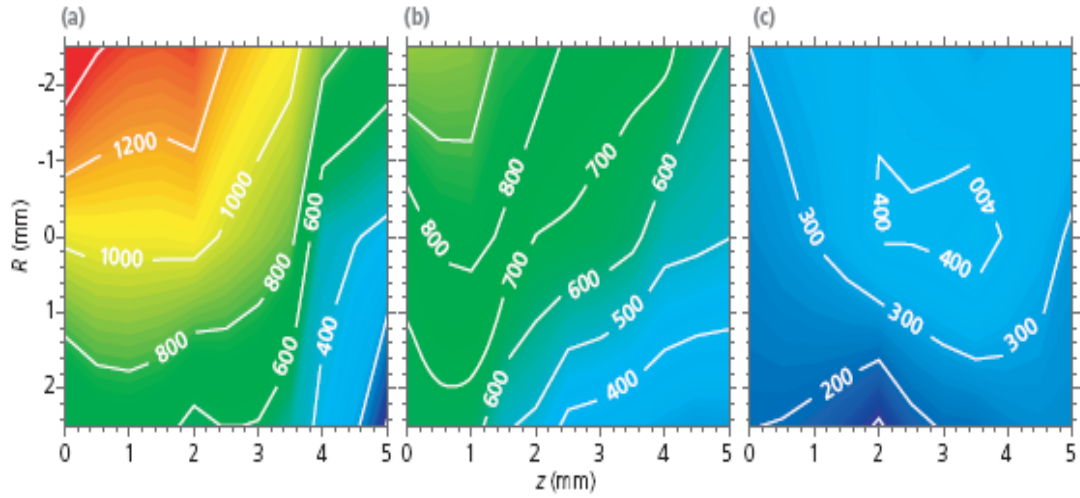
Şekil 3.8. Radikal rezonanslar: cyclohexadienyl radikalinin radyo-frekans μ SR sinyali; elde edilen müonun benzen içine implantasyonu.

3.4.7. Mühendislik (Engin-X)

Büyük alüminyum alaşımlı uçak parçalarının fabrikasyonu amacı ile optimize edilen *ENGİN-X* deney hattı Open Üniversitesi, Airbus UK ve ISIS arasında oluşturulan işbirliği için hazırlanmıştır.

Nötron gerilim deneyleri, tipik mühendislik malzemelerinin ve yapılarının örneklerinin derinliklerdeki gerilmeleri zararsız bir şekilde ölçmek amacıyla yapılır. Yapılan çalışmalarda hedef imalat/imalattan önce malzemelerin gerilim ve biçimini, azaltmak ve düzeltmek amacıyla yapılan çalışmalara yardımcı olmaktadır.

Nötronlar kullanılarak yapılan deneyler 1980'lerde geliştirilmeye başlandı. Kullanılan toz kırınımı teknikleri ve kristal kafesler atomik boyuttaki araştırmalarda kullanılmıştır.



Şekil 3.9. ENGİN-X deney istasyonunda yapılan bir deney; çember şeklindeki metalin kaynak yapılan kısmının gerilimi (a) kaynak yaparak birleştirildiğinde, (b) kaynaktan sonraki rahatlama davranışı (c) ve düzelleme.

3.4.8. Veri analizi

ISIS’de deneysel programa destek amacıyla veri analizi ve görselleştirme grubu vardır. İleri nümerik ve istatistiksel metotlardaki veri analiz problemlerinin bilimsel yöntemlerle hesaplanması bu bölümlerin uzmanlığıdır. Grubun çalışması nötron ve müon veri analiz problemleri için fortran ve C++ programlarında ileri matematiksel metotları kullanarak veriden diğer alanlara kadar X-Işınları kırınımı ve NMR gibi bir çok alanda uygulanır.

Grup e-bilim alanında bir çok fikirler geliştirmektedir. Ayrıca ileri kompleks veri hacimlerini görselleştirmek ve yazılım sistemlerini geliştirmektedir.

3.4.9. Teori

Teorik bilim çalışmaları, nötron saçılması, X-ışınları ve müon teknikleri ile yapılan deneysel çalışmalara fayda sağlar. Alanlara eklenen elektronik ve manyetik özellikler, kuantum mekaniğinin temelindeki özelliklere sahiptir.

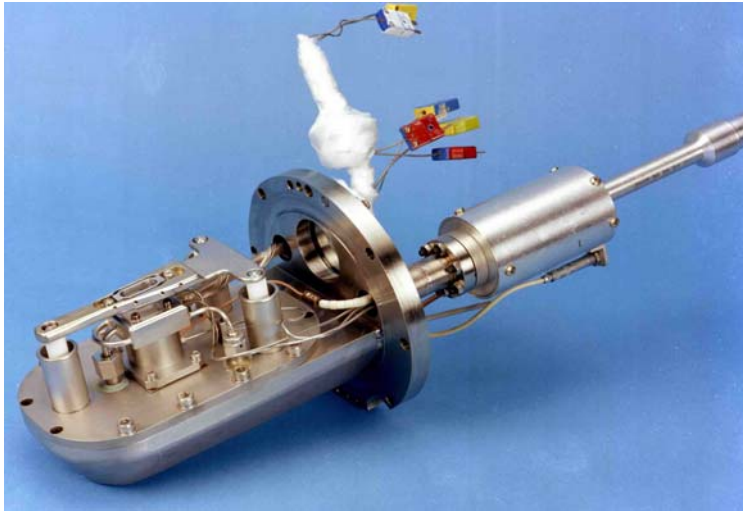
Yeni yapılan çalışmalarda protonların özellikleri klasik fizikten farklıdır. Bir çok örnekte iki veya daha fazla protonun karakteristikleri göstermiştir ki her bir protonun

özelliği birbirinden farklıdır. Kuantum mekaniksel olarak protonlar onların uzayında süper pozisyon özelliği ile tanımlanabilirler ve spin özellikleri tamamen karışıkır. Karışıklık etkilerinin üretimi sezgisel ve sayısaldır ve nötron saçılmasıyla gözlemlenebilir.

4. ISIS HIZLANDIRICILARI

4.1. İyon Kaynağı

H- iyonları lineer hızlandırıcıya enjekte edilmek için iyon kaynağından üretilirler. Hidrojen gazından yüksek akım geçirilerek hidrojen iyonu oluşturulur. Hidrojen gazı kaynakta yalnızca sıcak sezyum (Caesium) ile buharı güçlendirilir. Kaynak içerisindeki nötr plazmada şekillendirilir. H- iyonları için elektron kaynağı olarak Cs atomlarından sağlanır. İyonlar ayrılır ve farklı voltajlardaki kaynaklar vasıtasıyla kaynaktan hızlandırılır (665 keV). Lineer hızlandırıcıda hızlandırılmak üzere başlangıç iyon demeti olarak çıkar [10].



Resim 4.1. 17 keV'lik iyon kaynağı

İyon Kaynağının Özellikleri

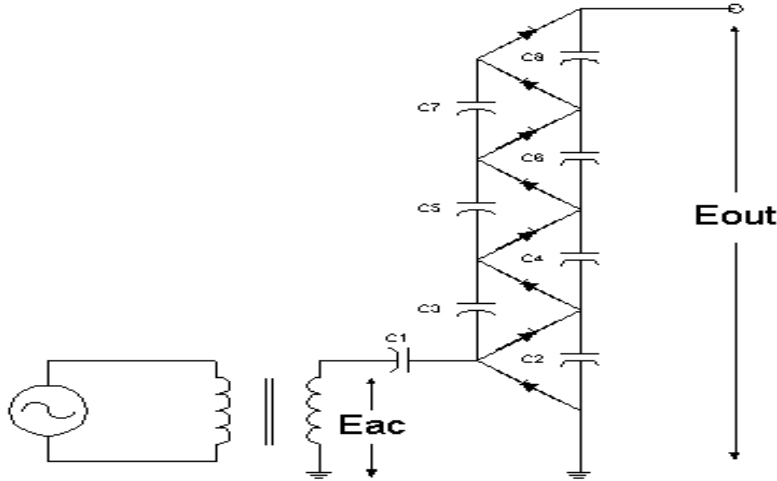
Tipik hidrojen iyonlarının akımı 30-35 mA'dir

Puls aralığı: 200-250 μ s

Enerji: 17 keV

4.2. 665 keV'lik Cockcroft-Walton (DC) İyon Hızlandırıcısı

İyon kaynağından çıkış enerjisi 17 keV olan protonlar Cockcroft-Walton hızlandırıcısında 665 keV'e kadar hızlandırılırlar.



Şekil 4.1. 665 keV'lik Cockcroft-Walton (DC) iyon hızlandırıcısı

4.3. 70 MeV'lik Lineer Hızlandırıcı

ISIS sinkrotronu içine enjekte etmek için 70 MeV'lik enerjide yüklü parçacık demeti üretilir. Yüklü parçacıklar iyon kaynağından hidrojen gazında elektron boşalımı ile üretilir.

Parçacıklar hızlandırıcı kalkanına girerken bir parçacık demeti olarak iyon kaynağından ayrılırlar. Burada demet bir statik voltaj vasıtasıyla 665 keV enerji ile hızlandırılır. Bu demet lineer hızlandırıcıya girmeden görüntülenir. Lineer hızlandırıcıda demet enerjisini 70 MeV çıkarmak için dört tanklı yüksek şiddetli radyo frekans alanında hızlandırılır. Dört hızlandırıcı tankında oluşan lineer hızlandırıcı içerisinde yüksek radyo frekanslı alanda hızlandırılan demetin son enerjisi 70 MeV olur [11].

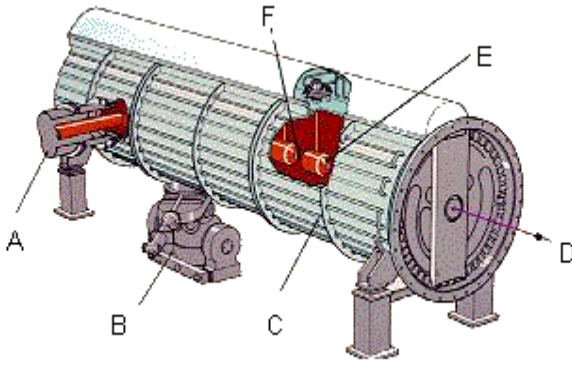
Hızlandırıcı tanklarından biri metal duvarlı bir vakum kabıdır. İçerisi elektromanyetik rezonansı düşük olan bakır ile kaplanmıştır (C). RF gücü yüksek

voltajlı bir yükseltici tarafından beslenir. Güç vakum penceresinden içeri girer. Turbomoleküler pompa tank içerisindeki yüksek vakum ünitesinde kullanılır.

Parçacık demeti girer ve (D) yol boyunca tank ekseninde bir seri sürüklenme tüpüne gelir. Sürüklenme tüpü demeti RF alanı dışından geçirmek için bir kalkan olarak kullanılır (F).

RF gücü sürüklenme tüpü arasındaki yüksek elektrik alan içindeki boşluklar RF ile beslenir. Parçacık demeti taşınırken alternatif alan ile korunum, hızlandırıcı içinden doğru yönde alanda arka arkaya geçiş sağlanır.

Sonuçta demet 70 MeV'lik demet transfer hattıyla sinkrotron içerisine gönderilir.



Şekil 4.2. Lineer hızlandırıcı tankının görünüşü

Lineer Hızlandırıcının Özellikleri

Hızlandırıcı dört bölmeden (tankdan) oluşur.

Tank 1: 0.7 – 10 MeV

Tank 2: 10 – 30 MeV

Tank 3: 30 – 50 MeV

Tank 4: 50 – 70 MeV

İyonların Hızı = 30 m/μs

Frekans Aralığı= 300 MHz-202.5 MHz

Akım = 20 mA

Voltaj = 20 MeV

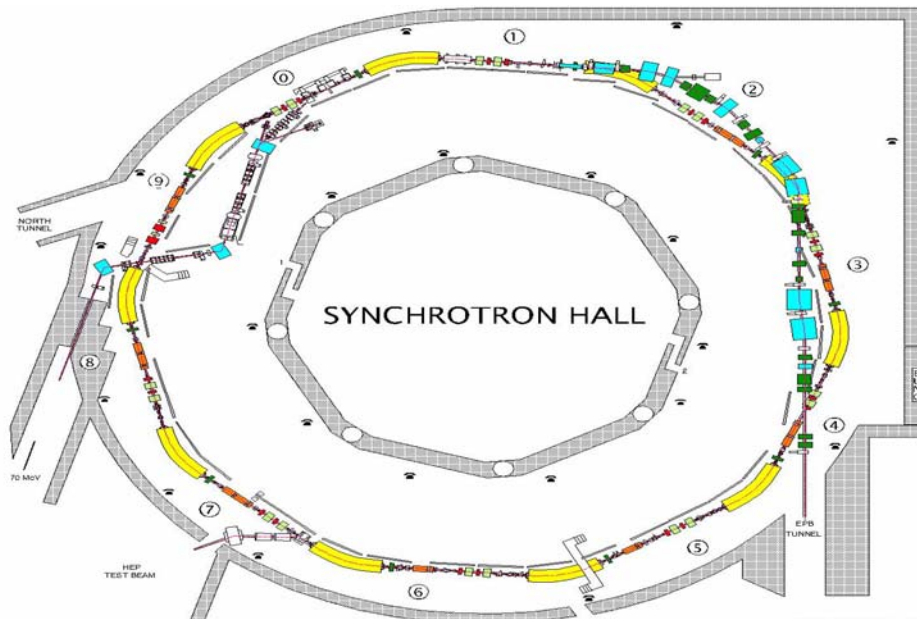
Pulse Aralığı= 200-250 μ s

Tank Başına Güç= 20 mA x 20 MeV= 400 KW

4.4. Proton Sinkrotronu (800 MeV)

Sinkrotron içine giren, hidrojen iyon demetinin 0,3 μ m kalınlıktaki alüminyum oksitten set çekilerek H-iyonlarının arasından elektronlar soyularak proton demetine çevrilir. Proton demeti sinkrotron içinde yaklaşık saniyede 150 tur atar ve elektriksel alan yardımıyla $2,8 \cdot 10^{13}$ proton depo edilir.

Bir defada bütün demet enjekte edilir, uyumlu iki RF sisteminin içerisine enjekte edilen iki demet, hızlandırıcıda, sinosidal manyetik alanda 10 ms'de 800MeV'lik enerjiye çıkarılır [11].



Şekil 4.3. ISIS Sinkrotronunun görünümü.

Altı yarıkli RF kavitelelerinde, demete dönme başına hızlandırıcıda 140 kV'luk pik voltajı sağlanır. Demeti çıkarmadan önce puls uzunluğu 100ns ve ayrılma puls uzunluğu ise 230 ns dir. Proton demet hattı (EPB) içerisinde proton demeti çıkartılmadan önce sinkrotronda yaklaşık olarak 10.000 dönme yapar. Sinkrotronda bulunan kicker mağnetlerde 100 ns'de akım, 0 dan 5 kA çıkarılır. Bütün hızlandırıcılarda tekrarlama frekansı 50 Hz'dir [12].

Proton Sinkrotronunun Özellikleri

- Giriş enerjisi: 70 MeV *Ana dipol*
- Çıkış enerjisi: 800 MeV • 4,4 m uzunluk
- Yarıçapı: 26 m • 10 tane eğici mağnet
- Çevresi: 163,36 m • 0,16-0,69 T
- Kavite sayısı:10 *Ana kuadrapol*
- Pulse aralığı:250 – 1 μ s • 10 tane ikili ve 10 tane tekli mağnet
- Akım: 200 μ A • 20 tane üçlü mağnet
- 150 tur sonunda 2.8×10^{13} proton • 0,7 m uzunluk
toplanır. • 0,8 – 3,0 T/m
- Gücü; • 6 tane RF kavitesi
- Giriş: 16 kW

Çıkış: 160 kW

Her saniyede milyonlarca proton hızlandırılır. Proton hareketlerinin büyük bir kısmı bu alanda gerçekleşir. Hızlandırıcı yarıçapı 26 metredir (çevresi 163,36 metre). Bir

proton son hızına saniyenin yarım milyonda biri zamanda ulaşır.Hızlandırma yöntemlerin tamamında her saniye 50 atma yapar.

4.4.1. H⁻ İyonları ve protonların hızları

Hızlandırıcılarda parçacık hızı yaklaşık olarak ışık hızına yakındır. Aşağıdaki çizelgede enerjilere göre parçacığın hızı verilmiştir.

Çizelge 4.1. H⁻ iyonları ve protonların hızları

Enerji	Hız (β)	Hız (m/ μ s)
17 keV	0,06	2
665 keV	0,038	11
70 MeV	0,366	110
800 MeV	0,842	252
Işık hızı (c)	1,000	300

Burada;

- β = parçacık hızı/ışık hızı

$$\beta^2 = \frac{(1 + E / m)^2 - 1}{(1 + E / m)^2}$$

- $m_p=938,272$ MeV

$$m_{H^-} =939,294$$
 MeV

- E: kinetik enerji

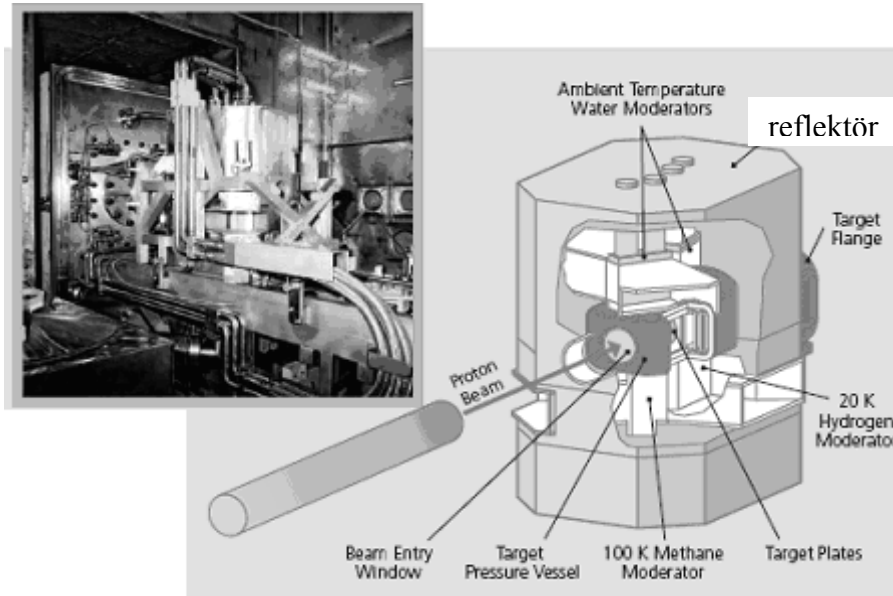
$E/m \ll 1$; β rölativistik değil

$E/m \sim 1$; β rölativistik

4.5. ISIS'deki Hedefler ve Soğutucular

ISIS hedef istasyonu, saçılma yöntemleri ile nötronları üretmek için ISIS hızlandırıcısı tarafından üretilen yüksek enerjili protonları kullanır. Müonlar, protonların ince bir alüminyum folyo hedefe gönderilmesi sonucu üretilir.

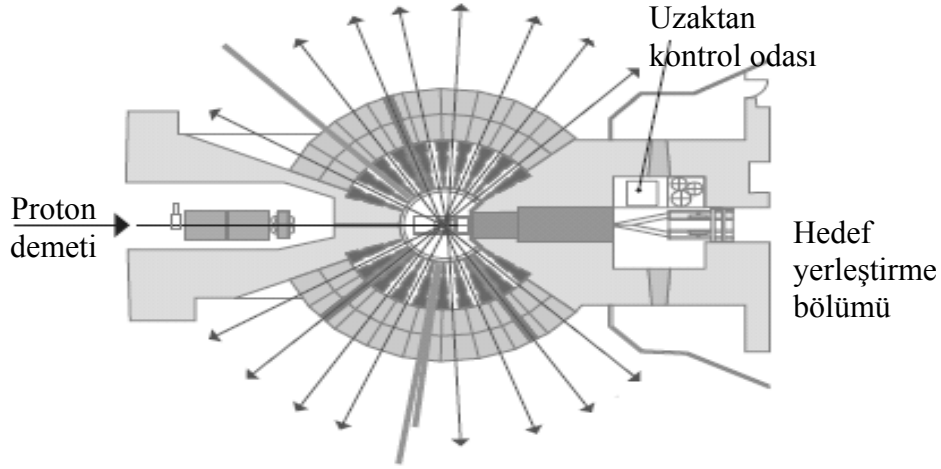
ISIS'de temel olarak iki hedef istasyonu vardır. Bunlardan birincisi müonların üretimi için olan istasyon diğeri de nötronların üretimi için olan hedef istasyonlarıdır. Bu iki hedefe bağlı olarak da deney istasyonları bulunmaktadır [13].



Şekil 4.4. Hedef, reflektör ve soğutucu (TRAM)

Nötron hedef istasyonu üç ana bölümden oluşmaktadır(nötron üretim yöntemlerinin hepsinde yüksek seviyede ışınlam olduğundan hepsi demirli ağır kalkanlarla kaplanmıştır). Bu bölümler;

- Hedef, reflektör ve soğutucu bölümü (TRAM)
- TRAM'daki operasyonların düzeltilmeleri, kontrol ve bakım odası
- TRAM için servis bölümü ve soğutucu bölümü



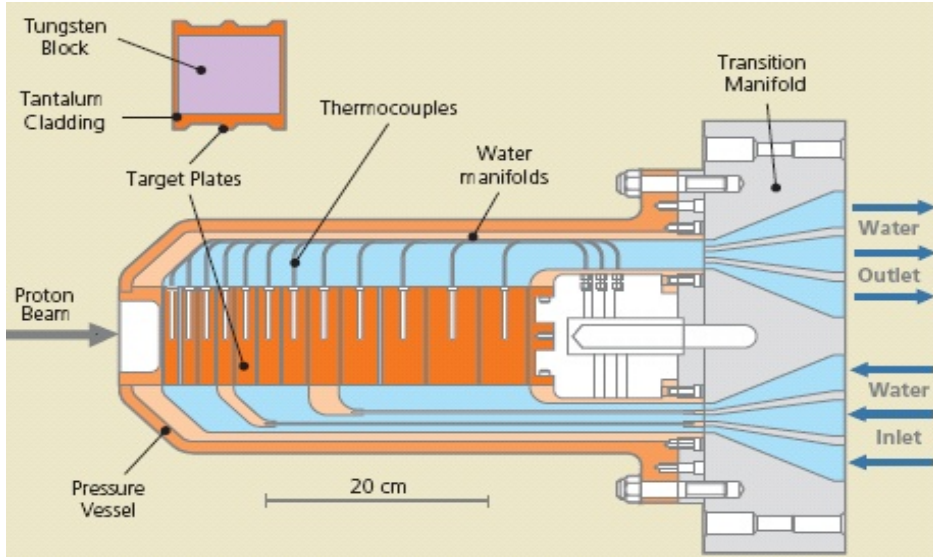
Şekil 4.5. Hedef istasyonunun görünüşü

18 demet kanalı, dokuzu TRAM'ın etrafında nötron saçılma aygıtları ile desteklenmektedir. Nötronlar, ağır metal hedefine hızlandırıcıdan gelen proton demetinin çarptırılmasıyla üretilirler. Proton demeti 90 kW ile 160 kW arasındaki güçle nötron hedefine çarptırılmaktadır. Hedef, ince tungsten tabakalardan ve tantalum kaplanmış tabakalardan oluşmaktadır. Hedef modülünde basınçlı tank ve soğuk su kanalları vardır.

Nötron saçılma deneyleri için düşük enerjili yavaşlatılmış nötronlar gereklidir. Bu da hedeften yakalanan hızlı nötronlar dört soğutucu tarafından yavaşlatılarak elde edilir. Soğutucu olarak iki sıvı kullanılır. Bunlardan birisi 100 °K sıvı metan, diğeri ise 20 °K'de sıvı hidrojenidir. Farklı enerjili nötron demetlerinden farklı sıcaklıklarda deneyler yapılır.

Hedef istasyonu içerisinde bulunan kontrol ve bakım odasında, deneyler sonucunda bütün bileşenleri yüksek bir radyoaktiviteyle kaplanmış olan TRAM'ın radyoaktiflik ölçümleri yapılır.

Servis alanı bölgesi; TRAM'ın bütün bileşenleri için soğutma teçhizatları bu bölümde bulunmaktadır. Hidrojen soğutucuları, metan için kryogenik sistemler, reflektrometreler, hedef basınç tankları ve hedef için su soğutma bu bölümde yer almaktadır. Bütün devre elemanları ISIS Kontrol Sistemindeki, monitörler tarafından izlenmektedir.



Şekil 4.6. Hedef modülü

Müonlar, ISIS proton demetinin, 10mm kalınlığındaki ince karbon hedefinde yüksek enerjili çarpışmalar sonucu önce pionlar oluşur. Pionlarda müonlara bozunur. Pionların yaşam süresi 26 ns dir. Müon demeti tamamen polarize edilebilir ve bu polarizasyonla müon demeti korunarak müon spektrometrelerine taşınır. Proton demetinin yaklaşık %2-3'lük kısmı müon hedefi tarafından absorbe edilir.

4.5.1. İkinci hedef istasyonu (2. nötron hedefi)

İkinci hedef istasyonunun kurulması 2003 yılında İngiltere Bilim Bakanlığı tarafından ilan edildi. Bilindiği gibi, malzemelerin atomik yapısının incelenmesinde nötron saçılımı çok önemli bir yere sahiptir. Nötron saçılımı atomların konumları ve etkileşimleri hakkında bilgi almamızı sağlar. Son yirmi yılda bu alandaki çalışmalar daha da ivme kazanmıştır. İkinci hedef istasyonu, bio-moleküler teknoloji, yoğun madde fiziği, ileri malzemeler ve nanoteknoloji gibi önemli alanlarda araştırma yapma imkanı sağlayacaktır. İkinci hedef istasyonunun 2008 yılında çalışmaya başlaması planlanmaktadır. Hedef istasyonunun 2002- 2008 yılları arasında yapım aşamaları aşağıda verilmiştir [14]

- 2002: İlk kez Bilim ve Teknoloji komisyonunda tavsiye edilmesi.
- 2003: Projenin kapsamlı programının kabul edilmesi

- 2004: Hızlandırıcıdan hedefe giden yolun ve R78 teknik destek binasının tamamlanması
- 2005: R80 deney alanının inşaatına başlanması
- 2006: R80 deney alanının inşaatının tamamlanması
- 2007: Hedef bölgesinin bulunduğu deneysel kısmın tamamlanması, sinkrotrondan alınan proton demetinin taşıyıcı kanalının tamamlanması, hedef istasyonun tamamlanması, hedefe ilk proton demetinin gönderilmesi
- 2008: Deneysel çalışmaların başlaması

İkinci Hedef İstasyonunun Temel Parametreleri

Çizelge 4.2. İkinci hedef istasyonunun temel parametreleri

Proton Demeti	Tekrarlama frekansı	10 Hz
	Proton demetinin sinkrotrondan ayrılma açısı	75 ⁰
	Akım	60 µA
	Hedefteki güç dağılımı	48 kW
	Proton demet hattının kalınlığı	1,5 m çelik+0,75 m beton
	Demet hattının dış yüzeydeki radyasyon doz miktarı	<0,25 µSv/hr
Hedef	Malzeme	Tungstenle kaplanmış tantalyum
	Büyükük	25 mm yarıçap
	Soğutucu	Ağır su
	Reflektör	Berilyum çubukları
	Kalınlık	12 m kalınlıkx7 m yükseklik, çelik+beton, 2 m çelik, hedefin altında 1 m beton
Demet portları	Sayı ve aralık	Hedefin her bir tarafında 9 tane, 13 ⁰ aralıklarla

Çizelge 4.2. (Devam) İkinci hedef istasyonunun temel parametreleri

Soğutucular	Katı metan (25 K)	150x150x30 mm ³
	Sıvı hidrojen (25 K)	150x150x50 mm ³
Hedef bileşenlerinin yaşam süreleri	Metan soğutucu	6 ay
	Tungsten hedef	2-5 yıl
	Hidrojen moderatör	15 yıl
	Nötron demet penceresi	15 yıl

4.6. İkincil Demetler

ISIS’de protonlar hızlandırılarak nötron ve müon hedefi ile çarpıştırılarak üretilen parçacıklar deney istasyonlarında kullanılır. 21 tane nötron ve 7 tane müon deney istasyonu bulunmaktadır. Bu deney istasyonlarından bir kaçının kullanımını ve parametreleri aşağıda verilmiştir.

Kristolografî

HRPD : Yüksek çözünürlüklü toz difraktrometresi

POLARIS : Yüksek yoğunluklu toz difraktrometresi

SXD : Tekli kristal difraktrometresi

HIPr : Yüksek basınçlı aygıt

GEM : Genel amaçlı difraktrometre(Sıvıların ve amorf yapıların incelenmesi)

ROTAX : Çok amaçlı difraktrometre

Düzensiz Malzemeler

SANDALS : Küçük açılı sıvılar ve amorf yapıların difraksiyonu

MARI : Mağnetik spektroskopi

PRISMA : Tekli kristal spektroskopisi ve difraktrometresi

ALF : Kristal düzenleme merkezi

Moleküler Spektroskopi

IRIS : Düşük enerjili spektroskopi

OSIRIS : Uzun dalga boylu difraktrometre; polarizasyon analizinin geliştirilmesi

TOSCA : Moleküler spektroskopi ve kristal alanlar

VESUVIO : Elektron volt spektroskopisi

Müonlar

MuSR : Müon implantasyon spektroskopileri

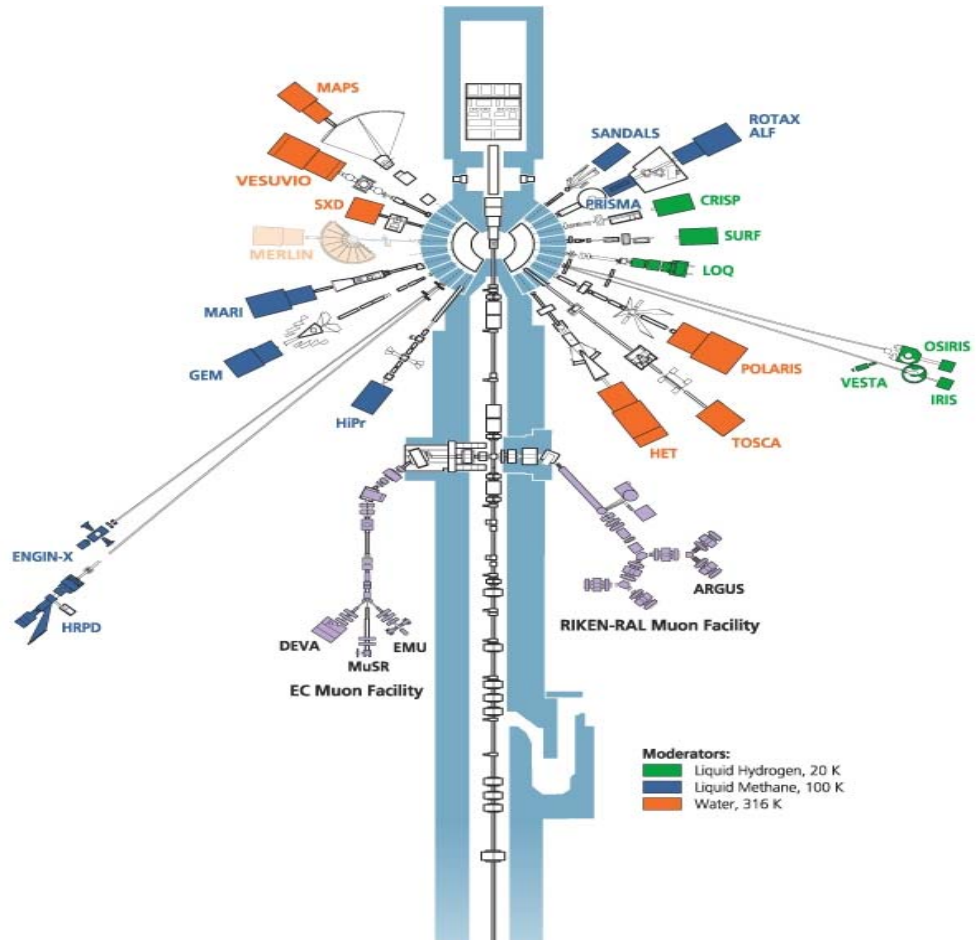
EMU : Avrupa Müon Spektroskopisi

DEVA : RF ve müon demetinin geliştirilmesi

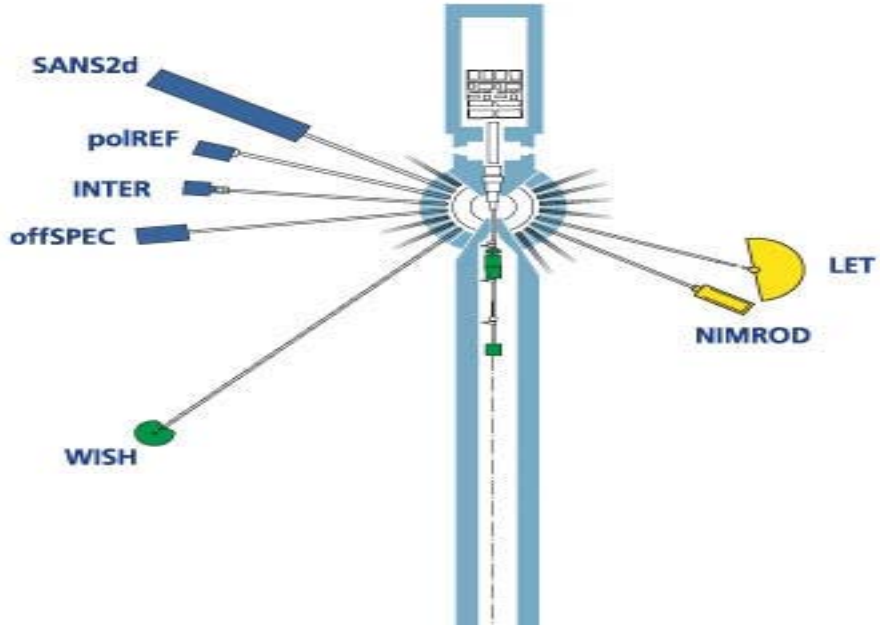
RIKEN(ARGUS Spektrometresi) : Yüzey ve Müon bozunum kanalı merkezi

Mühendislik

ENGİN- X : Mikroskobik gerilim ve zorlama



Şekil 4.7. ISIS 1. hedef istasyonun demet kanallarının ve deneysel çalışma istasyonlarının görünüşü



Şekil 4.8. ISIS 2. hedef istasyonunun demet kanallarının ve deneysel çalışma istasyonlarının görünüşü

İkinci Hedef İstasyonu Aygıtları

WISH : Yüksek çözünürlüklü manyetik difraktrometre

NIMROD : Yakın ve orta seviyede geniş bir aralıkta düzenleme difraktrometresi

Inter : Ara yüzeyler için reflektrometre

poIREF : Polarize nötron reflektrometresi

offSPEC : Kapatma reflektrometresi

SANS2d : Küçük açılı nötron saçılmaları

LET : Düşük enerjili spektroskopi

5. ISIS DENEY İSTASYONLARI

5.1. Nötron Deney İstasyonları

5.1.1. LAD (Liquids and Amorphous Diffractometer) deney istasyonu

LAD dedektör kümesi 5° den 150° ye kadar açılarla düşey düzlemde yedi farklı saçılma durumunda kullanılabilir. Q momentum transferiyle geniş bir aralıkta temel yapı faktörü S(Q) deneysel olarak bulunur. Nükleer rezonans ile örnek elementler için geniş bir aralıkta açılarla başarılı deneyler yapılır.

Aygıtın iki tarafındaki düzenleyici detektörler birbirine benzerdir ve kararlı olmayan amorf örneklerle çalışıldığında detektör kümelerinin geriye doğru açılarında yüksek Q çözünürlüklü özel bir avantaj sağlar. Difarensiyel çarpışma bölgesinde eş zamanlı çalışılan örneklerde toplam çarpışma bölgesindeki bütün dalgalar monitöre iletilir.

Çok kalabalık veri analiz takımı (ATLAS TAKIMI) tarafından veriler kullanılabilir hale getirilir ve verilerin hepsi düzeltilir ve sonuçta tekli S(Q) yapıdaki kıvrımlar düzeltilmiş olur.

Bu aygıtta ek olarak, büyük bir miktarda dedektörler arasındaki kalkanlarla arka plandaki çevresel donanımlar takviye edilmiştir [14].

LAD'in Kullanım Alanları

- Camların temel yapısının incelenmesinde (oksitli camlar, kalgonidli camlar, metallik camlar)
- Sıvıların temel yapısının incelenmesinde (tuzların eritilmesinde, sıvı metaller ve alaşımlar, moleküler akışkanlar) ve gazlar.
- Planar örneklerdeki anizotropik çalışmalar.
- Kristal malzemelerin düzensiz çalışmalarında
- Yüksek çözünürlüklü toz difraksiyonu

Çizelge 5.1. Demet parametreleri

Dalga boyu	0.25-6.5 Å
Minimum momentum transferi Q	Minimum elde edilebilir 0.25 Å ⁻¹ , fakat pratikte 0.3-0.8 Å ⁻¹ arasındadır.
Maksimum momentum transferi Q	Örnekte maksimum kullanılan bağımlı değişken, fakat 30-50 Å ⁻¹ arasında tipiktir.

Çizelge 5.2. Dedektör parametreleri

Dedektör Takımı	Saçılma Açısı	Toplam uçuş uzunluğu	Çözünürlük	Maksimum d -uzayı	Detektör Tipi
1	4.937°	11.047 m	14%	~80 Å	10 atm ³ He
2	9.704°	11.033 m	7%	~40 Å	10 atm ³ He
3	20.562°	11.040 m	3.5%	~17 Å	Li cam sintilatörü
4	35.183°	11.043 m	1.8%	~11 Å	Li cam sintilatörü
5	58.103°	11.046 m	1.2%	~7 Å	Li cam sintilatörü
6	90.131°	11.039 m	0.8%	4.8 Å	Li cam sintilatörü
7	148.164°	11.128 m	0.6%	3.7 Å	10 atm ³ He

Çizelge 5.3. LAD dedektör takımının parametreleri($L_I=10.0m$)

Demet Hattı	S7
Soğutucu	100 °K CH ₄
Numune Pozisyonu	Soğutucudan (L ₁) 10 m
Demet Boyutu	40 mm yükseklik, 20 mm genişlik
Sayma Oranı	5×10^3 (5°) - 7×10^4 (150°)
Numune Ortamı	Örnek tank ISIS standartlarından küçük
Veri Alma	Vaxstation 3200

5.1.2. HRPD (High Resolution Powder Diffractometer) deney istasyonu

HRPD, yüksek çözünürlüklü toz diffractometresi, dünyada tipinin en yüksek çözünürlüklü nötron toz difraktometresidir. ISIS’de nötron hedefinden 100m uzakta bulunan deney istasyonunda, geniş d-uzayı aralığında ince yapısal detayların $\sim 4 \times 10^{-4}$ ’lük $\Delta d/d$ çözünürlüğüyle arka plan saçılmalarını etkili bir şekilde detekte edilebilir. Örneğin evre geçişlerindeki veriler, piklerde küçük hücre değişimleri ve kompleks maddelerin daha kısa d-uzayında piklerine izin verir.

HRPD’deki sıvı metan soğutucusu, yaklaşık 10-12 Å maksimum bir dalga uzunluğunda olay akısı sağlar. Arka plandaki saçılmalarda en yüksek çözünürlük 5-6 Å d-uzayında kaydedilmiştir. 90°’deki tamamlayıcı detektörler ve düşük açılarla ölçülebilir d-uzayı aralığında, 20 Å üzerinde çözünürlüğü artırır. 90°deki detektör kümesi, eski detektör kümesine oranla daha geniş aralıkta çalışmaya izin verir.

ZnS-sintilatörü detektörünün kısımları düşey düzlemde arka plan saçılmalarında, yüksek çözünürlüklü tekli kristal çalışmaların, toz çalışmalarında kullanılan tipik Debye- Scherrer geometrisi çiftlenimine imkan verir.

Prensip olarak uçuş- zamanı deneylerinde, sabit detektör geometrisiyle değişken olay dalga uzunluğunun bulunmasında HRPD avantajlıdır [15].

Çizelge 5.4. HRPD’ye gelen demetin ve dedektör takımının özellikleri

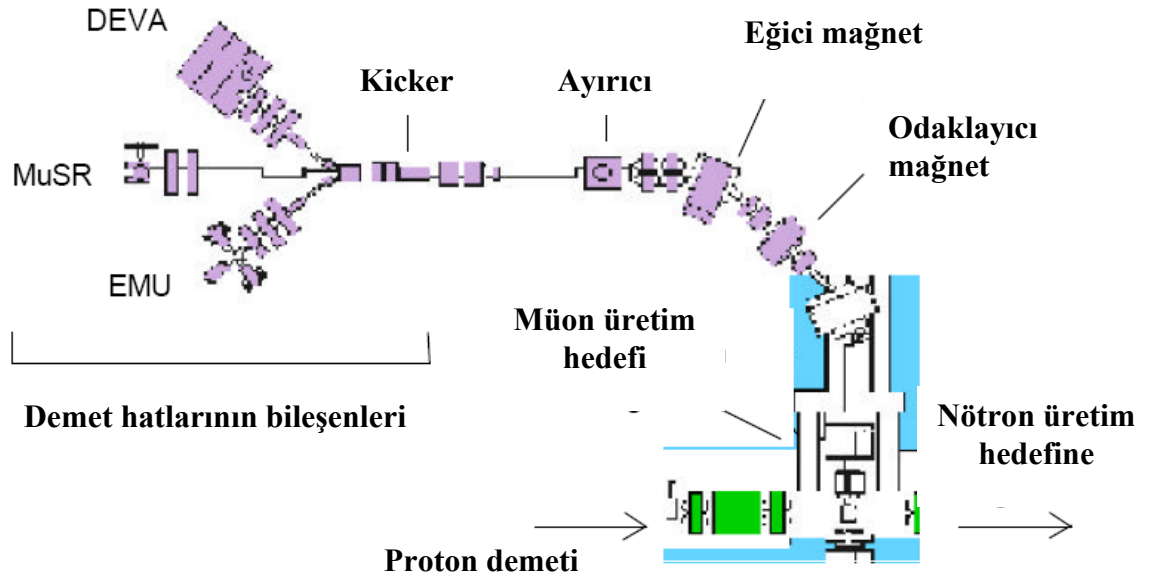
Demet hattı	S8		
Soğutucu	100 K metan (olay dalga boyu $0.5 < \lambda < 12 \text{ \AA}$; pik dalga boyu $\lambda = 2 \text{ \AA}$.)		
Numune ortamı	Bütünüyle ayarlanabilir numune aygıtı		
Veri Elde Etme	Dijital kontrol (Digital Alphastation 500/266)		
Dedektörler			
Pozisyon	Arka plan saçılması	90 derece	Küçük açılı
Dedektör tipi	ZnS sintilatörü	ZnS sintilatör	10 atm. ^3He gaz tüpü ($\frac{1}{2}$ ")
2θ açısı	$160^\circ - 176^\circ$	$80^\circ - 100^\circ$	$28^\circ - 32^\circ$
Ω (ster)	0.41 ster	0.70 ster	0.01 ster
Kararlılık($\Delta d/d$)	$\sim 4 \times 10^{-4}$	$\sim 2 \times 10^{-3}$	$\sim 2 \times 10^{-2}$

Uygulamalar

- 2500 \AA^3 den büyük birim hücrelerle kompleks moleküllerin 300-400 değişken parametre ile profilini çıkarır.
- Ab-initio kristal yapısının determinasyonu
- Önceden tek kristalleri gerektiren bir yapının kalitesinde yapılan arıtmaları düzenler
- Faz geçişi çalışmalarında
- Çok ince fark edilmeyen simetri değişimlerinin incelenmesi.
- Kafes parametrelerinin doğru ve hızlı bir şekilde belirlenmesi.

5.2. Müon Deney İstasyonları

ISIS hızlandırıcı merkezi dünyanın en şiddetli pulslu müon kuruluşuna sahiptir. ISIS’ de iki tane müon demeti kanalı vardır. Bunlardan birincisi ISIS EC yüzey müon demeti kuruluşudur. Bu kısımda hızlandırılmış proton demeti grafit hedefine çarptırılarak yüzey müonları elde edilmektedir. Kuruluşun deneysel bölgesinde, yüzey müonları kullanılarak μ SR spektroskopisine dayalı deneyler gerçekleştirilmektedir. EC yüzey müon kurulumunda, farklı özelliklerde üç spektrometre vardır. Bunlar ; Avrupa müon spektrometresi (EMU), MuSR spektrometresi ve gelişim bölgesi DEVA cihazıdır [16].



Şekil 5.1. EC yüzey müon merkezinin demet kanallarının ve deneysel çalışma alanlarının görünüşü

Çizelge 5.5. EC yüzey müon demetinin özellikleri

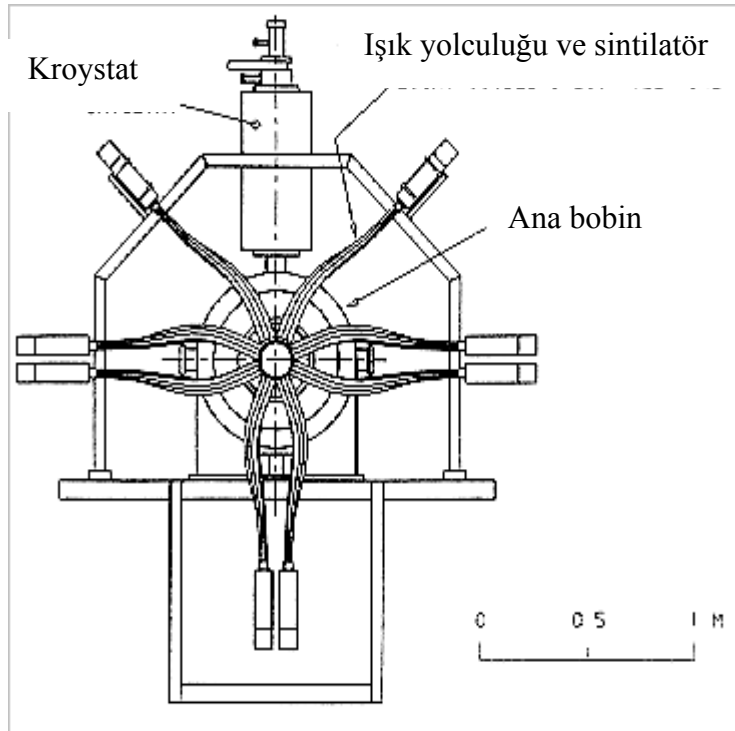
Pozitif Müon Demeti	Değeri
Üretimde kullanılan hedef	5,7 veya 10 mm’lik grafit
Momentumu	26,5 MeV/c
Pulslu yapısı	80 ns FWHM’de tekli puls

Çizelge 5.5 (Devam) EC yüzey müon demetinin özellikleri

Odaklamada demet kalınlığı	μSR için 8 mm dikey, EMU için 10 mm yatay
Yoğunluğu	$4 \times 10^5 \mu^+/\text{s}$
Polarizasyon	%100
Sonda derinliği	yaklaşık $110 \text{ mg}/\text{cm}^2$

5.2.1. EMU deney istasyonu

EMU (Avrupa Müon Spektroskopisi) müon uygulamalarında müon spin rezonans tekniğini kullanmaktadır. EMU spektroskopisinde; 0-4000 G şiddetinde ve boyuna manyetik alanlı μSR tekniği kullanılır. Çizelgede müon demetinin özellikleri ve spektrometrelerin özellikleri verilmiştir. 32- detektörlü μSR spektrometresidir [17].



Şekil 5.2. EMU spektrometresi

Çizelge 5.6. EMU deney istasyonunun parametreleri

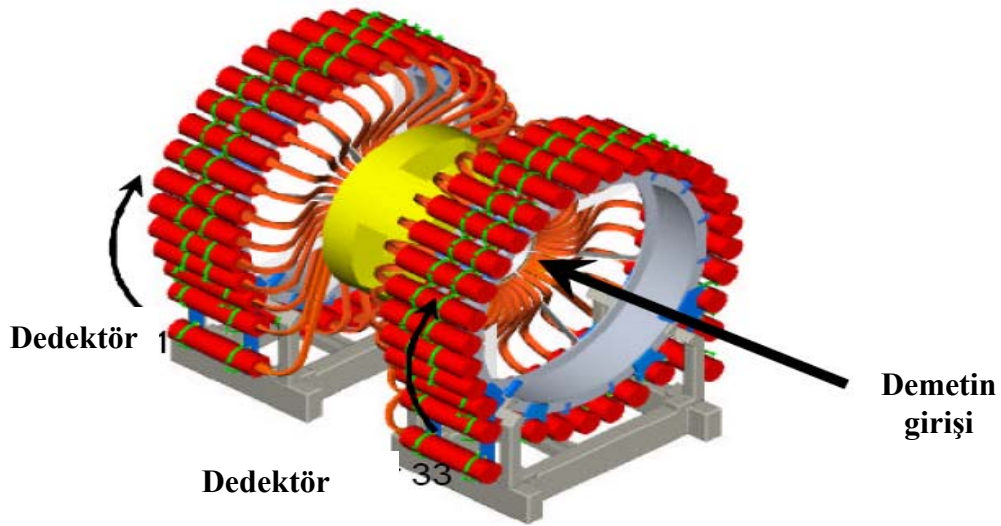
Üretim hedefi	5, 7 veya 10 mm grafitte 45° proton demeti
Demet	Pozitif müonlar
Olay momentumu	26.5 MeV/c
Puls yapısı	Tekli puls, 80 ns fwhm
Kirlilik	$e^+/\mu^+ < 0.15$ ayırıcı voltajı > 70 kV
Odaklanan demetin büyüklüğü	Yatay : 10 mm fwhm, düşey : ayarlanabilir, 10-27 mm fwhm
Yoğunluk	$4 \times 10^5 \mu^+/\text{s}$ üç güney-yan müon alanından oluşmaktadır.
Veri oranı	Saate yaklaşık 10-20 milyon olay meydana gelir (5 mm kalınlıkta müon üretim hedefi, ISIS akımı 180 μA)
Müon polarizasyonu	%100
Müon enerjisi aralığı	Yüzey momentumu (100 mg.cm^{-2}) için yaklaşık 3.2 MeV enerji
Arka plan (fon kirliliği)	Arka planda sabit bir arka plan içermektedir. 10^{-5} saniyede ilk olay
Aygıt geometrisi	Boyuna (LF) veya sıfır (ZF) manyetik alan uygulamaları, düşük enine manyetik alanlar (TF)
Dedektörler	Dairesel olarak yerleştirilmiş 32 bölümlü sintilatör. ZF, LF için 2x16 grup
Numune ortamı	<ul style="list-style-type: none"> • Helmholtz bobinleri (0-400 mT), LF veya TF, • Kalibrasyon bobinleri (0-10 mT) TF • $3 \mu\text{T} >$ altında manyetik alan, sıfır alan • sorption kroystat (350 mK - 50 K) • Oxford aygıtları kroystat (2 K - 300 K) • Kapalı devreli buzdolabı (CCR) (12 K - 340 K) • Büyük ocak (300 K - 1000 K)
Veri alma	VAX 3200 istasyonunun aygıt kontrol edilir

Çizelge 5.6. (Devam) EMU deney istasyonunun parametreleri

Çözünme zamanı	8, 16, 24 veya 32 ns zamanda TDC 32'le çözünme olur
Ölçülebilir frekanslar	0,1-10 MHz (müon pulsu sınırlı bir aralıkta olmasından dolayı üst limit)

5.2.2. MuSR deney istasyonu

MuSR spektroskopisi müon uygulamalarında müon spin rezonans tekniğini kullanmaktadır. MuSR spektroskopisinde 0,02 T şiddetindeki enine ve boyuna manyetik alanlı μ SR tekniği kullanılmaktadır [18].



Şekil 5.3. MuSR spektroskopisi dedektörleri

Çizelge 5.7. MuSR deney istasyonunun parametreleri

Üretim hedefi	7 veya 10 mm grafitte 45° proton demeti
Demet	Pozitif müonlar
Olay momentumu	26,5 MeV/c
Puls yapısı	Tekli puls, 80 ns fwhm

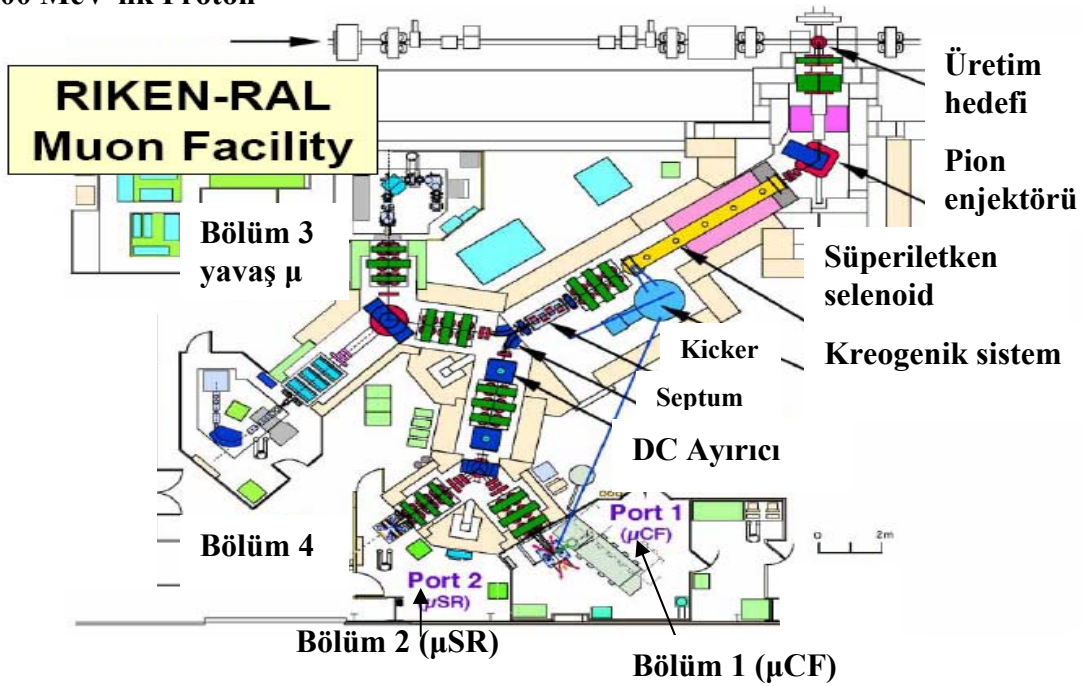
Çizelge 5.7. (Devam) MuSR deney istasyonunun parametreleri

Kirlilik	$e^+ / \mu^+ < 0,15$ ayırıcı voltajı > 70 kV
Odaklanan demetin büyüklüğü	Yatay : 8 mm fwhm, düşey:ayarlanabilir, 7-15 mm fwhm
Yoğunluk	$4 \times 10^5 \mu^+ /s$ üç güney-yan müon alanından oluşmaktadır.
Veri oranı	Saate yaklaşık 10-20 milyon olay meydana gelir(5 mm kalınlıkta müon üretim hedefi, ISIS akımı 180 μA)
Müon polarizasyonu	%100
Müon enerjisi aralığı	Yüzey momentumu (100 mg.cm^{-2}) için yaklaşık 3.2 MeV enerji
Arka plan (fon kirliliği)	Arka planda sabit bir arka plan içermektedir. 10^{-5} saniyede ilk olay
Aygıt geometrisi	Boyuna (LF) veya sıfır (ZF) manyetik alan uygulamaları, düşük enine manyetik alanlar (TF)
Dedektörler	Dairesel olarak yerleştirilmiş 64 bölümlü sintilatör. ZF, LF için 2x32, TF için 16x8 grup
Numune ortamı	<ul style="list-style-type: none"> • Helmholtz bobinleri (0-250 mT), LF veya TF, • Kalibrasyon bobinleri (0-10 mT) TF • $3 \mu T >$ altında manyetik alan, sıfır alan • mavi kroystat (1,5 K-300 K) • Portakal kroystat (1,5 K-300 K) • Su konulmuş buzdolabı (40 mK-4,2 K) • Su konulmuş buzdolabı (40 mK-300 K) • Kapalı devreli buzdolabı (CCR) (12 K - 340 K) • Büyük ocak (300 K - 1000 K)
Veri alma	Bilgisayar Grubu ile aygıt kontrol edilir
Çözünme zamanı	0,5- 32 ns zamanda TDC 64'le çözünme olur.
Ölçülebilir frekanslar	0,1-10 MHz (müon pulsu sınırlı bir aralıkta olmasından dolayı üst limit)

5.2.3. RIKEN-RAL

ISIS'deki diğer bir kurulum ise RIKEN/RAL müon tesisidir. Bir müon bozunum kanalına sahip olan RIKEN/RAL müon kuruluşu dünyanın en şiddetli pulslu müon kaynağıdır. Proton sinkrotronunda hızlandırılan 800 MeV enerjili pulslu proton demeti pion üretim hedefine bombardıman edilerek pion demeti üretilir. Bu oluşan pion demeti süperiletken solenoid içerisinde müonlara bozunur. Müon bozunum kanalı üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; üretim hedefinin yanındaki pion enjeksiyon kesimi, içerisinde pion bozunumunun gerçekleştiği 5.5 m uzunluğunda ve 5 T'lik süperiletken solenoid ve müon demetini deneysel bölgelere ulaştıran müon taşıma kanalıdır. Bu kuruluşun deneysel aşamasında; negatif müon demeti kullanılarak müon katalizörlü füzyon çalışması (1. Bölge), yüzey müonlarının kullanıldığı μ SR spektroskopisine dayalı deneyler (2. Bölge), tungsten sıcak metal yaprak kullanılarak üretilen müonyum atomu üzerindeki atom fiziği araştırmaları (3. Bölge) ve müonik X-ışını spektroskopisi (4. Bölge) deneyleri yapılmaktadır. Kurulumun şematik görünümü aşağıdadır [19].

800 MeV'lik Proton

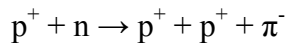
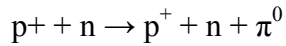
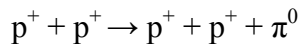
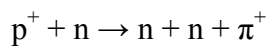
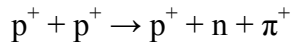


Şekil 5.4. RIKEN-RAL müon merkezinde demet kanallarının ve deneysel çalışma alanları görünüşü

6. ISIS'DE MÜON ÜRETİMİ VE MÜON DEMET KANALI

6.1. Müon Üretimi ve Fiziği

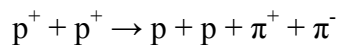
Yüksek enerjili protonlarla çekirdekler bombardıman edilerek pionlar, pionlarda bozunarak müonlar oluşur. Bu nükleer reaksiyonların oluşumu aşağıdaki gibidir [20].



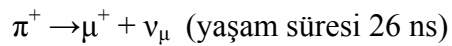
Bu reaksiyonların gerçekleşebilmesi için protonların enerjisinin 280 MeV'den büyük olmalıdır. Bütün bu oluşan parçacıklar için enerji aralığı 500-1000 MeV dir.

ISIS 800 MeV, PSI 590 MeV

Böylece yüksek enerjilerde çok sayıda pion oluşur.



Pionlar bozunarak müonlar oluşur:

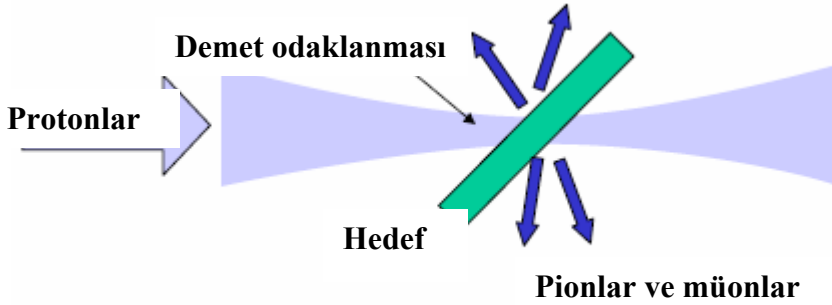


Pionların müonlara bozunumunda polarizasyon %100 dür.

6.2. Müon Üretimi ve Hedefler

Müonların üretimi için küçük atom numaralı ve erime noktası yüksek olan elementler kullanılır. Büyük atom numaralı atomlar da demetin saçılmasıyla da nötronlar üretilir. Müonlar için genellikle grafit bazende Berilyum kullanılır. Müon üretimi

için hedefe gönderilen demet önce vakumlanır. Sıcaklığı 600 °C olan hedef radyasyonla veya kenarlarından soğutulur.



Şekil 6.1. Protonların hedefe çarpmasıyla oluşan parçacıklar

Protonların hemen hepsi pion üretimi için kullanılmaz (%95) ve düşük enerjili kayıplarla içinden geçer, bundan dolayı başka amaçlar için kullanılabilir (nötronlar).

6.3. Müonlar ve Pionlar

Bazı pionlar hedeften ayrılır. Demet hattı içinde müonların bozunumuna izin verilir. İleriye geriye bozunumlarda müon rölatif momentumu belirleyici olmaktadır. Müon demet hattında ilk pion momentumu ile oluşan müonların momentumu birlikte bulunabilir. Yüksek momentumlu müonlar basınçla hücrelere geçerler. Sonuçta müon polarizasyonu %80 dir.

Bazı pionlar hedef malzeme içerisinde dururlar. Demet hattı içinde pionlardan bozularak oluşan müonlar yakalanır. Hepsi bir yönde polarize olmuş pionlar bozularak müonlar oluşur. Yüzey müon demet hattı dizayn edilebilir. Çok şiddetli fakat momentumu düşük olan bir müon demetinin tamamı polarize edilir.

Hedefteki hareketsiz pionlardan yüzey müonları oluşur. Bu müonların enerjileri ve momentumları aşağıdadır [16].



$$P_{\mu}=27 \text{ MeV}/c \quad E_{\mu}=4 \text{ MeV}$$

Yüksek enerjide ileri doğru saçılan pionlardan oluşan müonların momentumu pionların momentumundan büyüktür ($P_\mu > P_\pi$).

Yüksek enerjide geriye doğru saçılan pionlardan oluşan müonların momentumu pionların momentumundan küçüktür ($P_\mu < P_\pi$).

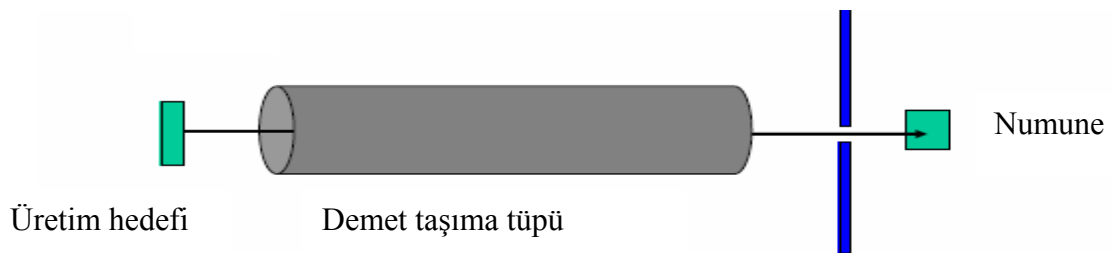
Çizelge 6.1. Pionların özellikleri

	π^+	π^-	π^0
Ort. Ömrü	$26,04 \times 10^{-9}$	$26,04 \times 10^{-9}$	$0,89 \times 10^{-16}$
Spini	0	0	0
Kütlesi (MeV)	139,7	139,7	134,97
Bozunum kipi	$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$	$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$	$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$

6.4. Müon Demet Kanalının Tasarımı

Müon Demet Hattı Dizaynı I

Basitçe bir demet hattının tasarımı şekildeki gibidir.



Şekil 6.2. Müon demet kanalı

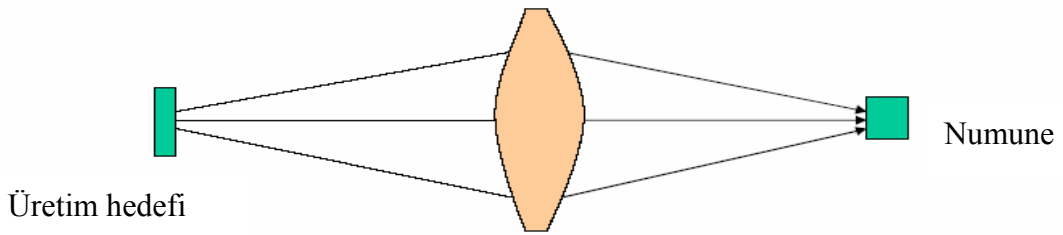
Burada temel sorun müon akımının düşük olması, diğer bir problemse diğer parçacıkların taşınması ve yüksek seviyede radyasyona numunenin maruz kalmasıdır.

Müon Kesici

Numunenin değiştirilebilmesi için hızlandırıcı kapatılmadan demet durdurulabilmelidir. Proton demeti kesilse bile numunede radyasyon kalır. Müon kesici demet hattına gelen tüm parçacıkları engelleyebilmelidir. 1 m kalınlığındaki çelik bloklar kullanılarak nötronlar, gamma ışınları, vs durdurulabilir. Momentumu 27 MeV/c olan müon demetini kesmek için 5 cm'lik kurşun plaka kullanılır.

Müon Demet Hattı Dizaynı II

Müonları odaklamak ve akıyı arttırmak için lensler kullanılır.



Şekil 6.3. Tekli lens

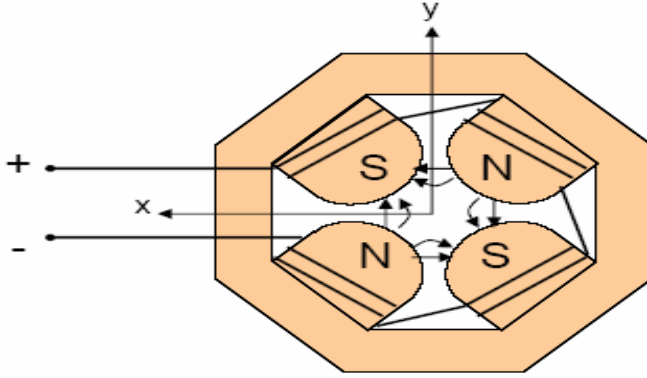
Genellikle birden fazla lens kullanılır: birinci lens üretim hedefine yaklaştırılarak büyük bir katı açı elde edilir, ikinci lensi numuneye yaklaştırarak demet odaklanmış olur. Gelen parçacıkların momentumları uygun seçilmediğinde odaklanmada problemler olur. Nötronlar odaklanmadan yoluna devam eder.

Müon Lensleri

Müonlar ters elektrik veya manyetik alanlarda saçılır ve saçılma açısı

$$\theta = d Bq / p \quad \text{veya} \quad \theta = d E_q / pv$$

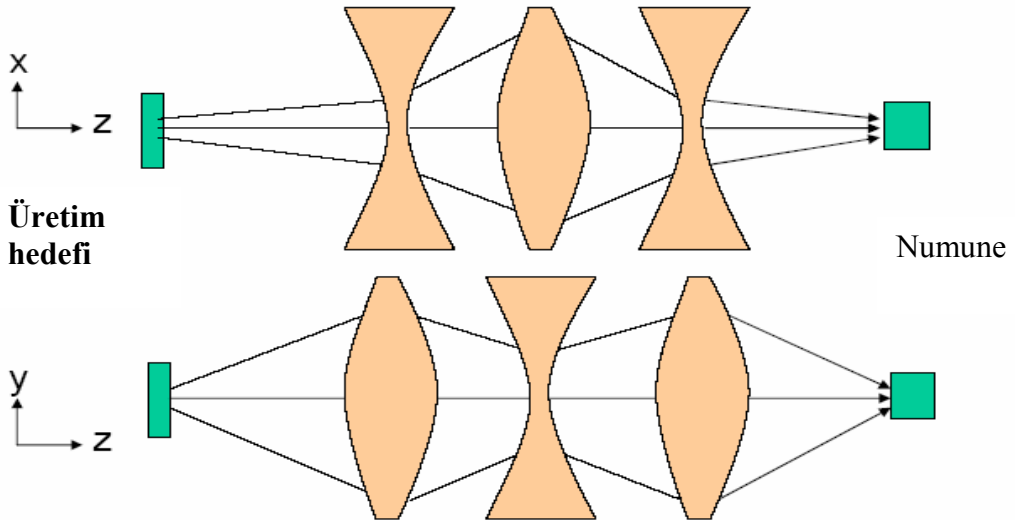
ile verilir. Düzgün alanlar kullanıldığında demet hep aynı açıyla bükülür. Alan gradientleri konumla saçılmanın değişimini verir.



Şekil 6.4. Kuadrapol mağnetin yapısı

Demet z eksenine doğrultusunda gelmektedir. Bu eksen boyunca mağnetik alan sıfır olduğundan saçılma olmaz. Demet +x yönünde olursa mağnetik alan +y, mağnetik kuvvet ise -x yönünde olur. Bu durumda konveks lenslerle odaklama söz konusudur.

Demet +y yönünde olursa mağnetik alan -x, mağnetik kuvvet ise +y yönündedir. Bu durumda ise konkav lensler ile dağıtma söz konusudur.

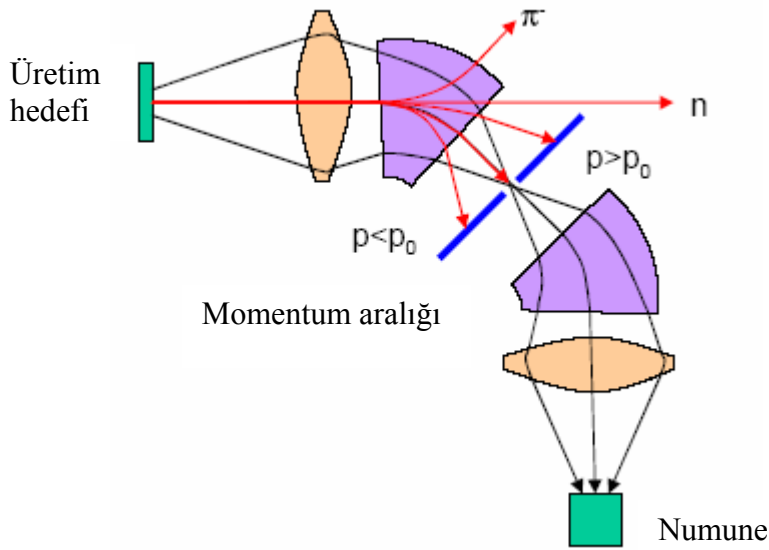


Şekil 6.5. Üçlü lenslerin yapısı

Aynı anda iki ekseninde odaklama yapmak mümkündür. Bunun için ikili veya üçlü lensler kullanılır. İkili lensler farklı büyüklükte x ve y odaklanması verir. Odaklamadan sonra demet biçimini koruyabilir.

Müon Demet Hattı Dizaynı III

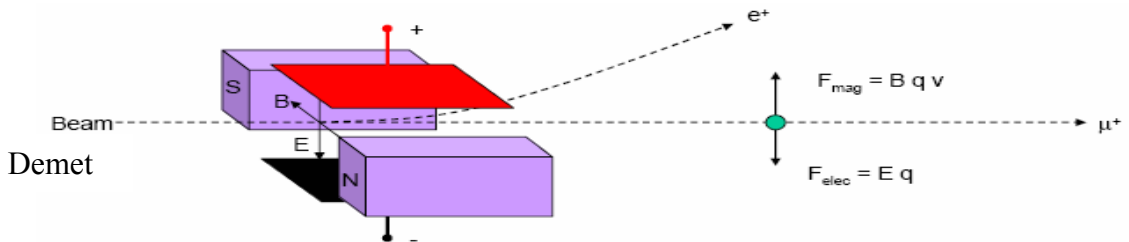
Düzgün mağnetik alan üreterek yüklü parçacıkların yörüngesini büken bir dipol mağnet yer alır. Yüksüz parçacıklar sapmadan yoluna devam eder. Farklı momentuma sahip parçacıklar ayrılır. Kullanılan kuadrapol sayısı arttıkça demetin akromatik özelliği artar.



Şekil 6.6. Kuadrapol mağnette parçacık yörüngeleri

Müon Demet Hattı Dizaynı IV

Mağnetik demeti sadece momentum ayırır. Çıkan pozitronları yüzey müonlarından ayırmak için $P=27 \text{ MeV} / c$ ($v \approx c$) momentum gerekir ($P=27 \text{ MeV}/c$ ama $v = 0.24 c$). Hedefte meydana gelen müonların bozunumu ile örnekteki pozitronlar gibi eş zamanlı yapıya sahiptir.

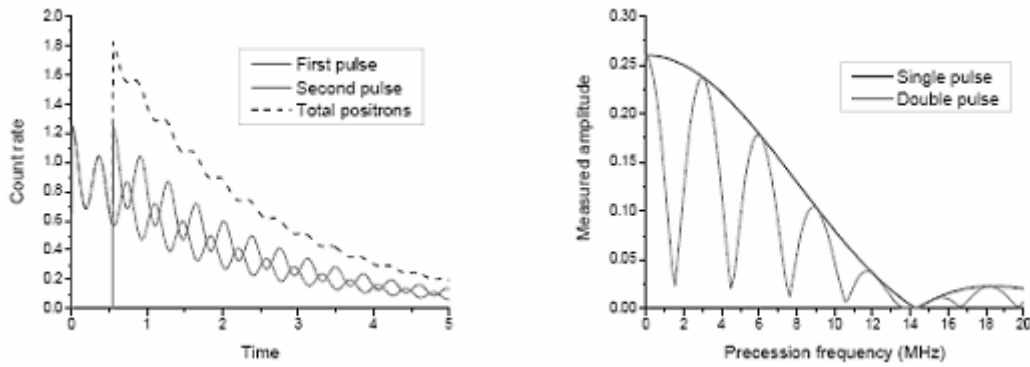


Şekil 6.7. Demetin elektrik ve mağnetik kuvvetler etkisindeki hareketi

Elektrik ve mağnetik kuvvetler parçacıkların doğrusal hızını kısıtlar.

Müon Demet Hattı Dizaynı V

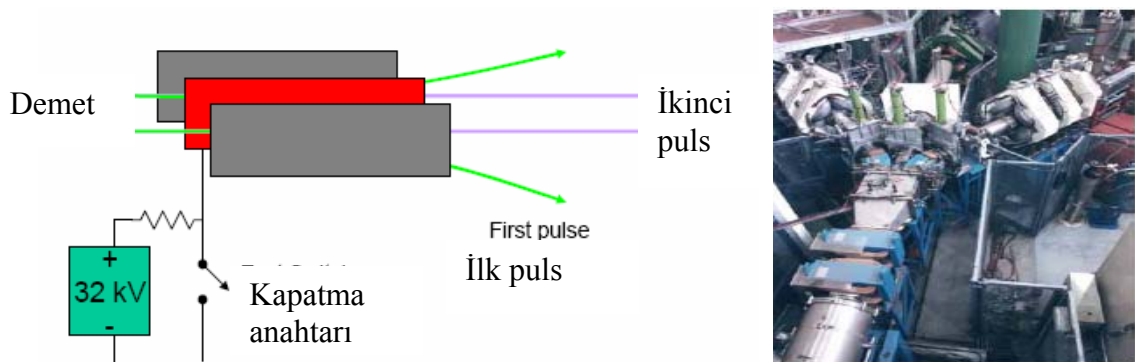
ISIS 330 ns’de ayrılan çok sayıda pulslu proton üretir. Müonların yaşam süresi 2.2 μ s’dir. Böylelikle müon bozunum spektrumları üst üste binmiş olur. Pulsun birini kaldırırsak üst üste binen spektrum çizgileri ayrılır.



şekil 6.8. Precession frekansının pulsa bağlı değişimi

Kicker

İlk kullanılan UPPSET elektrostatik kicker bir pulsu dışarı atıyordu. Gelişmiş olan bu EC elektrostatik kicker ikinci pulsu herhangi bir yere saptırıyordu. RIKEN’da yüksek momentumlu müonları elde etmek için mağnetik kicker kullanılmaktadır. Yüksek frekans tepkili pulsarı bölmek için de kullanılırdır.



şekil 6.9. Kickerdan çıkan birincil, ikincil pulsar.

Spin Rotasyonu

B alanında mağnetik alanın eğimi için, d yol uzunluğu için

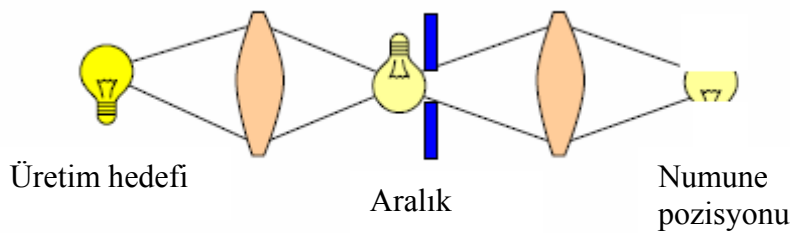
saçılma açısı $\theta = d B e / p$

Spin pressesionu $\phi = B \gamma t = dBge/ 2p$

Tam eşleşme için $g = 2,0$. Müon $g = 2,00233$ için spin momentum boyunca basit mağnetik demet hattını takip eder. Müon depolama halkaları birkaç dönüşten sonra $g=2$ yi ölçebilir. Elektrostatik saçılma açısı spini değiştirmez fakat momentumu değiştirir. ISIS kicker, EMU ve DEVA için 4^0 'lik dikey spin rotasyonuna sahiptir. Ayrıca ISIS ayırıcı içinde 6^0 'lik yatay spin rotasyonunu verir.

Müon Demet Hattı Dizaynı VI

Hedefteki müon üretim noktasının şekli bazen çok büyük olabilir. Numunenin yanında kolimatör kullanılır. İstenmeyen müonlar kolimatör tarafından durdurulur ve bozunum normal olur. Bu pozitronlar dedektöre varmadan durdurulmalı fakat numunedeki pozitronları engellemeden yapılmalıdır. Pratikte başarılması zordur. Demet hattı içinde kısa sürede odaklama olur. Kesikler spot büyüklüğünü azaltır. Kesiklerdeki pozitronlar detektöre ulaşamaz. Kesikler rneği şekillendirir.

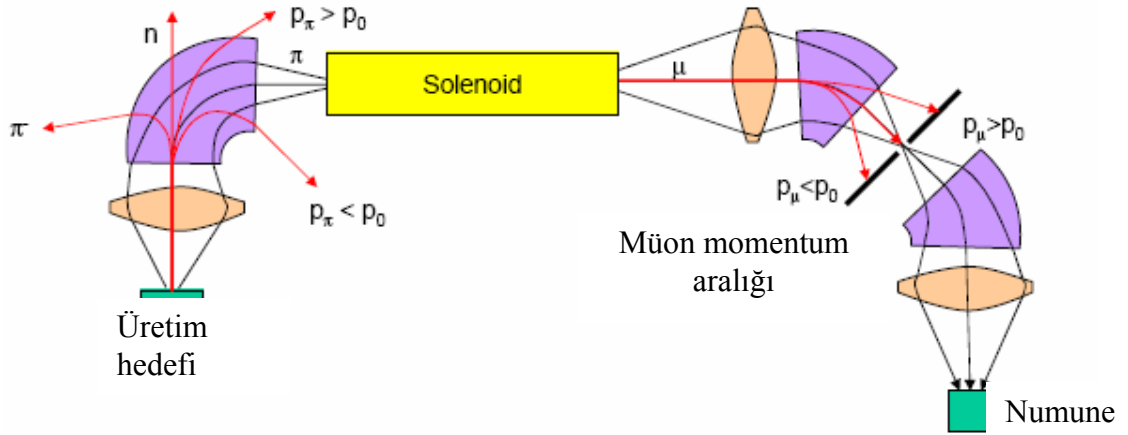


şekil 6.10. Üretim hedefinden numuneye demetin gönderilmesi

6.5. Demet Bozunum Kanalı

Demet hattı boyunca farklı pozisyonlardaki pionlar bozunarak müonları oluşturur. 100 MeV'lik pionlar için yol uzunluğunun ortalama 5,5 m'nin üzerinde olması gerekir. Farklı momentuma rağmen müonları aynı yol üzerinde tutulmalıdır.

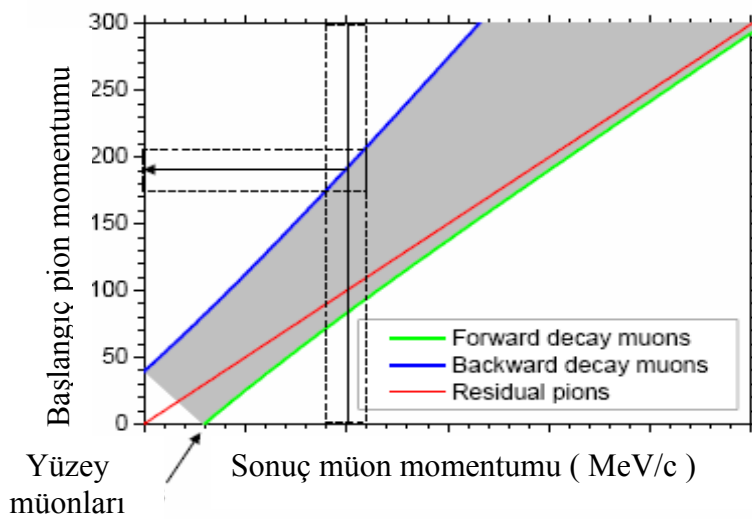
Parçacıklar selonoid içerisinde sarmal bir şekilde ilerler. Selonoid içerisine enjekte edilen pionların bozunumu için baştaki momentum alınır ve numuneye odaklanır.



Şekil 6.11. Kuadrapol mağnette parçacık yörüngeleri.

6.6. Bozunan Müon Demetinin Ayarlanması

İleriye ve geriye doğru olan müonların her ikisini de kullanabiliriz. Geriye doğru olan müonlar, arta kalan pionlardan kolayca oluşabilir. İleriye ve geriye doğru olan müonlar arasındaki enerjiler süreklidir. Gerçek enerjilerde bazı polarizasyonlardaki akımlar için müonlar ve pionlar optimize edilebilir.



Şekil 6.12. Pion momentumunun müon momentumuna bağlı değişimi

6.7. Pozitif ve Negatif Müonlar

Pozitif pionların bozunmasından oluşan pozitif müonlar çok önemli müon deneylerinde kullanılır. Negatif müonlar da negatif pionlardan oluşur. Hedefe çarpan proton demetinden negatif ve pozitif pionlar oluşur. Yüzeyde negatif müonlar oluşmaz çünkü çekirdekle olan tepkimelerde negatif pionlar yakalanır. Negatif müonlar böylece çekirdek yörüngesinde dolanırlar. Müon ve nükleer spin arasında çok güçlü bir etkileşme olur. Büyük çekirdekler için reaksiyonun etki süresi müon yaşam süresini azaltır. Birinci seviyenin altındaki müon basamaklarında müonik X-ışınları bazı karakteristik elementler tarafından çıkarılır. Aynı demet hattında bozunan negatif müonlardan oluşur. Bütün eğici magnetler alanı tersine çevirir (kuadropollerde) [21].

6.8. Sürekli ve Pulsu Demetler

Sürekli Demet (PSI) [22]

- Demet içindeki her bir müon ve çıkan pozitronlar sayılabilir.
- Ölçülen zaman aralığında, örnek numunede iki müon aynı derinliğe kadar girer. Müonlar arka planda pionlardan ayrılır.
- Etkili spot büyüklüğünü azaltmak için pozitronları müonlardan ayırmak gerekir (bunun için bir ayırıcıya ihtiyaç olmayabilir).
- Presesyon frekansını ölçmek için detektörlerin zamanlama aralığı önemlidir (500MHz).
- Müon sayacını kaldırdığımızda ortalama bir polarizasyonla pozitronların ölçümünü hemen alabiliriz.

Pulsu Demet (ISIS)

Puls uzunluğu $\ll \tau_\mu$ ve aralığı $\gg \tau_\mu$

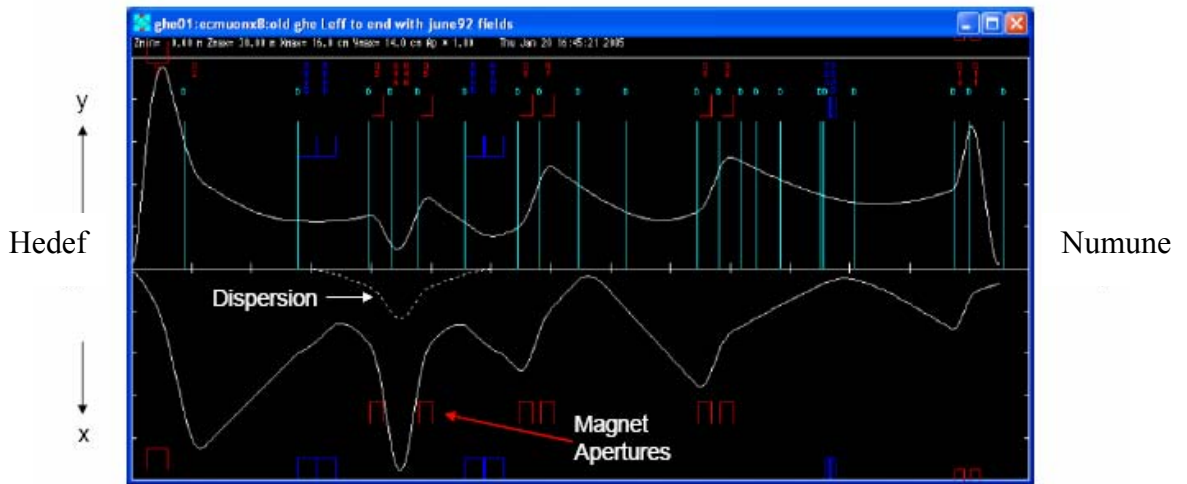
- Müon pulsu ortalama bir pozisyonda hızlandırıcıdan verilen sinyalle başlar.
- $t = 0$ anında detektörler kapatıldığı zaman sadece belli bir aralıkta ölçüm yapılabilir.
- Arka planı genellikle düşük, uzun bir zaman aralığında ($> 10 \tau_\mu$) ölçüm

yapılabilir.

- Küçük örnekler için bağımsız pozitron demetleri yönlendirmede kullanılır.
- Presesyon frekansının büyüklüğü, puls genişliği (10 MHz) ile sağlanır.
- Zamana bağlı polarizasyon her zaman kolaylıkla yapılabilir.

Demet Hattının Dizaynı

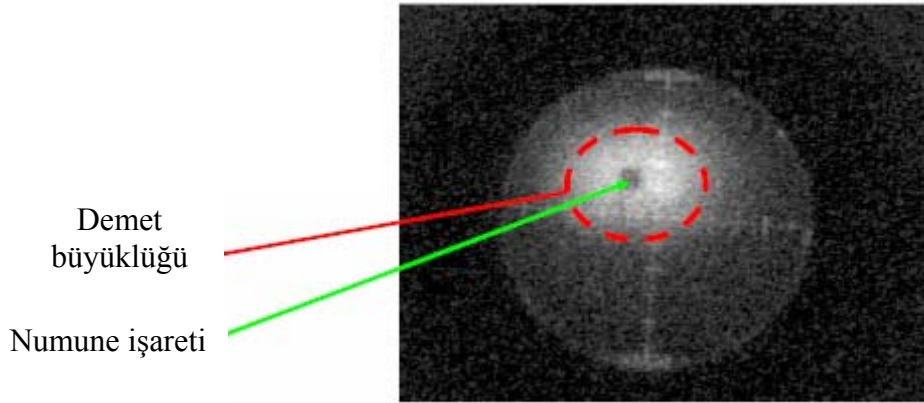
Demet taşınırken bütün öğelerin odaklamaya etkisini bilgisayar programıyla hesaplanabilir. Birinci veya ikinci transfer matris metodu ile hızlı bir şekilde hesaplanabilir. Demetin en iyi yerde ve doğru bir şekilde odaklanması için en iyi yerleri bulur. Demet hattı boyunca demetteki değişimlerin haritasını çıkarır.



Şekil 6.13. Demetin, demet kanalındaki hareketi

Demet Hattı Monitörü

İyi bir odaklama için; demet hattının başarılı bir şekilde çalışması, ayırıcı voltaj ayarı, vs.. yapılmalıdır. Küçük fly-past numunelerin merkezinde ve büyük numune tabakalarının her ikisinde müonlarla doğrudan yapılan ölçülebilir aralıkta aygıtlarda kullanılabilirler. Demeti numuneye yöneltmek için ve malzemelerin spot büyüklüğünü ölçebilmek için farklı aralıklarda sinyaller verilir. Çok duyarlı demet kamerası (CCD) ile numune tabakasının spot resmi çekilir.



Şekil 6.14. Numunedeki demet büyüklüğü.

6.9. Müon Bölgesi ve Kullanım Alanları

6.9.1. Müon bölgesi

Hızlandırılmış protonların sabit hedefle çarpıştırılmasıyla elde edilen pionların bozunumu sonucunda müon demeti elde edilir. Müon ilk kez 1937 yılında S.H. Neddermayer ve C.D. Anderson tarafından kozmik ışınlarda keşfedilmiştir [23]. Müon ikinci aile leptonu olup ortalama ömrü $2.197 \mu\text{s}$, kütlesi 105.658 MeV 'dir [24]. Müonlar 1950'li yıllardan başlayarak birincil nesil proton hızlandırıcılarında üretilmeye başlandı. Bunlar; Nevis (Columbia, ABD), Srel (ABD) ve CERN'deki sinkrosiklotronlardır. Daha sonra 1974 yılında SIN (PSI-İsviçre) [22] ve TRIUMF (Kanada) siklotronları [25] gibi ikincil nesil proton hızlandırıcıları ortaya çıktı. Bu hızlandırıcılarda sürekli müon demeti üretiliyordu. 1981 yılında BOOM(Japonya) ve 1987 yılında ISIS (Rutherford Appleton Laboratory, İngiltere)'de pulslu müon demeti üretmeye başladı.

Müon demeti; müon çarpıştırıcılarında, ν -fabrikalarında müon-katalizörlü füzyonda ve μSR (Müon Spin Rezonansı)'nda kullanılır.

Proton sinkrotronunda istenilen enerji ve akım değerine ulaşan proton demeti, yönlendirici magnetler kullanılarak müon bölgesindeki laboratuvarlara ulaşır. Müon üretimi için Berilyum, Karbon veya Grafit hedefleri kullanılabilir. Hedefte meydana gelen yüksek enerjili proton-proton veya proton-nötron çarpışmaları sonucu π -

mezonları üretilir. Kararsız olan π -mezonları, $2,6 \cdot 10^{-6}$ s içerisinde aşağıdaki bozunumlardan birini gerçekleştirir:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

Müon demeti kullanılarak gerçekleştirilecek pek çok deney ve araştırmalar için; enerji, yoğunluk ve polarizasyon gibi parametrelere göre farklılık gösteren çeşitli müon üretim kanalları dizayn edilmelidir. Bu kanallardan birincisi yüzey müon kanalıdır. Enerjisi ortalama 4 MeV ve yoğunluğu $10^7 \mu/s$ olan pozitif yüklü müon üretimi için tasarlanmıştır. Hedeften kurtulabilecek kadar yeterli enerjiye sahip olan düşük enerjili müonlar (4.1 MeV) hedefin yüzey veya yüzey yakınından yayılır. Bu yüzden bu demete yüzey müonları denir. Düşük enerjili negatif pionlar ise hedef çekirdekler tarafından yakalanır. Negatif müon üretimi için daha fazla enerjiye sahip negatif yüklü pionlar gereklidir. Sadece pozitif yüklü müon (anti-müon) üretiminin gerçekleştiği yüzey müon kanalının en büyük avantajı, demetin %100 polarize olmasıdır. Bu kanal, pozitif yüklü müonlara dayalı olan μ SR deneyleri için kullanılır. İkinci müon üretim kanalı, müon bozunum kanalıdır. Yüzey müon kanalında üretilmeyen negatif yüklü müonlar için geliştirilen bu kanal, $10^7 \mu/s$ yoğunluklu, 10-100 MeV ve daha yüksek enerjilerde pozitif ve negatif yüklü müon demeti üretmek için tasarlanmıştır. Bu amaçla içerisinde manyetik alan (~ 5 T) bulunan bir süperiletken solenoit kullanılmaktadır. Üretim hedefinden kurtulabilecek kadar enerjiye sahip olan pozitif ve negatif yüklü pion demeti solenoit içerisinde bozunur ve belirli bir momentumu olan müon demetleri elde edilir. Bu kanalın en büyük dezavantajı müon demetlerinin %70 ve %80 arasında değişen polarizasyona sahip olmasıdır. Pozitif ve negatif müonların elde edilebildiği müon bozunum kanalı, μ CF ve μ SR uygulamaları için kullanılabilir. Üçüncü müon kanalı ultra-yavaş müon kanalıdır. Enerjisi keV mertebesinde ve yoğunluğu $10^4 \mu/s$ olan düşük enerjili müon gerektiren deneyler için tasarlanmıştır. Temel proton demetine yerleştirilen sıcak tungsten metal yaprağın yüzeyinden vakum ortama buharlaştırılan termal müonyum atomlarının, lazer iyonizasyonu yöntemiyle bir ultra-yavaş müon kanalı elde edilmektedir [1].

10^{10} μ/s düzeyinde yüksek yoğunluklu müon gerektiren bazı deneyler için ise dördüncü bir müon kanalı dizayn edilebilir. Ultra-yüksek yoğunluklu müon kanalı için solenoidal odaklama alanına sahip ve pion üretim hedefine yerleştirilecek bir süperiletken solenoid kullanılır. Müon üretim kanalları ve deneysel çalışma laboratuvarlarına bir örnek olarak, Japonya'daki Mezon Bilimleri Laboratuvarı (MSL) gösterilebilir.

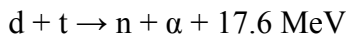
Müon kanallarında üretilen çeşitli özellikteki müon demeti ile bir çok deney ve araştırma yapılabilecektir. Müon bölgesinin önemli uygulamaları; Müon Katalizörlü Füzyon (μCF) olayı, Müon Spin Rezonans (μSR) tekniği kullanılarak yapılacak bir çok deney ve bunlara paralel olarak yeni teknolojiler araştırılacaktır [26].

6.9.2. Müon katalizörlü füzyon (μCF)

Füzyon reaksiyonlarının gerçekleşmesini engelleyen ve aşılması gereken en büyük engel pozitif yüklü iki çekirdek arasındaki elektromanyetik coulomb itme kuvvetidir. Bu problem, olağan füzyon reaktörlerinde çekirdeklere yeterli enerji vermek amacıyla çok yüksek sıcaklıklara ulaşılarak çözülmeye çalışılmaktadır. Müon Katalizörlü Füzyon yönteminde ise müonun ağır olması kullanılacaktır.

Sıvı döteryum-Trityum karışımına müon parçacıkları gönderildiği zaman oluşan $d_t\mu$ molekülü, olağan dte molekülüne göre 10 milyon kat daha küçük hacme sıkışır. Moleküldeki bu küçülme, müonun elektrona göre 207 kat daha büyük olan kütlesinden kaynaklanmaktadır [27].

Böyle küçük bir hacimde ise döteryum ve trityum çekirdekleri nükleer füzyon reaksiyonunu gerçekleştirebilecek kadar birbirine yaklaşır. Dolayısıyla;

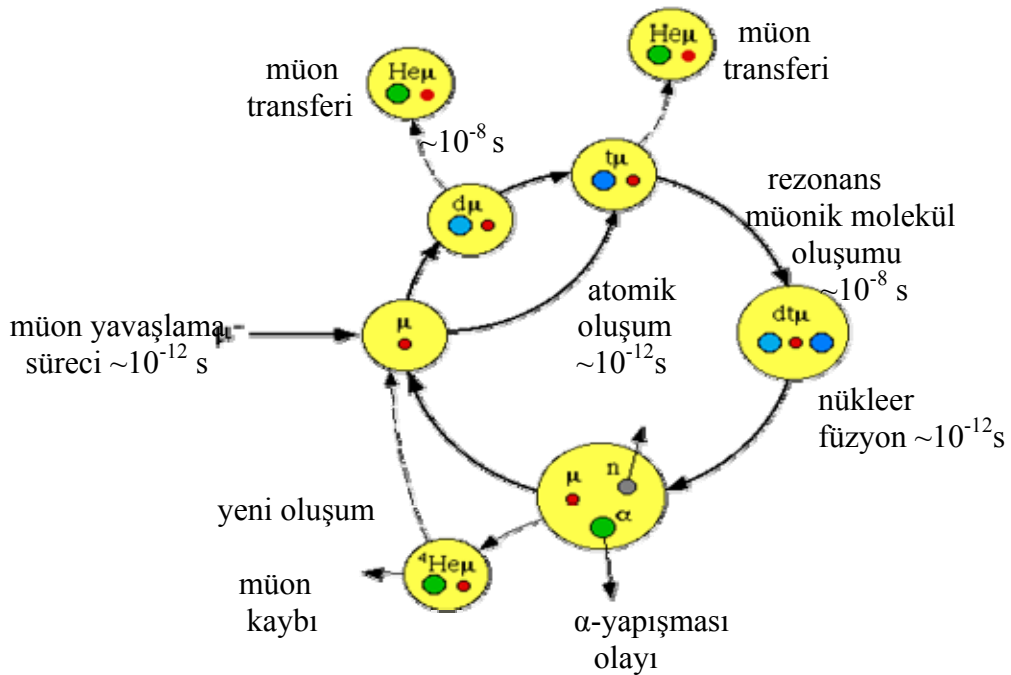


nükleer füzyon reaksiyonunun çabucak gerçekleşmesi şartıdır.

Reaksiyon sonrası serbest kalan müonların çoğu ikinci bir D-T reaksiyonunu katalizleyebilirken bir kısmı da nükleer reaksiyon ürünü olan ortamdaki α -parçacıkları tarafından yakalanarak çevrimden ayrılır. α -yapışması denilen bu olayda

$(\alpha\mu)^+$ iyonunun oluşum olasılığına ilk yapışma olasılığı denir. Fakat $(\alpha\mu)^+$ iyonu oluşuktan sonra civardaki moleküllerle yapacağı çarpışmalar sonucu müonlar serbest kalır ve μCF çevrimine yeniden katılabilir. Yeniden kazanım denilen bu olay R parametresi ile karakterize edilir Bir çevrimdeki toplam müon kaybı olasılığı W olup R parametresine $W = W_s (1-R)$ şeklinde bağlıdır. W ve R ters orantılı olup bir çevrimde yeniden kazanım arttıkça müon kaybı da o oranda azalacaktır.

Müon Katalizörlü Füzyonun üstünlüğü; füzyon reaksiyonunun oda sıcaklığında gerçekleştirilebilmesine olanak sağlamasıdır. Bilindiği gibi olağan füzyon reaktörlerinde çekirdeklere enerji vermek amacıyla çok yüksek sıcaklıklara ulaşılmaya çalışılmaktadır. Müon Katalizörlü Füzyondan iki konuda yararlanmak mümkündür.



Şekil 6.15. $(dt\mu)$ molekülünün oluşumunda negatif müonların döngüsü.

6.9.3. Enerji üretimi

Bir $d+t$ nükleer füzyonundan 17,6 MeV'lik enerji açığa çıkmaktadır. Bir müonun yaklaşık 150 füzyon reaksiyonunu katalize ettiği düşünülürse ortaya çıkan toplam

enerji 2640 MeV olmaktadır. Bu sonuç iyi bir değer gibi görüncede bir müon üretmek için ne kadar enerji harcandığı düşünülduğünde durum değişmektedir.

Müon üretimi için GeV mertebesine kadar hızlandırılmış proton demetleri kullanılmaktadır. Bu teknikle üretilen enerji maliyet enerjisinin çok çok üzerinde olmalı ki sürekli bir enerji üretiminden bahsedilebilsin. Bu yüzden μ CF tekniği ile kullanılabilir bir enerji üretimi için enerji üretim kapasitesini ($E_{\mu CF}$) artırıcı yollara başvurulmalıdır. Enerji üretim kapasitesini artırmak için aşağıdaki yöntemler uygulanabilir ;

1. μ CF çevriminde müon kaybını önlemek veya en aza indirmek için α -yapışması parametresini azaltmak gerekir. Bu ise, $W = W_s (1-R)$ ifadesine göre geri kazanımı (R) artırmak ile olur. Burada amaç müonun katalize edeceği reaksiyon sayısını artırmaktır. Geri kazanımı artırmak için yüksek basınç ortamında katı D-T karışımı kullanılabilir.

2. Geri kazanım reaksiyonlarını artırmanın bir başka yolu da şiddetli müon kaynağı kullanmaktır. Yüksek yoğunluklu bir demet kullanıldığında $(\alpha\mu)^+$ ve α^+ iyonları arasındaki çarpışmalardan dolayı yeni kazanım reaksiyonları gerçekleştirilebilir. Bu amaçla RIKEN-RAL müon kurulumunda, yoğunluğu $2 \cdot 10^{11} \mu^-/s$ 'lere varan bir süper-süper müon kanalı tasarlanmıştır. JHF-M-Arena ve TAC projesi için ise yaklaşık 10^{10} yoğunluklu demet üretmeyi amaçlayan ultra-yüksek yoğunluklu müon kanalı bu amaçla kullanılabilir.

3. Rezonansta molekül oluşum sürecinde, $\lambda dt\mu$ oranını artırıcı daha iyi koşullar aranmalıdır. Bu ise D2 veya DT moleküler seviyelerinin lazerle uyarılmasıyla gerçekleştirilebilir (para-orto etkisi).

Bu uygulamalar, μ CF'nun kendi kendisini idame ettirebilme noktasına ulaşıncaya kadar denenmesi gereken yaklaşımlardır. Günümüzde ulaşılan değerler; $150/\mu^-$, $w_s = \% 0,44$, $R = 0,52$ iken kendisini idame ettirebilme değerleri, $300/\mu^-$, $w_s = 0,33$ ve $R = 0,70$ 'dir. Daha şiddetli müon kaynaklarının kurulmasıyla gelecekte kendisini idame ettirebilme noktasına ulaşılacağı söylenebilir.

Ancak, μCF ile bağlantılı olarak enerji üretimi için kullanılabilir başka bir yöntem daha vardır. Füzyon ve Fizyon reaksiyonlarının ikisini de kapsayan bir hibrid reaktör yaklaşımı, enerji üretiminde kullanılabilir. Bu yöntemde göre μCF sonucu oluşan nötronlar Th^{232} ve U^{238} gibi çekirdeklerini parçalayarak fizyon reaksiyonunu başlatabilir. Nükleer fizyon süreçleri sonucu çıkan ikincil nötronlarda hesaba katıldığında, maliyetin çok üzerinde enerjiler üretmek mümkün olabilmektedir. TAC projesinin μCF 'na dayalı enerji üretimi uygulaması için, ülkemizde bulunan zengin toryum rezervi dikkate alındığında en uygun reaktör tipinin "Müon Katalizörlü Füzyon + Toryum Yakıtlı Fizyon" olduğu düşünülmektedir [26].

7. ISIS HIZLANDIRICI MERKEZİNDEKİ UYGULAMA ALANLARI

Bu bölümde ISIS Hızlandırıcı Merkezinde yapılmış olan uygulamalardan iki tanesi üzerinde duracağız.

7.1. CdS ve GaN'nın Merkezinde Toplanan Hidrojen Eksiklikleri İçin Müon Modelleri

Yeni bir müon durumu ile CdS'nin merkezindeki yarıklara ait olan hidrojen biçimlerini işaret eden çalışmalar μ SR'la keşfedildi. Bu sonuç daha önceden, çeşitli müon ve hidrojen merkezindeki eksiklikler IV. Grup (Si ve Ge) kısmı kondüktörleri içinde biliniyordu ve III- V Grup (GaAs) bileşenleri içinde sahip olunan bütün enerji kısmı kondüktör enerji yarıklarının derinliklerinde yatar. GaN'nın içinde μ SR verileri hidrojen iyonlarının davranışlarının benzerleri olan müon durumlarının dinamiği ve yapısını açıklar. Bu yeni geniş yarık malzemelerinin hepsi mavi parlak yayıcılar ve güneş hücreleri için üretilmektedir, hidrojen kirliliği üretim yöntemlerini ve üstelik elektriksel özellikleri etkileyebilmektedir. μ SR çalışmaları, hidrojen davranışlarının benzersiz atomik resimlerini geliştiriyor ve bizim onun öncelikli yerinin ve kısmi kondüktörlerdeki kovalentten iyonığe hareketlerini anlamamıza yardımcı olmaktadır.

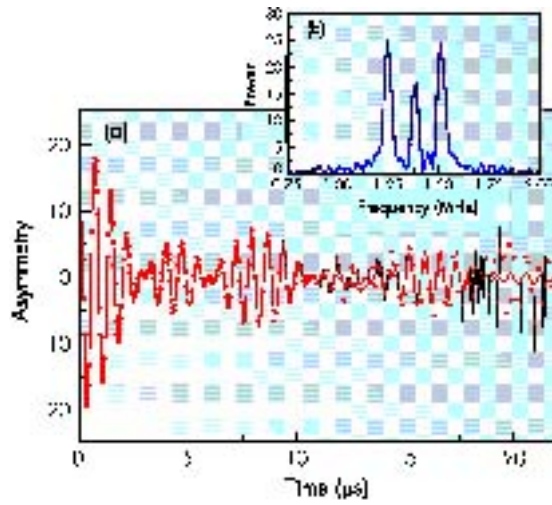
Akıdaki ışık galvoniklerinin ve optoelektroniklerinin içindeki uygulamalarla, geniş yarıklı iyonik kısmı kondüktörler, R ve D'nin duyarlı dünya çapındaki çabalarının konularındır. CdS ve iki- alt bileşenlerinin benzerlerinin kopyaları ile ilgili olanlarla birlikte, hızlı gelişen ince film güneş hücreli sanayi için çok umut vericidir. GaN çalışmaları diğer grup III nitrojenleri ile mavi parlak ışık yayıcı diyotlar ve lazerler için geliştiriliyor. Elektronik özellikler hatta kalıntı miktarları, üzerinde büyük etkiye sahip olabilecek bu malzemelerin üretimi boyunca sürmektedir. Henüz kristalografik davranışlarının atomik görüntüleri mevcut değildir.

Çeşitli yük durumları ile hangi yerlerin işgal ettiğini, yarığa ait protonlar, nötr engelli atom ve hidrojen iyonu her durumdaki değişkenliğin sıcaklığının bir fonksiyonu olarak onların görelî sağlamlığı ve yük taşıyıcılarının neden olduğu değişikliğin olası yöntemini anlamamıza yardımcı olur. Bu tamamen çalışmalarla elde edilen bilginin ürünüdür. Hidrojen durumlarının kendiliğinden değil, fakat onların müon

kopyalarının benzerlerinin ürünüdür. Uygun müon kaynakları ISIS’de ve dünya çapındaki birkaç merkezde (PSI, TRIUMF ve KEK)’de mevcuttur. Örnekte müonlar saçılmamaktadır. Böylelikle kısmi kondüktörlerde bir bireysel müon yada pozitif iyon olarak arta kalmaktadır. Ara sıra bir müon iki elektronu, hidrojen iyonu benzerini için toplanabilmektedir. mSR spektroskopilerinin hepsinde değişik yük durumları bulunan müonları fark etmek ve onların yapı ve hızlarını belirtmek için duyarlılık ve seçiciliğe sahiptir [28].

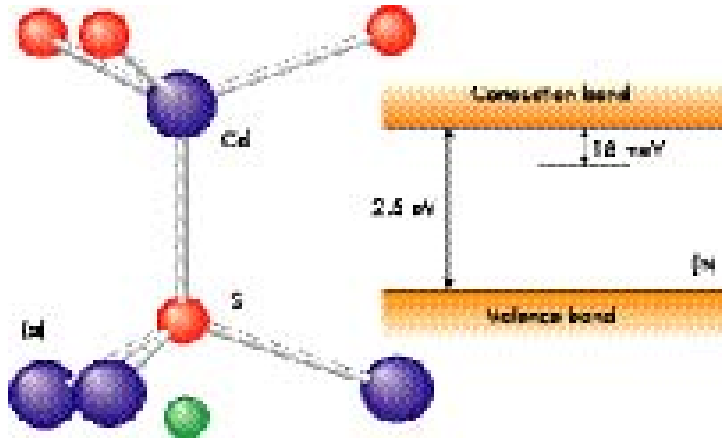
Katmiyum Sülfat

Nötr maddenin merkezinde, müon, elektron arasında farklı bileşenlerle tanınabilir, yön sinyallerini döndüren müonlar numuneye çarpar. CdS’de şekil 7.1’de gösteriliyor.



Şekil 7.1. EMU’da 3,7 K’da CdS’de kaydedilen müon spin rotasyonu sinyali ve Fourier dönüşümü

Aynı frekanslı alan sinyali, müon Larmor frekansının sinyalinin frekans şiddeti müon–elektrik aşırı ince yapı etkileşiminin bir ölçüsüdür. Bu türün spektrumu düşük fon kirliliği gerektirir. Bu durum PSI’da da geliştirildi. Fakat ISIS’daki pulslu müon kaynağı hala yaklaşık 10 müon ömürlü daha temiz spektrum bölgesi önerir.



Şekil 7.2. CdS'deki hidrojen veya müonyum verici durumları için molekül yapısı (a) ve enerji seviyeleri şeması (b)

CdS'deki müon ince yapı etkileşimi, elektron dalga fonksiyonun oldukça büyüdüğünü gösteren, serbest atom değerlerinin sadece 50 ppm kadardır. 18 MeV'lik iyonlaşma enerjisi, derin seviye eksikliğinden çok yüzeysel denk gelir. Bu bulgu yeni değil, çünkü yüzeysel olmayan durum kondüktördeki müon veya hidrojen için bilinmekteydi. Şekil 7.2'de Müonun sülfatla zıt bağlanan şekli görülmektedir.

Kovalent ve iyonik malzemelerin çeşitliliği üzerine olan çalışmalarda; izlenen genel tanımlamanın önerilmesine olanak tanır. Bu çalışmalar gelecek deneylerle test edilebilir. Değişmeyen durumlar, pozitif (p- tipi malzemelerde) ve negatif (n- tipi) iyonlardır. Oysaki pozitif iyon, kovalent maddelerin içindeki bağ-merkez tarafını benimsemesi, pozitif iyon bir iyonik maddedeki zıt bağlı tarafı tercih eder. Negatif iyon her zaman, bir bağısız veya tüm maddelerin içindeki kafes benzeri tarafı tercih eder. GaN'da biz negatif iyonu Ga'a zıt bağlanırken buluruz.

Si, Ge ve GaAs'de nötr durumlar bağ merkezli, bir örneği oluşturan pozitif iyonlarla ilişkidirler. Yarıkta seviye oldukça derindir ve elektronik spinlerle en yakın komşu iki ev sahibi atomlarda olan birimine göre elektrik miktarının yeri saptandı. CdS'de nötr hal, pozitif iyonla ilişkidir. Elektron dalga fonksiyonu ile çok kalabalık atomlar yayılır. Tüm malzemelerde nötr merkezler müonlar üzerine sıkıca yerleşen elektron dalga fonksiyonlarına sahip negatif iyonlarla veya proton ve benzer kabul edilebilir enerji seviyeleri enerji yarıklarının derinlerinde yayılmaktadır.

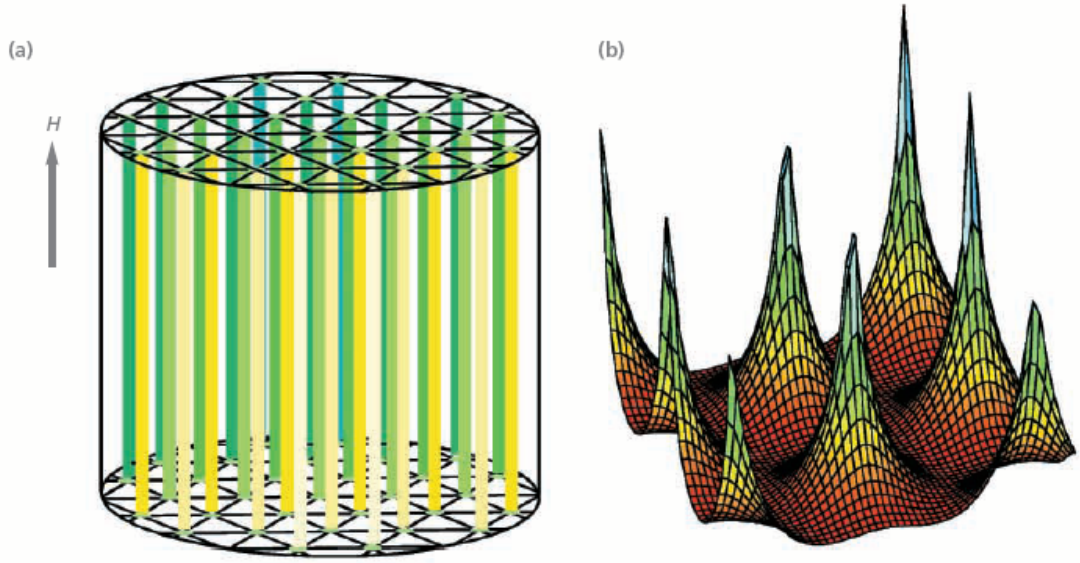
Normal sıcaklıklarda, nötr haller kısa ömürlüdür fakat onların içinde ve dışındaki değişimleri ele geçirmeyi ve iletken elektronların kaybı veya diğer yakın eksiklikler yüklemenin hızlı değişimini kontrol eder.

Kritik sıcaklıklarda, diğer haller oldukça uzun ömürlü olabilmektedir ve onlar aşılınmış bir pozitif müon geldiği zaman doğal olarak biçimlendirilirler, nötr haller daha sonra, özellikle onların aşırı ince yapı ve çok aşırı ince yapı etkileşimleri yolu ile bölgesel yapıları üzerinde bilgilendiricidirler. Onların değişime karşı kararlılığı(sağlamlığı), diğer durumlarda aynı şekilde gerçek malzemelerin özelliklerini bir hayli doping, sıcaklık ve diğer aksaklıkların varlığı veya kirlilik bu malzemelerdeki hidrojen kirliliğinin davranışlarına rehber olarak, yeni müon verileri hemen hemen benzersizdir. Yerel geometrik ve elektronik yapılar aslında müon ve hidrojen için aynıdır. Konu küçük sıfır-nokta düzeltmelerindedir; dinamiksel davranış önemli izotop etkileri sergileyebilir, fakat bütün bu bilgiler aktarılabilir.

7.2. İnce Film Süperiletken Örneklerde Manyetik Alan Dağılımları

Süperiletkenlerin içindeki manyetik akının incelenmesi, tıbbi uygulamalarda, güçlü mıknatıslar ve yüksek duyarlılığa sahip manyetik sensörlerle ilgili çalışmalar gibi endüstriyel uygulama alanlarında önemli bir yere sahiptir.

Bilindiği gibi süperiletkenlerin T_c kritik sıcaklığının altında elektrik direnci sıfırdır. Süperiletkenlerin diğer bir önemli özelliği de Meissner etkisidir. Buna göre bir süperiletken madde, kritik T_c sıcaklığının üstüneyken bir manyetik alan içine konulup daha sonra soğutulursa, sıcaklık T_c 'nin altına indiğinde süper iletken içindeki manyetik alanı sıfırlayacak şekilde ters yönde bir alan oluşur ve çok kısa bir sürede süperiletken yüzeyinin hemen altında (nüfuz derinliği, λ) manyetik alan sıfırlanır, bu düzenleme için de bir enerjiye ihtiyaç vardır. Şiddetli manyetik alandaki bir süperiletken hücrede, sistem örneğin derinlerinde uygulanan alanla aynı yönde alanlar üreten ek mikroskobik girdap (vortex) akımları üreterek bu enerjiyi azaltabilir.

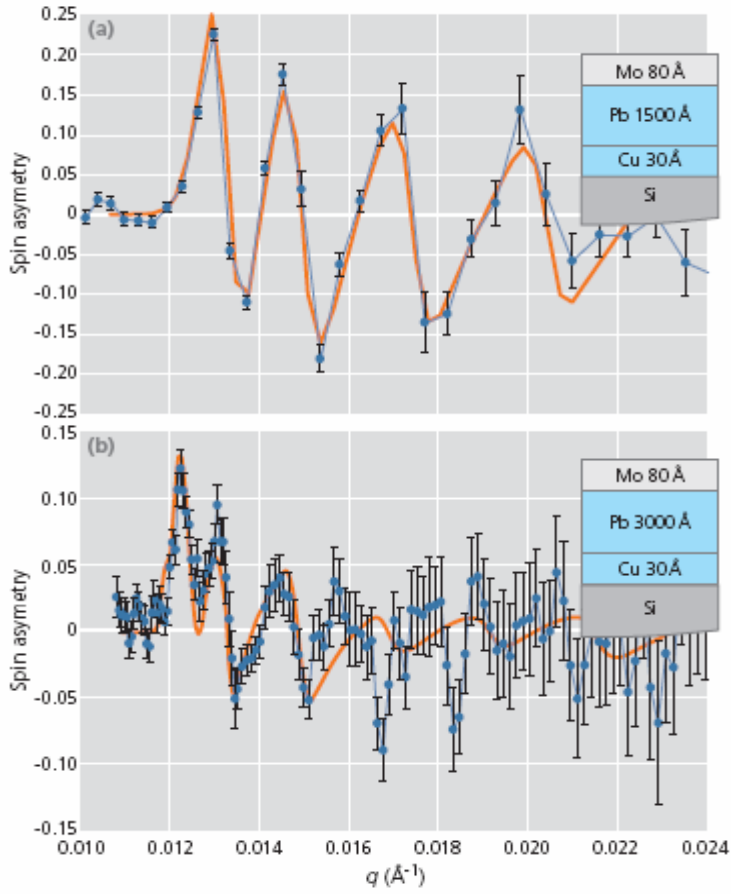


Şekil 7.3. Süperiletken bir hücredeki akı çizgilerinin oluşturduğu kafesin şematik gösterimi ve girdap yapılarından kaynaklanan periyodik manyetik akı yoğunluğu değişimi

Bu çalışmada silikon alümin üzerine DC püskürtme yöntemiyle üretilen tipik kalınlığı 100-300 nm olan süperiletken tabakalar kullanıldı. Bu kalınlık nüfuz derinliğiyle kıyaslanabilir değerdedir, bunun sonucunda hücre içindeki akı çok farklı olacaktır. Numune yeterince ince ise, girdap akı çizgilerinin oluşması enerji açısından bir katkı getirmez [29].

Kullandığımız çok katlı numunenin farklı ara yüzlerinden saçılan nötronların girişim etkilerini incelemek için Polarize Nötron Saçılımını (PNR) kullandık. Nötron bir manyetik momente sahip olduğundan numunenin içindeki manyetik akının değişimine duyarlı olacaktır. Farklı kalınlık ve nüfuz derinliği oranlarına sahip numuneler alınarak, akının bu orana göre değişimi sistematik hale getirilebilir.

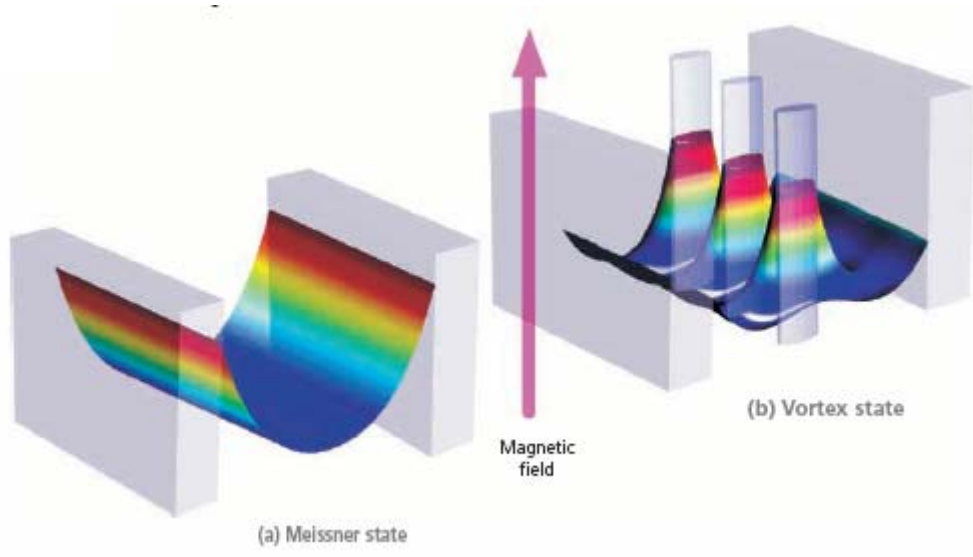
Şekil 7.4’de spin-aşağı ve spin-yukarı nötronlarının etkileşim farklarından doğan spin asimetrisinin q ’ya bağlı grafiği verilmiştir. Spin asimetrisi numunenin içindeki akı değişimini belirmemiz açısından önemlidir. Bu akı dağılımının düzgün (uniform) olması durumunda, tüm q (momentum transferi) değerleri için spin asimetrisi sıfır olacaktır.



Şekil 7.4. 150 nm (a) ve 300nm (b) kalınlığındaki kurşun numuneler için süperiletken durumların spin asimetrisi

Şekil 7.4. (a)'da 150 nm kalınlıktaki numune için akı çizgileri görülmemektedir ve ölçülen spin asimetrisi Meissner etkisiyle uyumludur (3.a). Buna karşın 300 nm'lik numune kullanıldığında elde edilen spin asimetrisi grafiği çok farklıdır, Şekil 7.5.b'de açıkça görüldüğü gibi ince süperiletken tabakanın ortasında sütunlar halinde girdap çizgileri oluşur. Bu sonuçlar London Modeli ile uyum halindedir.

Sözü edilen girdap yapıları ile ilgili deneyler yalnızca mezoskopik süperiletken yapılarla ilgili teorik bilginin sınanmasında değil aynı zamanda süperiletken-manyetik hibritleride içine alan daha kompleks ince tabaka sistemleri hakkında da çalışmalar yapılması olanağını sağlar.



Şekil 7.5. 7.4 (a) ve 7.4 (b)'deki numuneler için manyetik akı yoğunluğunun değişimi

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmanın amacı Türk Hızlandırıcı Kompleksi (Turkic Accelerator Complex-TAC) projesi çerçevesinde GeV enerjili proton hızlandırıcısıyla ilgili yapılan çalışmalara ışık tutmaktır. TAC projesinin gerçekleştirilmesi için kurulacak ulusal hızlandırıcı merkezinin yapılanmasında dünyanın önde gelen pulslu nötron ve müon üreten laboratuvarı olan ISIS'in deneyimlerinden yararlanılması göz ardı edilmemelidir. TAC proton hızlandırıcısının, ikincil demetlerin ve deney istasyonlarının projelendirilmesinde ISIS'teki benzer yapılar göz önünde tutulmalıdır. Özellikle temel fizik ve mühendislik uygulamalarında müon bölgesi çalışmalarına önem verilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Sultansoy, S., “Türk Hızlandırıcı Kompleksi Genel Tasarımı” **DPT’2002K120250** *nolu DPT projesi Sonuç Raporu*, 6-8 (2006).
2. Rubbia, C., et al., “Conceptual Design of A Fast Neutron Operated High Power Energy Amplifier”, **International Conference on Accelerator-Driven Transmutation Technologies and Applications**, Las Vegas, 1-6 (1994).
3. Sultansoy, S., “Parçacık Hızlandırıcıları: Dün, Bugün, Yarın”, **UPHUK1**, TAEK, Ankara, 2-6 (2001).
4. Sultansoy, S., “Maalesef, Türkiye Nükleer Teknolojinin dışında kalmıştır”, **PetroGaz dergisi**, 24-32 (2005).
5. Ibberson, R., David, F., and Knight, K.S., “A User Guide Report”, **RAL**, İngiltere 8-12 (1996).
6. Eccleston, R., King, P., Adams, D., Howells, S., Akeroyd, F., Diaper, N., “ISIS Annual Report”, **ISIS**, İngiltere, 1-5 (1998).
7. King, P., Akeroyd, F., Thomason, J., Clements, D., Diaper, N., Hopgood, K., Howells, S., “ISIS Annual Report”, **ISIS**, İngiltere 4-7 (1999).
8. King, P., Akeroyd, F., Thomason, J., Clements, D., Diaper, N., Hopgood, K., Howells, S., “ISIS Annual Report”, **ISIS**, İngiltere, 8-17, 18-19, 30-32, 33-35 (2005).
9. King, P., Akeroyd, F., Thomason, J., Clements, D., Diaper, N., Hopgood, K., Howells, S., “ISIS Annual Report”, **ISIS**, İngiltere, 36-40 (2004).
10. King, P., Akeroyd, F., Thomason, J., Clements, D., Diaper, N., Hopgood, K., Howells, S., “ISIS Annual Report”, **ISIS**, İngiltere, 70-71 (2001).
11. King, P., Akeroyd, F., Thomason, J., Clements, D., Diaper, N., Hopgood, K., Howells, S., “ISIS Annual Report”, **ISIS**, İngiltere, 20-22 (2002).
12. King, P., Akeroyd, F., Thomason, J., Clements, D., Diaper, N., Hopgood, K., Howells, S., “ISIS Annual Report”, **ISIS**, İngiltere, 28-29 (2006).
13. Bewley, R., Eccleston, S., “Design of a low-energy multi-chopper + spectrometer for a second target station at ISIS”, **Appl Phys A-Mater**, 74-90 (2002).
14. Howells, W.S., Knight, K.S., “The LAD User manual” **ISIS**, İngiltere, 10-15 (2004).

15. Ibberson, R., David, F., and Knight, K., S., "The High Resolution Neutron Powder Diffractometer (HRPD) at ISIS", *A User Guide Report, İngiltere* 31-92 (1992).
16. King, P.J.C., Cottrell, S.P., Cox, S.F.J., "New science with pulsed muons development ideas", *ISIS Physica B-Condensed Matter*, 260-264 (2003).
17. Hillier, A.D., King, P., Cottrell, S., Lord, J., "The EMU User manual", *ISIS, İngiltere*, 7-16 (2004).
18. Hillier, A.D., King, P., Cottrell, S., Lord, J., "The MuSR User Guide", *ISIS, İngiltere*, 7-25 (2005).
19. Bakule, P., Matsuda, Y., Miyake, Y., "Slow muon experiment by laser resonant ionization method at RIKEN-RAL muon facility", *Spectrochimica Acta Part B-Atomic Spectroscopy*, 58 (6): 1019-1030 (2003).
20. Eaton, G.H., "Fast E-Field switching of a pulsed surface muon beam: the commissioning of the European muon facility at ISIS", *Nucl. Inst. Meth.* A342: 319-331 (1994).
21. Bakule, P., Matsuda, Y., Iwasaki, M., "Pulsed source of ultra low-energy muons at RIKEN-RAL", *Physica B-Condensed Matter*, 374: 456-459 (2006).
22. Bilgin, P.S., "Paul Scherrer Enstitüsü ve MEGAPIE (ADS) Uygulamasını", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 13-20 Ankara, (2006).
23. Neddermeyer, S. H., Anderson, C. D., "Note on the Nature of Cosmic-Ray Particles", *Phys. Rev.*, 51 (1937).
24. Çalışkan, A., "Proton Sinkrotronu ve Müon Bölgesi Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 25-40 (2005).
25. Tezcan, A.K., "Hızlandırıcılarda Müon Bölgesi ve Uygulama Alanları (TRIUMF laboratuvarı)", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 21-32 (2006).
26. Çiftçi, A.K., "Müon Katalizörlü Füzyonun Dünü, Bugünü ve Geleceği", *UPHUK1*, TAEK, Ankara 3-5 (2001).
27. Çiftçi, A.K., Çiftçi, R., "Müon Üretimi ve Kullanım Alanları", *UPHUK1*, TAEK, Ankara 2-5 (2001).
28. Cox, F., Gil, J., Weidinger, A., Lichti, R., "Muonium models for hydrogen defect centres in CdS and GaN", *ISIS Annual Report*, *ISIS*, İngiltere, 10-12 (2000).

29. Lee, S.L., Drew, A.J., Marrows, C.H., Potenza, A., “Magnetic field distributions in thin film superconducting samples”, ISIS Annual Report”, *ISIS*, İngiltere, 6-7 (2003).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇAYLAN, Arslan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 10.03.1977 Sungurlu
Medeni hali : Evli
Telefon : (0505) 750 98 15
e- mail : arslanceylan@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Fizik Bölümü	2007
Lisans	Ankara Üniversitesi / Fizik Bölümü	2000
Lise	Sungurlu Lisesi	1995

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar , Satranç, Tarih, Müzik