

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PARÇACIK HIZLANDIRICILARINDA MANYETO-OPTİK
SİSTEMLERİN FİZİĞİ VE TASARIMI**

Zhaleh HAJIPOURAN BENAM

FİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2014**

Her hakkı saklıdır

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

26.07.2014

Zhaleh HAJIPOURAN BENAM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PARÇACIK HIZLANDIRICILARINDA MANYETO-OPTİK SİSTEMLERİN FİZİĞİ VE TASARIMI

Zhaleh HAJIPOURAN BENAM

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ömer YAVAŞ

Bu çalışmada öncelikle parçacık hızlandırıcılarında enine demet dinamiği incelenmesinin ardından dairesel hızlandırıcıların tasarımı için kullanılan BEAM OPTICS ve MAD-X programları kullanılarak SESAME (Ürdün) sinkrotron ışınımı kaynağı tesisinin ana halkası için magneto-optik (magnetik örgü) tasarım çalışması yapılmıştır. Doğrusal hızlandırıcıların tasarımı amacıyla geliştirilen PARMELA kodu ile Ankara Üniversitesi koordinatörlüğünde Kalkınma Bakanlığı desteği ile kurulum çalışmaları devam eden Türk Hızlandırıcı Merkezi Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri (TARLA) tesisinin enjektör hattı için demet dinamiği çalışmaları yapılmıştır.

Temmuz 2014, 73 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Parçacık Hızlandırıcıları, Manyeto-optik Sistemler, Enine ve Boyuna Demet Dinamiği, SESAME, TARLA

ABSTRACT

Master Thesis

THE PHYSICS AND DESIGN OF THE MAGNETO-OPTIC SYSTEMS IN PARTICLE ACCELERATORS

Zhaleh HAJIPOURAN BENAM

Ankara University
Graduate School of Natural Applied Sciences
Department of Physics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ömer YAVAŞ

In this study, transverse beam dynamics in the particle accelerators have been analyzed and later on BEAM OPTICS and MAD-X codes are used for circular accelerator designs have been studied and applied to design of magnetic lattice of the main ring of Synchrotron-Light for Experimental Science and Application in the Middle East (SESAME) facility. Moreover, PARMELA code which is developed to design linear accelerators has been studied and applied for the injector part of Turkish Accelerator and Radiation Laboratory at Ankara (TARLA) facility which is under construction in Gölbaşı Campüs of Ankara University with support of the Ministry of Development.

July 2014, 73 pages

Key Words: Particle Accelerators, Magneto-optic Systems, Transverse and Longitudinal Beam Dynamics, SESAME, TARLA

TEŞEKKÜR

Çalışmamla ilgili önerilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan danışman hocam sayın Prof. Dr. Ömer YAVAŞ'a (Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı) teşekkür ederim.

Bilimsel desteklerini esirgemeyen sayın hocalarım Yrd. Doç. Dr. Avni AKSOY'a (Ankara Üniversitesi Hızlandırıcı Teknolojileri Enstitüsü) ve Yrd. Doç. Dr. Zafer NERGİZ'e (Niğde Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü) teşekkür ederim.

Zhaleh HAJIPOURAN BENAM
Ankara, Temmuz 2014

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ETİK	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZGELELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1 Hızlandırıcı Magnetleri	5
2.2 Dairesel Hızlandırıcılarda Parçacık Hareketi	8
2.2.1 Yörünge denklemleri	8
2.2.2 Hızlandırıcı magnetlerinin dönüşüm matrisleri	10
2.2.3 Betatron salınımları	14
2.2.3.1 Kararlılık kriterleri	14
2.2.3.2 Beta fonksiyonu	16
2.2.4 Emittans ve demet zarfı	17
2.2.5 α, β ve γ Dönüşümleri	19
2.2.6 Genlik ve faz fonksiyonları olarak temel yörüngeler	20
2.2.7 FODO hücrelerinin dönüşüm matrisi	21
2.2.8 Periyodik olmayan demet optiği	22
2.3 Momentum Sapması Olan Parçacıkların Hareketi	23
2.3.1 $\Delta p \neq 0$ İçin kapalı yörünge	24
2.3.2 Momentum kompaksiyonu	25
2.3.3 Manyetik alan hataların etkisi	25
2.3.4 Kromatisite	27
2.4 Sinkrotron Salınımları	27
3. MATERYAL ve YÖNTEM	30
3.1 BEAM OPTICS Programı	30
3.2 MAD-X Programı	32
3.3 PARMELA Programı	37
4. BULGULAR	49
4.1 SESAME Işınım Kaynağında Yüklü Parçacık Demet Dinamiğinin BEAM OPTICS Programında Modellenmesi	50
4.2 SESAME Işınım Kaynağında Yüklü Parçacık Demet Dinamiğinin MAD-X Programında Modellenmesi	51
4.3 2.5 GeV Enerjili ve FODO Hücreli Ana Halka Parametrelerinin Hesaplanması	53
4.4 TARLA Tesisinin Düşük Enerji Bölgesi İçin Demet Dinamiği	55
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	59
KAYNAKLAR	60
EKLER.....	62
EK 1 SESAME Işınım Kaynağında Yüklü Parçacık Demet Dinamiğinin MAD-X sesame.seq Dosyası	63

EK 2 SESAME Işınım Kaynağında Yüklü Parçacık Demet Dinamiğinin	
MAD-X sesame.madx Dosyası	66
EK 3 Gnuplot Dosyası	69
EK 4 FODO Hücreli Işınım Kaynağının MAD-X Dosyası	70
EK 5 TARLA Tesisin Düşük Enerji Bölgesi İçin Parmela Programın	
Uygulanması	72
ÖZGEÇMİŞ	73

KISALTMALAR DİZİNİ

TARLA	Türk Hızlandırıcı Merkezi Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri
THM	Türk Hızlandırıcı Merkezi
SESAME	Ortadoğu'nun Uluslararası Sinkrotron Işınımı Araştırma Merkezi
MAD	Metodik Hızlandırıcı Tasarımı Programı
CAS	Cern Hızlandırıcı Okulu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Dairesel hızlandırıcıda parçacığın yörüngesi	3
Şekil 2.2 Zayıf odaklama	4
Şekil 2.3 Kuvvetli odaklama	5
Şekil 2.4 Dipol	6
Şekil 2.5 Solenoid mercek	6
Şekil 2.6 Kuadropol	7
Şekil 2.7 Sekstupol	8
Şekil 2.8 Dairesel hızlandırıcıda parçacığın ideal yörüngesi	9
Şekil 2.9 Dipol sektör magnet	13
Şekil 2.10 Sabit bir konumda, iki farklı genlikte δ_1 , δ_2 , δ_3 ,... faz sabitleri için yörüngeler kümesinin faz uzayı elipsleri.....	17
Şekil 2.11 Hızlandırıcının birkaç tur dolanım süresindeki bir parçacığın faz uzayı elipsi.....	17
Şekil 2.12 (y, y') -faz uzayında demet zarfı $E(s)$ ve demet yayını $A(s)$	18
Şekil 2.13 a. düzenli bir FODO örgüsü b. beta fonksiyonu c. $s_0 = 0$ için cos-benzeri yörünge d. $s_0 = 0$ için sin-benzeri yörünge e. ardışık birkaç tur için bir parçacığın yörüngesi	20
Şekil 2.14 FODO hücresi	21
Şekil 2.15 $p \neq p_0$ momentumu ve başlangıçta x ve x' değerleri sıfır olan parçacıkların zayıf odaklaması olan dairese hızlandırıcıda kapalı yörüngeleri	23
Şekil 2.16 $p \neq p_0$ momentumu ve başlangıçta x ve x' değerleri sıfır olan parçacıkların kuvvetli odaklaması olan dairese hızlandırıcıda kapalı yörüngeleri	24
Şekil 2.17 Sekstupollarda dispersiyon yörüngesi	27
Şekil 3.1 BEAM OPTICS programında parçacık özelliklerinin belirlemesi	30
Şekil 3.2 BEAM OPTICS programında örgü elemanlarının belirlenmesi	30
Şekil 3.3 BEAM OPTICS programında kuadropol özelliklerinin belirlenmesi	31
Şekil 3.4 BEAM OPTICS programında dipol özelliklerinin belirlenmesi	31
Şekil 3.5 BEAM OPTICS programında örnek tam hücre elemanları	32
Şekil 3.6 Eğici magnetin geometrik parametreleri	41
Şekil 4.1 Enine yatay ve dikey beta ve dispersiyon fonksiyonları	50
Şekil 4.2 Enine yatay ve dikey doğrultulardaki demet zarfı fonksiyonları.....	51
Şekil 4.3 SESAME örgüsünün enine yatay ve dikey beta fonksiyonları	52
Şekil 4.4 SESAME örgüsünün enine yatay ve dikey dispersiyon fonksiyonu	52
Şekil 4.5 SESAME halkasının geometrik durumu	53
Şekil 4.6 SESAME halkasında 6 farklı konumdaki parçacıkların, 1000 tur dolanım için EK 5, gnuplot programında track verileri çizilen Faz uzayı grafiği	53
Şekil 4.7 FODO örgüsünün enine yatay ve dikey, beta ve dispersiyon fonksiyonları ...	55
Şekil 4.8 TARLA tesisinin enjektör yapısı	56
Şekil 4.9 TARLA tesisin enjektörü için düşük enerji bölgenin yapısı	56
Şekil 4.10 TARLA tesisi enjektörünün elektron demeti için faz uzayı grafikleri	57
Şekil 4.11 TARLA tesisi demet hattının enine demet ebatı grafikleri	57
Şekil 4.12 Farklı solenoid alan değerleri için enine demet ebatı değerlerinin grafiği	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 SESAME depolama halkasının hücre yapısı.....	49
Çizelge 4.2 SESAME örgüsünün bir periyodu için dönüşüm matrisi.....	50
Çizelge 4.3 Enine yatay ve dikey beta ve dispersiyon fonksiyonların örgünün başlangıç konumundaki değeri	50
Çizelge 4.4 SESAME örgü elemanlarının başlangıç konumlarındaki demet dinamiği parametreleri.....	51
Çizelge 4.5 TARLA tesisinde enjektörün demet parametreleri	56
Çizelge 4.6 TARLA tesisinde düşük enerji bölge çıkışında farklı solenoid alan değerleri için enine demet ebatı değerleri.....	58

1. GİRİŞ

Parçacık Hızlandırıcıları 21. yüzyılın jenerik teknolojilerinden olup, AR-GE ve teknoloji geliştirme çalışmalarının en güçlü araçlarıdır. Araştırma, endüstriyel ve teknolojik tüm uygulamalar dikkate alındığı zaman hızlandırıcıların uygulama alanları 300'ün üzerindedir. Dünyada yaklaşık 30.000 parçacık hızlandırıcısı mevcuttur. Türkiye' de, medikal anlamda kullanılan lineer hızlandırıcılar dışında AR-GE, Endüstriyel ve Teknolojik uygulamada kullanılan parçacık hızlandırıcısı bulunmamaktadır. 21. yüzyıla damgasını vuracak olan nanoteknoloji, biyoteknoloji, yarıiletken teknolojisi ve iletişim teknolojilerinde araştırma, geliştirme ve üretim yapmak hızlandırıcılara dayalı ışınım kaynaklarından (sinkrotron ışınımı ve serbest elektron lazeri) yararlanmadan neredeyse günümüzde olanaksız hale gelmiştir.

Hızlandırıcı fiziği, tek parçacığın veya parçacık demetinin, elektrik ve manyetik alanlar etkisindeki hareketini, yörünge, momentum, enerji kazanımı, dağılma ve toplama süreçleri v.b. parametreler açısından ele alıp inceleyen bir bilim dalıdır. Hızlandırıcı fiziği, aslında yüklü parçacıkların elektromanyetik alandaki etkileşimleri ile ilgilenir. Bu etkileşimlerin ayrıntıları, hızlandırıcıların belirli amaçtaki tasarımlarını sağlar ve yüklü parçacıklar demetinin davranışını, tasarlanan hızlandırıcılarda tahmin eder. Parçacıklar ve elektromanyetik alanlar arasındaki etkileşime demet dinamiği denir.

Parçacık hızlandırıcılarının tasarımında ve kurulumunda gerekli magnetlerin belirlenmesi, seçimi, tasarımı, imalatı, yerleştirilmesi, ayarları ve testleri hedeflenen demet kalitesini elde etmek açısından büyük bir öneme sahiptir. Magnetlerden oluşan sistemlerin tamamına magneto-optik sistemler denilmektedir. Bu çalışmada, dairesel ve doğrusal hızlandırıcılar enine ve boyuna demet dinamiği esasları çerçevesinde magneto-optik sistemlerin fiziği incelenip ilgili yazılımlar aracılığı Sinkrotron ve Linak yapılar için örnek magneto-optik tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Fiziksel hedefler doğrultusunda kurulması planlanan bir hızlandırıcı sisteminde, demet yoğunluğu, kesiti, faz uzayı yayılımı (emittans) gibi önemli parametreleri demet kalitesi açısından kontrol altında tutabilmek gerekir. Bu süreç ise hızlandırıcı ile ilgili magneto-optik yapının (magnetik

örgünün) ne kadar iyi tasarlandığı ve analiz edildiği ile ilgilidir.

Parçacık demetinin enine ve boyuna dinamiği parametrelerinden birinci dereceden sorumlu olan magneto-optik sistemlerin iyi tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, parçacık hızlandırıcılarında kullanılan manyetik sistemlerden geçen yüklü parçacık demetlerinin dinamiği incelendikten sonra dairesel parçacık hızlandırıcıların tasarımı için kullanılan BEAM OPTICS ve MADX programları ve linakların dizaynı için kullanılan PARMELA kodu incelenmiştir.

Örnek magneto-optik sistemler olarak dairesel hızlandırıcı için SESAME (Ürdün) ışıyım kaynağı tesisi incelenmiş ve demet optiğı, aynı enerjili FODO hücreli olarak tasarlanan bir dairesel hızlandırıcı ile karşılaştırılmıştır. Benzer şekilde doğrusal hızlandırıcı için TARLA tesisi düşük enerji bölgesinin demet dinamiğı incelenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

Elektromanyetik alanda, bir parçacık demeti üzerine etki eden net kuvvet, Lorentz kuvvetidir. Yüklü parçacıklar üzerinde doğrudan etkisi olan bu kuvvet demeti oluşturan parçacıkları ideal yörüngede tutmak için etkilidir.

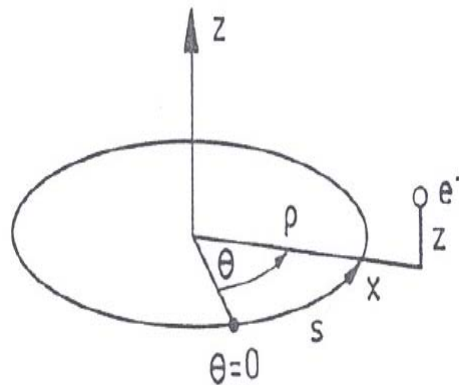
$$\mathbf{F} = e (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (2.1)$$

Burada, e parçacığın yükü, $\mathbf{v}$ parçacığın hız vektörü ve $\mathbf{E}$ elektrik alan, $\mathbf{B}$ de manyetik alan vektörleridir. Parçacığın hareket denklemi,

$$\dot{\mathbf{v}} = e/m \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (2.2)$$

ile elde edilir. Burada, $\dot{\mathbf{v}}$ parçacığın ivme vektörü ve m parçacığın kütlesidir.

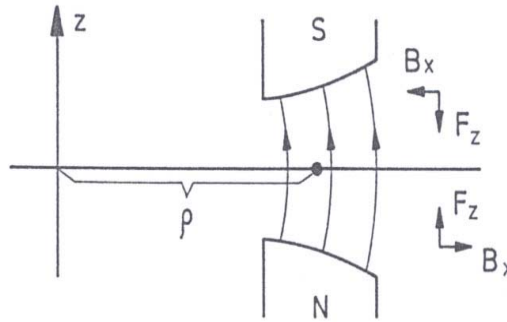
Eğer manyetik alan, yörüngenin her konumunda sabit ise, parçacığın ideal yörüngesinin yarıçapı $\rho = mv / eB$ ile elde edilir. Burada v parçacığın hızı ve ρ parçacık hareketini etkileyen merkezkaç ve Lorentz kuvvetlerinin dengede olduklarındaki yörünge yarıçapı ve x parçacığın bu ideal yörüngeden sapma değeridir. Eğer geri çağırıcı kuvvet, yörünge etrafında salınımlı bir harekete sebep olursa, parçacığın hareketi kararlıdır (Şekil 2.1),(Roosbach ve Schmüser 1994).



Şekil 2.1 Dairesel hızlandırıcıda parçacığın yörüngesi

Burada r parçacık yörüngesinin yarıçapı için $r = \rho + x = \rho \left(1 + \frac{x}{\rho} \right)$ eşitliği sağlandığından Parçacık hareketinin kararlılığı için, $r < \rho$ olduğunda Lorentz kuvveti merkezkaç kuvvetinden daha küçük ($evB_z(r) < mv^2/r$) ve $r > \rho$ ise Lorentz kuvveti merkezkaç kuvvetinden daha büyük ($evB_z(r) > mv^2/r$) olması gerekir. Burada, $B_z(r)$ manyetik alanın, z dikey doğrultusundaki bileşeninin değeridir.

Eğer B_0 manyetik alanının, parçacığın ideal yörüngesi için tasarlanmış değer ise, $n = -\rho \left(\frac{\partial B_z}{\partial r} \right) / B_0$ alan indeksi olarak tanımlanırsa, yatay düzlemdeki merkezkaç kuvveti ile manyetik alan tarafından uygulanan kuvvetin dengede olmaları için $n < 1$ koşulu ve parçacık hareketine dik düzlemdeki kararlılığı sağlamak için $n > 0$ gerekliliğinden, $0 < n < 1$ olmalıdır (Şekil 2.2, Roossbach ve Schmüser 1994).



Şekil 2.2 Zayıf odaklama

Küçük x ve z değerlerinde geri çağırıcı kuvvetler doğrusaldır ve harmonik salınımlara neden olur. Parçacığın dolanım açısal frekansı $\omega_0 = e B_0 / m$ ve çizgisel frekansı $f_0 = \omega_0 / 2\pi$ olduğundan, parçacığın, yatay ve dikey doğrultularda betatron salınımlarının denklemleri,

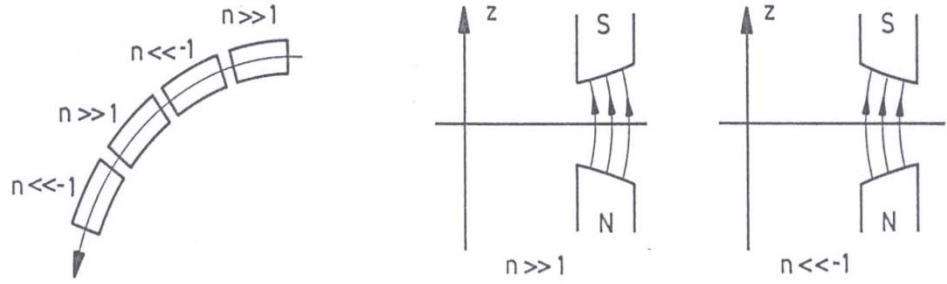
$$\ddot{x} + \omega_0^2 (1 - n) x = 0 \quad \text{ve} \quad \ddot{z} + \omega_0^2 n z = 0 \quad (2.3)$$

olarak elde edilir.

Bu denklemler parçacığın yatay ve dikey düzlemlerdeki betatron salınımlarının frekanslarını,

$$f_x = \sqrt{1-n} f_0 \quad \text{ve} \quad f_z = \sqrt{n} f_0 \quad (2.4)$$

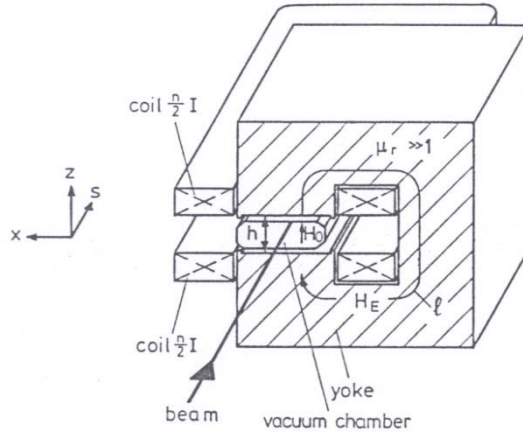
belirler. $0 < n < 1$ olduğundan her ikisinde f_0 parçacığın dolanım frekansından daha küçüklerdir. Bu yüzden zayıf odaklamada, betatron salınımlarının dalga boyu, yörüngenin çevresinden daha büyük olduğundan dolayı büyük çevresi olan halkalar için büyük sapmalara neden olur. Dolayısıyla kuvvetli odaklama daha uygundur (Şekil 2.3, Roossbach ve Schmüser 1994).



Şekil 2.3 Kuvvetli odaklama

2.1 Hızlandırıcı Magnetleri

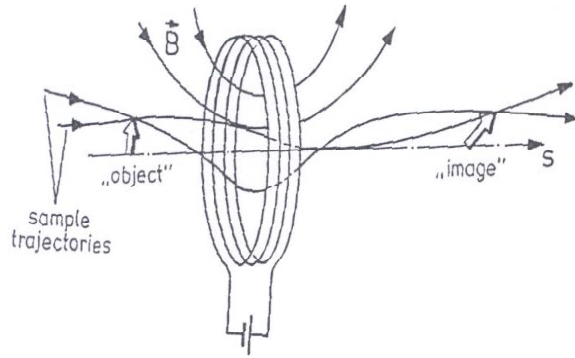
Bir dipol eğici magnet olarak parçacık demetini tasarlanmış yörüngeye yönlendirir (Şekil 2.4, Roossbach ve Schmüser 1994).



Şekil 2.4 Dipol

$$\frac{1}{\rho} [\text{m}^{-1}] = e B_0 / P = 0.2998 B_0[\text{T}] / P[\text{GeV}] \quad (2.5)$$

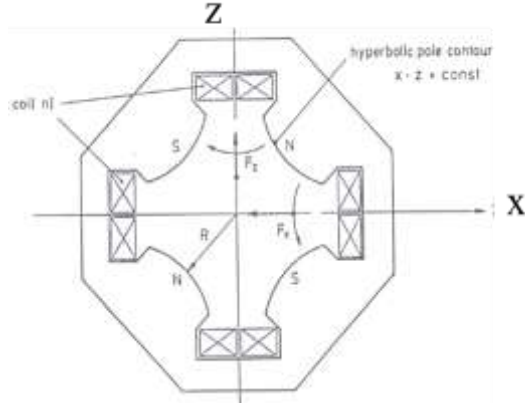
Burada ρ parçacık yörüngesinin eğilme yarıçapı ve P parçacığın GeV olarak enerjisidir. Bir solenoid mercek, odaklayıcı bir magnet olarak, parçacıkların ideal yörüngeye doğru odaklanmalarını sağlar (Şekil 2.5, Roossbach ve Schmüser 1994).



Şekil 2.5 Solenoid mercek

$$1 / f_{\text{sol}} = \int (e B_s / 2 / p)^2 ds \quad (2.6)$$

Solenoid merceğin odak uzunluğu f_{sol} , parçacık momentumunun karesi ile orantılı olduğundan dolayı küçük momentum değerleri için daha uygundur. $p \gg 1 \text{ MeV/c}$ ise kuadropol daha etkin bir mercektir. Bir kuadropol, kuvvetli odaklama magneti olarak kullanılır (Şekil 2.6, Roossbach ve Schmüser 1994).



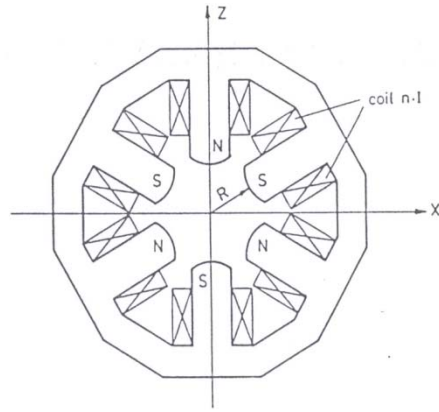
Şekil 2.6 Kuadropol

Kuadropolun kuvvet parametresi, odaklamanın ölçüsü olarak,

$$K [m^{-2}] = 0.2998 \frac{g[\frac{T}{m}]}{pc[GeV]} \quad (2.7)$$

ile elde edilir. Burada $g = 2 \mu_0 n I / R^2$ merceğin manyetik gradiyanı, n bobin sarmalarının sayısı, I bobindeki akım ve R kuadropolun iç yarıçapıdır. l uzunluğunda bir kuadropol için ince mercek yaklaşımında odak uzunluğu $f \gg l$ ve $\frac{1}{f} = K \cdot l$ olarak sadeleşir.

Bir kuadropolun odak uzunluğu, parçacıkların momentumuna bağlı olduğundan dolayı ortaya çıkan “ Kromatik ” hataları düzeltmek için sekstupol kullanılır (Şekil 2.7, Roosbach ve Schmüser 1994).



Şekil 2.7 Sekstupol

Sekstupol kuvvet parametresi,

$$m [m^{-3}] = 0.2998 g' [T/m^2] / p [GeV] \quad (2.8)$$

olarak tanımlandığında sekstupolun manyetik gradyanı $g' = 6\mu_0 nI/R^3$ dir. Burada, n bobin sarmaların sayısı, I bobindeki akım ve R sekstupolun iç yarıçapıdır (Widemann 1993).

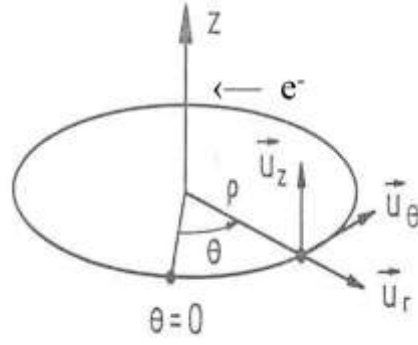
2.2 Dairesel Hızlandırıcıda Parçacık Hareketi

2.2.1 Yörünge denklemleri

parçacık demetinin ρ yarıçapında yörünge eğicisi olarak bir dipol ve k kuvvet parametresi olan odaklayıcı bir magnetin etkilerindeki parçacığın yörünge denklemleri, hareketin yatay ve dikey düzlemlerinde,

$$x'' - (k - \rho^{-2}) x = \rho^{-1} \Delta p / p_0 \quad \text{ve} \quad z'' + k z = 0 \quad (2.9)$$

olarak elde edilir (Şekil 2.8, Roossbach ve Schmüser 1994).



Şekil 2.8 Dairesel hızlandırıcıda parçacığın ideal yörüngesi

Kuadrupolun eğicilik kuvveti $1/\rho = 0$ olduğundan dolayı yörünge denklemleri,

$$x'' - kx = 0 \quad \text{ve} \quad z'' + kz = 0 \quad (2.10)$$

olarak elde edilir. Burada kuadrupolun kuvvet parametresi $k = e g / p_0 \cong e g / m v$ dir. Genelde eğicilik ve odaklama kuvvetleri, $x'' + K(s)x = \rho^{-1} \Delta p / p_0$ denkleminde referans yörüngesi boyunca, $K(s) = -k(s) + \rho^{-2}(s)$ olarak s uzaklığının fonksiyonlarıdır.

Hareketin yatay düzleminde parçacığın ideal yörüngesinden yatay sapma değeri $x(s)$, parçacığın başlangıçtaki ideal yörüngesindeki sapma miktarından kaynaklanan uzaklık x_h ve parçacık momentumunun p_0 referans değeri ile farklı olduğundan kaynaklanan uzaklığı x_i değerlerinin toplamıdır: $x(s) = x_h + x_i$

$D(s) = x_i / (\Delta p / p_0)$ dispersiyon veya momentum değişiminden kaynaklanan sapma miktarı için,

$$D''(s) + K(s) D(s) = \rho^{-1} s, \quad D_0 = D'_0 = 0 \quad (2.11)$$

yörünge denkleminin çözümü,

$$D(s) = S(s) \int_{s_0}^s \frac{1}{\rho(t)} C(t) dt - C(s) \int_{s_0}^s \frac{1}{\rho(t)} S(t) dt \quad (2.12)$$

olarak elde edilir. Burada $C(s)$ ve $S(s)$, $C'' + K(s)C = 0$ ve $S'' + K(s)S = 0$ Homojen denklemlerinin, $W = \begin{vmatrix} C & S \\ C' & S' \end{vmatrix} \neq 0$, $C_0 = 1$, $C'_0 = 0$, $S_0 = 1$ ve $S'_0 = 0$ koşullarını sağlayan çözümleridir. Bu durumda yörünge denkleminin genel çözümü,

$$x(s) = C(s)x_0 + S(s)x'_0 + D(s)\Delta p/p_0 \quad (2.13)$$

ya da

$$\begin{pmatrix} x \\ x' \end{pmatrix}_{s \text{ konumunda}} = \begin{pmatrix} C & S \\ C' & S' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ x' \end{pmatrix}_{s0 \text{ konumunda}} + \Delta p/p_0 \begin{pmatrix} D \\ D' \end{pmatrix} \quad (2.14)$$

olarak yazılabilir (Widemann 1993).

2.2.2 Hızlandırıcı magnetlerinin dönüşüm matrisleri

Eğer parçacık yörüngesinde, $K(s)$ değeri bölgesel olarak sabit ise matris formundaki açıklanan hareket denklemlerinin çözümü çok faydalıdır, çünkü matris elemanları analitik olarak yazılabilir. Hem eğici ve hem de odaklayıcı olan bir magnetten geçen parçacığın $y'' + Ky = 0$ yörünge denkleminde yatay doğrultu için $K = -k + \rho^{-2}$ ve dikey doğrultuda $K = k$ dır.

s uzunluğunda bir magnet için $\varphi = s\sqrt{|K|}$ tanımlandığında, $K > 0$ ise homojen denklemin çözümleri,

$$\begin{pmatrix} C & S \\ C' & S' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \frac{1}{\sqrt{|K|}} \sin \varphi \\ -\sqrt{|K|} \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \quad (2.15)$$

$$D(s) = (1 - \cos \varphi) / (\rho K) \quad \text{ve} \quad D'(s) = \frac{1}{\rho \sqrt{K}} \sin \varphi \quad (2.16)$$

dispersiyon çözümlerinden 3×3 boyutlu dönüşüm matrisi,

$$M_{K>0} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \frac{1}{\sqrt{|K|}} \sin \varphi & (1 - \cos \varphi) / (\rho |K|) \\ -\sqrt{|K|} \sin \varphi & \cos \varphi & \frac{1}{\rho \sqrt{|K|}} \sin \varphi \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

elde edilir. $K < 0$ ise,

$$\begin{pmatrix} C & S \\ C' & S' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh \varphi & \frac{1}{\sqrt{|K|}} \sinh \varphi \\ \sqrt{|K|} \sinh \varphi & \cosh \varphi \end{pmatrix} \quad (2.18)$$

$$D(s) = - (1 - \cosh \varphi) / (\rho |K|) \quad \text{ve} \quad D'(s) = \frac{1}{\rho \sqrt{|K|}} \sinh \varphi \quad (2.19)$$

sonuçlarından,

$$M_{K<0} = \begin{pmatrix} \cosh \varphi & \frac{1}{\sqrt{|K|}} \sinh \varphi & - (1 - \cosh \varphi) / (\rho |K|) \\ \sqrt{|K|} \sinh \varphi & \cosh \varphi & \frac{1}{\rho \sqrt{|K|}} \sinh \varphi \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.20)$$

dönüşüm matrisi ve $K = 0$ ya $s = l$ uzunluğundaki bir boşluk(drift) için

$$\begin{pmatrix} C & S \\ \hat{C} & \hat{S} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & s \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{ve} \quad \begin{pmatrix} D \\ \hat{D} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{çözümlerinden} \quad M_x = M_z = \begin{pmatrix} 1 & l & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

dönüşüm matrisleri elde edilir.

Burada x ve z , sırasıyla yörüngeye yatay ve dikey düzlemlerdeki enine sapma doğrultularıdır. l uzunluğunda bir kuadrupol için $\varphi = l \sqrt{|K|}$ ve $1 / \rho = 0$ olduğundan dolayı, eğer $K > 0$ ise,

$$M_x = \begin{pmatrix} \cosh \varphi & \frac{1}{\sqrt{|K|}} \sinh \varphi & 0 \\ \sqrt{|K|} \sinh \varphi & \cosh \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.21)$$

ve

$$M_z = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \frac{1}{\sqrt{|K|}} \sin \varphi & 0 \\ -\sqrt{|K|} \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.22)$$

Burada, $K < 0$ ise M_x ve M_z yer değiştirirler. Eğer kuadropolun odak uzunluğu, merceğin uzunluğundan çok daha büyük ($f = \frac{1}{kl} \gg l$) ise, ince mercek yaklaşımı olarak,

$$M_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \frac{1}{f} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ ve } M_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.23)$$

elde edilir. kuadropolun l uzunluğunun etkisi, her iki tarafında, $l/2$ uzunlukta iki boşluk düşünerek,

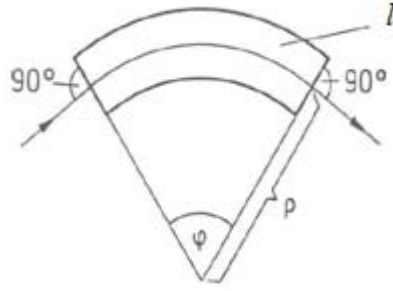
$$M_z = \begin{pmatrix} 1 & l/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & l/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} 1 - l/(2f) & l(1 - \frac{l}{4f}) & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 - l/(2f) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.24)$$

olarak elde edilir. Parçacık yörüngesinin eğilme yarıçapı ρ ve eğilme açısı φ olan bir dipol sektör magnetin ark uzunluğu $l = \rho\varphi$ olduğundan dolayı dönüşüm matrisleri

$$M_x = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \rho \sin \varphi & \rho(1 - \cos \varphi) \\ -1/\rho \sin \varphi & \cos \varphi & \sin \varphi \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ ve } M_z = \begin{pmatrix} 1 & l & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.25)$$

şeklindedir (Şekil 2.9, Roossbach ve Schmüser 1994).



Şekil 2.9 Dipol sektör magnet

Genelde dipol magnetler, düz şekilde yapıldıklarından dolayı uç kısımları referans yörüngeye dik değildir. Dikdörtgen biçimindeki magnet, her iki tarafında δ açısında eğici ince magnetler yerleşmiş olan bir sektör magnet düşünerek,

$$M_{x(\text{yeni})} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1/\rho \tan \delta & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} M_x \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1/\rho \tan \delta & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.26)$$

ve $\varphi \ll 1$ ise $\delta = \varphi/2$ olarak sadeleştiğinde,

$$M_x = \begin{pmatrix} 1 & \rho \sin \varphi & \rho(1 - \cos \varphi) \\ 0 & 1 & 2 \tan \frac{\varphi}{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

ve $M_z = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \rho \sin \varphi & 0 \\ -1/\rho \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.27)$

dönüşüm matrisleri ile modellenenabilir. s boyuna doğrultusunda ve E_s sabit elektrik alanına sahip kavite gibi hızlandırıcı bölümde p momentumlu parçacık için $dp/ds = dp/(c dt) = e E_s/c$ olduğundan ,

$$p(s) = p_0 + e E_s s / c \quad (2.28)$$

olarak elde edilir.

l uzunluğunda bir hızlandırıcı bölüm için $p = p_0 + \Delta p = p_0 + e E_s l / c$ şeklindedir. Hareketin enine y doğrultusunda parçacığın konuma bağlı sapma değeri,

$$y(s) = y_0 + y_0' (cp_0/eE_s) \ln [1 + eE_s / (cp_0)] \quad (2.29)$$

ve dönüşüm matrisleri l uzunluğundaki bir hızlandırıcı bölümü için $A = p_0 / \Delta p$ parametre tanımı ile,

$$M_x = M_z = M = \begin{pmatrix} 1 & Al \ln(1 + 1/A) \\ 0 & A/(A + 1) \end{pmatrix} \quad (2.30)$$

şeklinde elde edilir. $\det M = p_0 / (p_0 + \Delta p)$ birden farklı olduğu için, $\det M^* = 1$ olan bir normalize matris,

$$M_x^* = M_z^* = M^* = M / \sqrt{\det M} = \sqrt{\frac{A+1}{A}} \begin{pmatrix} 1 & Al \ln(1 + 1/A) \\ 0 & A/(A + 1) \end{pmatrix} \quad (2.31)$$

şeklinde daha kullanışlıdır. Bu durumda enine emittans yerine genelde hızlandırıcı boyunca değişmez kalan normalize emittans kullanılır (Roosbach ve Schmüser 1994).

2.2.3 Betatron salınımları

2.2.3.1 Kararlılık kriteri

Dairesel hızlandırıcıda parçacığın referans yörüngesine yatay x ve dikey z enine doğrultularda yörünge denklemleri, $x'' - (k - \rho^{-2}) x = \rho^{-1} \Delta p / p_0$ ve $z'' + kz = 0$ şeklindedir. Burada $\rho(s)$ ve $k(s)$ periyodik fonksiyonlar ve parçacık momentumu p_0 dir. Yörünge denklemi $y'' + k(s) y = 0$ Hill denklemi şeklindedir. Burada, L örgü uzunluğu ve $k(s) = k(s + L)$ dir. N hücre sayısı için, halkanın çevresi $C = N.L$ dir ve genel çözümü,

$$y(s) = y_0 C(s) + y_0' S(s) \quad (2.32)$$

matris formunda,

$$\begin{pmatrix} y \\ y' \end{pmatrix}_s \text{ konumunda} = M(s/s_0) \begin{pmatrix} y \\ y' \end{pmatrix}_{s_0} \text{ konumunda} , \quad M(s/s_0) = \begin{pmatrix} C(s) & S(s) \\ C'(s) & S'(s) \end{pmatrix} \quad (2.33)$$

yazılabilir. İki ardışık bölümün dönüşüm matrisi $M(s_2/s_0) = M(s_2/s_1) \cdot M(s_1/s_0)$ olduğundan halkanın bir tur parçacık dolanımı için dönüşüm matrisi $M(s+NL/s) = (M(s))^N$ ve n turda dönüşüm matrisi $(M(s))^{N \cdot n}$ dir. Parçacığın yörüngede kararlı bir şekilde hareketi için, sonsuz n dolanım sayısı için $(M(s))^{N \cdot n}$ değerinin sınırlı kalması gerekir.

Dönüşüm matrisi $M = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ şeklinde ve μ yeni nicelik, $\cos \mu = \frac{1}{2} \text{trace } M = \frac{1}{2} (a + d)$ olarak tanımlanarak, parçacığın kararlı hareketi gerçel μ değerleri için ya $\frac{1}{2} |a + d| < 1$ koşulu ile sağlanabilir. Eğer $|a + d| \neq 2$ ya $\sin \mu \neq 0$ ise, M matrisi $M = I \cos \mu + J \sin \mu$ “Twiss matrisi” şeklinde ifade edilebilir. Burada $I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ birim matris ve yeni parametreler,

$$\alpha = \frac{a-d}{2 \sin \mu} , \quad \beta = \frac{b}{\sin \mu} \quad \text{ve} \quad \gamma = \frac{-c}{\sin \mu} \quad (2.34)$$

tanımından $J = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ -\gamma & -\alpha \end{pmatrix}$ olarak elde edilir. $\det M = 1$ olduğundan $\beta\gamma - \alpha^2 = 1$ terimi ile bu üç parametre birbirlerine bağlılardır ve Twiss matrisi periyodik $\alpha(s+L) = \alpha(s)$, $\beta(s+L) = \beta(s)$ ve $\gamma(s+L) = \gamma(s)$ fonksiyonları kullanarak,

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cos \mu + \begin{pmatrix} \alpha(s) & \beta(s) \\ -\gamma(s) & -\alpha(s) \end{pmatrix} \sin \mu = \begin{pmatrix} \cos \mu + \alpha \sin \mu & \beta \sin \mu \\ -\gamma \sin \mu & \cos \mu - \alpha \sin \mu \end{pmatrix} \quad (2.35)$$

şeklinde yazılabilir. Burada μ parçacık konumundan bağımsız bir parametredir. Dönüşüm matrisinin yeni şekliyle açıklanması, parçacık hareketinin, sade harmonik salınıcı formunda, incelenmesini sağlar (Roosbach ve Schmüser 1994).

2.2.3.2 Beta fonksiyonu

Dönüşüm matrisi $M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cos \mu + \begin{pmatrix} \alpha(s) & \beta(s) \\ -\gamma(s) & -\alpha(s) \end{pmatrix} \sin \mu$ ve Twiss fonksiyonları,

$$\alpha(s) = -1/2 \beta'(s) \quad , \quad \gamma(s) = (1 + \alpha^2(s))/\beta(s) \quad (2.36)$$

ve hem periyod başına faz ilerlemesi,

$$\mu = \int_S^{S+L} \frac{dt}{\beta(t)} \quad (2.37)$$

$\beta(s)$ fonksiyonundan elde edilebildiklerinden dolayı, örgünün dönüşüm matrisi için $\beta(s)$ fonksiyonu en önemli bilgidir ve Hill denkleminin en genel çözümü, $\beta(s)$ 'in fonksiyonu,

$$y_{1,2} = a \sqrt{\beta(s)} e^{\pm i\varphi(s)} \quad (2.38)$$

olarak bir pseudo-harmonik salınımıdır. Burada $\varphi'(s) = 1/\beta(s)$ ve a bir sabittir (Roosbach ve Schmüser 1994).

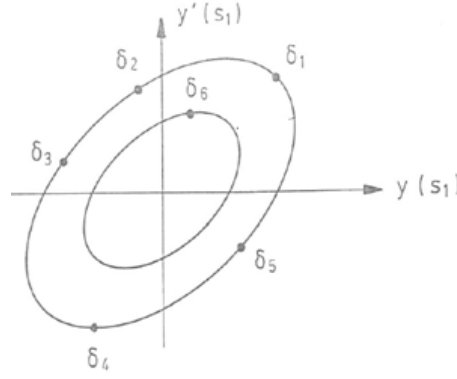
N hızlandırıcının periyod sayısı ise, tur başına betatron salınımların sayısı,

$$Q = (1/2\pi)N\mu = (1/2\pi) \oint \frac{ds}{\beta(s)} \quad (2.39)$$

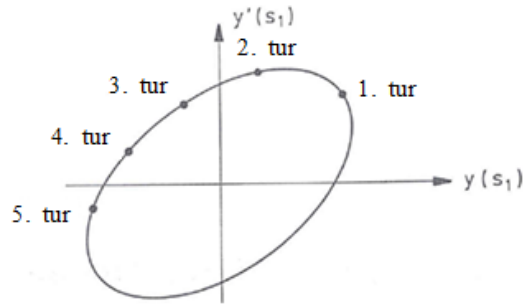
olarak elde edilir. Parçacığın izlediği yörünge, $y(s) = a \sqrt{\beta(s)} \cos(\varphi(s) - \delta)$ Hill denkleminin çözümünün gerçel kısmıdır. Burada, δ bir faz sabitidir. Aynı genlik ve farklı δ fazlarındaki sabit s konumunda yörüngeler kümesi (y, y') - faz uzayında,

$$y(s) = a \sqrt{\beta} \cos(\varphi - \delta) \\ \text{ve } y'(s) = -a / \sqrt{\beta(s)} (\sin(\varphi - \delta) + \alpha \cos(\varphi - \delta)) \quad (2.40)$$

denklemleri ile belirlenen bileşenler, (y, y') düzleminde bir elipsin parametrik göstergeleridir. Burada, y, x yatay veya z dikey sapma değerleri olarak yorumlanır ve $0 < \delta < 2\pi$ (Şekil 2.10 - 2.11), (Roossbach ve Schmüser 1994).



Şekil 2.10 Sabit bir konumda iki farklı genlikte $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots$ faz sabitleri için örüngeler kümesinin faz uzayı elipsleri



Şekil 2.11 Hızlandırıcının birkaç tur dolanım süresindeki bir parçacığın faz uzayı elipsi

Parçacığın her dolanımında, (y, y') noktası, Q kere faz düzleminde dolanır ($Q_{\text{CERN PS}} = 6.2$)

2.2.4 Emittans ve demet zarfı

Faz uzayı elipsin alanı $y(s) = a \sqrt{\beta} \cos(\varphi - \delta)$ yörüngesi için πa^2 değeri ile eşittir. Kartezyen koordinatta $\gamma y^2 + 2 \alpha y y' + \beta y'^2 = a^2$ elipsin denkleminde hızlandırıcı boyunca sabit enerjili bir parçacık için elipsin alanı (πa^2) sabit bir değerdir (Roossbach ve Schmüser 1994).

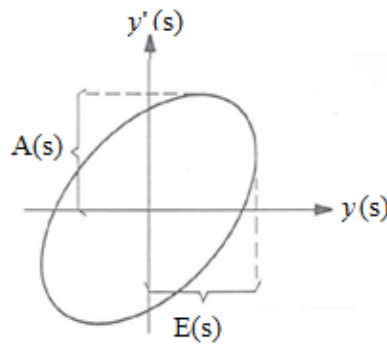
Burada a^2 , Courant-Snyder sabiti, emittans (ε) olarak tanımlanır. Yatay ve dikey sapmaların konuma göre türevleri $x' = dx/ds$, $z' = dz/ds$ ve enine momentum $p_x = p_0 x'$ olduğuna göre faz uzayı yörüngesi (x, p_x) düzleminde de bir elipstir. Burada p_0 parçacığın referans yörüngesindeki referans momentumudur. Hızlandırılan parçacıklar için, momentumları ile ters orantılı olarak emittansın azalmasına “Adiabatic Damping” olayı denir. Hızlanma süresi boyunca p_x sabit ve p_0 artar, bu yüzden x' ve dolayısıyla emittans azalır, ama ağır-iyon demetleri ve linaklardaki elektronlar için normalize emittans $\varepsilon_N = p_0 \varepsilon / (m_0 c)$ sabittir. Faz uzayında demeti kapsayan elipsin üzerindeki parçacıkların yörüngesi $y(s) = \sqrt{\varepsilon \beta(s)} \cos(\varphi(s) - \delta)$ olan parçacıklar demetinin demet zarfı (Beam envelope),

$$E(s) = y_{\max}(s) = \sqrt{\varepsilon} \sqrt{\beta(s)} \quad (2.41)$$

ve demet yayını (Beam divergence),

$$A(s) = y'_{\max}(s) = \sqrt{\varepsilon} \sqrt{\gamma} \quad (2.42)$$

olarak elde edilir (Şekil 2.12, Roossbach ve Schmüser 1994).



Şekil 2.12 (y , y')-faz uzayında demet zarfı E(s) ve demet yayını A(s)

Kuvvetli odaklama durumundaki sinkrotronda, eğici magnetlerin hepsi aynı uzunluk ve eğime yarıçapına sahiplerse elektron demeti için halkanın manyetik yapısından kaynaklanan emittans değeri,

$$\varepsilon_x = 1.47 \times 10^{-6} E^2 / R \int_0^l H(s) ds / l \quad (2.43)$$

olarak elde edilebilir. Burada, E elektronun GeV mertebesinde enerji, R eğici magnetin eğime yarıçapı, l eğici magnetin uzunluğu ve $H(s)$ fonksiyonu $\gamma D^2 + 2\alpha DD' + \beta D'^2$ terimi ile tanımlanarak,

$$\varepsilon_x = \left(\frac{\delta p}{p} \right)^2 H(s) \quad (2.44)$$

eşitliğini sağlar. Burada D dispersiyon, D' gradiyent, γ , α , β optik fonksiyonlardır ve eğici magnetin başlangıç konumundaki değerleri γ_0 , α_0 , β_0 ise emittans değeri,

$$\varepsilon_x = C\gamma \gamma^2 \theta^3 (\gamma_0 l / 20 - \alpha_0 / 4 + \beta_0 / (3l)) \quad (2.45)$$

olarak elde edilir. Burada $C\gamma = 3.832 \times 10^{-13}$ m ve l uzunluğunda ve R eğime yarıçapındaki eğici magnet için $\theta = l/R$ eğime açısı olarak tanımlanır (Wile 2000).

2.2.5 α , β , γ Dönüşümleri

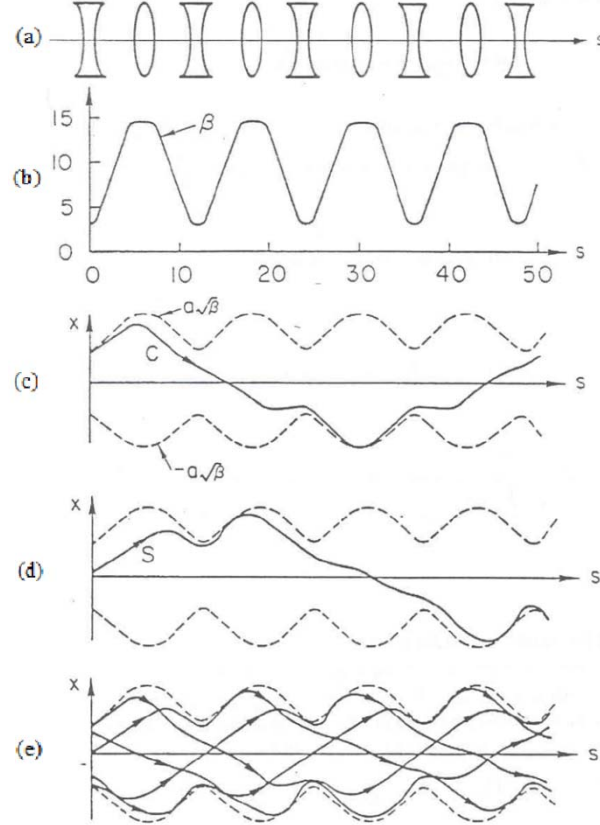
s konumundaki faz elipsi $\alpha(s)$, $\beta(s)$, $\gamma(s)$ parametreleri ve ε emittans değerinden belirlenir. Hızlandırıcının her konumunda, demet zarfı ve demet yayınının belirli olmalarının öneminden dolayı α , β , γ parametrelerinin dönüşüm matrisi,

$$\begin{pmatrix} \beta \\ \alpha \\ \gamma \end{pmatrix}_{S \text{ konumunda}} = \begin{pmatrix} C^2 & -2SC & S^2 \\ -CC' & SC' + CS' & -SS' \\ C'^2 & -2S'C' & S'^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta \\ \alpha \\ \gamma \end{pmatrix}_{S0 \text{ konumunda}} \quad (2.46)$$

önemli bilgi taşımaktadır (Roosbach ve Schmüser 1994).

Parçacık yörüngesi, $y(s) = \sqrt{\varepsilon\beta(s)} \cos(\varphi(s) - \delta)$ genelde periyodik değildir, tersine bir tam sayı Q tur başına betatron salınımları değerinden kaçınılmalıdır, aksi takdirde

$s=s_1$ noktasındaki küçük bir pertürbasyon, parçacığın her geçişinde aynı betatron faz açısında, parçacık hareketini etkileyecek ve dolayısıyla betatron salınımının genliği rezonans gibi artacak ve nihayetinde parçacık yörüngeden kaybolacaktır (Şekil 2.13, Roossbach ve Schmüser 1994).



Şekil 2.13. a. düzenli bir FODO örgüsü, b. beta fonksiyonu, c. $s_0 = 0$ için cos-benzeri yörünge, d. $s_0 = 0$ için sin-benzeri yörünge, e. ardışık birkaç tur için bir parçacığın yörüngesi

2.2.6 Genlik ve faz fonksiyonları olarak temel yörüngeler

Sin-benzeri $S(s)$ ve cos-benzeri $C(s)$ yörüngelerin başlangıç $s=s_0$ konumundaki değerleri $S(s_0) = 0$, $C(s_0) = 1$, $S'(s_0) = 1$, $C'(s_0) = 0$ belirlendiğinde, her iki fonksiyonda,

$$C(s) = \sqrt{\beta(s)} \left(\beta_0^{-1/2} \cos(\varphi(s) - \varphi(s_0)) + \alpha_0 \beta_0^{-1/2} \sin(\varphi(s) - \varphi_0) \right) \quad (2.47)$$

olarak ifade edilebilir. $\Delta\varphi = \varphi(s) - \varphi(s_0)$ şeklinde tanımlandığında, dönüşüm matrisi,

$$\begin{pmatrix} C(s) & S(s) \\ C'(s) & S'(s) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{\frac{\beta}{\beta_0}} (\cos\Delta\varphi + \alpha_0 \sin\Delta\varphi) & \sqrt{\beta\beta_0} \sin\Delta\varphi \\ \sqrt{\frac{1}{\beta\beta_0}} ((\alpha_0 - \alpha) \cos\Delta\varphi - (1 + \alpha\alpha_0) \sin\Delta\varphi) & \sqrt{\frac{\beta_0}{\beta}} (\cos\Delta\varphi - \alpha \sin\Delta\varphi) \end{pmatrix} \quad (2.48)$$

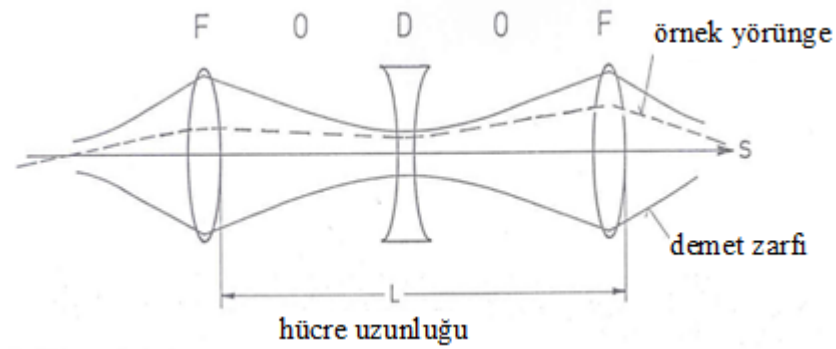
olarak elde edilir. Parçacığın bir tur dolanımı için ($\alpha = \alpha_0$, $\beta = \beta_0$), eğer başlangıç konumu, simetri noktası ($\alpha_0 = \beta_0 = 0$) ise dönüşüm matrisi,

$$\begin{pmatrix} C(s) & S(s) \\ C'(s) & S'(s) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos 2\pi Q & \beta_0 \sin 2\pi Q \\ \frac{-1}{\beta_0} \sin 2\pi Q & \cos 2\pi Q \end{pmatrix} \quad (2.49)$$

olarak elde edilir. Burada Q tur başına betatron salınımlarıdır (Roosbach ve Schmüser 1994).

2.2.7 FODO hücresinin dönüşüm matrisi

Yüksek enerjili hızlandırıcılar veya depolama halkalarının çoğu, ark bölümlerinde, alternatif polariteleri olarak kuadropol magnetlerden oluşan bir periyodik diziye sahiptirler (Şekil 2.14), (Roosbach ve Schmüser 1994).



Şekil 2.14 FODO hücresi

Eğici magnetler iki kuadropolun ortasına yerleşebilirler. İnce mercek yaklaşımında, f odak uzunluğu olan kuadropollar ve L uzunluğundaki driftin dönüşüm matrisleri,

$$M_F = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix}, \quad M_D = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/f & 1 \end{pmatrix} \quad \text{ve} \quad M_0 = \begin{pmatrix} 1 & L/2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.50)$$

şeklindedir. Hücrenin dönüşüm matrisi,

$$M = M_F \cdot M_0 \cdot M_D \cdot M_0 = \begin{pmatrix} 1 + \frac{L}{2f} & L + \frac{L^2}{4f} \\ -\frac{L}{2f^2} & 1 - \frac{L}{2f} - \frac{L^2}{4f^2} \end{pmatrix} \quad (2.51)$$

olarak elde edilir. Bu matris, bir periyod üzerindeki “twiss” dönüşüm matrisi ile kıyaslandığında, hücre başına faz ilerlemesi μ için $\cos \mu = \frac{1}{2} \text{trace} M = 1 - \frac{L^2}{8f^2}$ ya $|\sin(\mu/2)| = \frac{L}{4f}$ dir ve $|\cos \mu| < 1$ kararlılık koşulundan $f > L/4$ şartının sağlanması gerekir (Wilson 2001).

2.2.8 Periyodik olmayan demet optiği

$\alpha, \beta, \gamma, \mu$ parametreleri, demet taşıma hatlarında da faydalıdır fakat beta fonksiyonu artık tam olarak sadece dönüşüm matrisinden belirlenemez ve başlangıç koşullarına da bağlıdır. tasarlanan $\alpha, \beta, \gamma, \mu$ değerlerini elde etmek için, demet hattının başlangıçtaki $\beta, \beta', \varepsilon$ değerleri en iyi şekilde seçilmelidir. Faz uzayı koordinatı,

$$\begin{pmatrix} y \\ y' \end{pmatrix}_{S \text{ konumunda}} = M(s/s_0) \begin{pmatrix} y \\ y' \end{pmatrix}_{S_0 \text{ konumunda}} = \begin{pmatrix} C & S \\ C' & S' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y \\ y' \end{pmatrix}_{S_0 \text{ konumunda}} \quad (2.52)$$

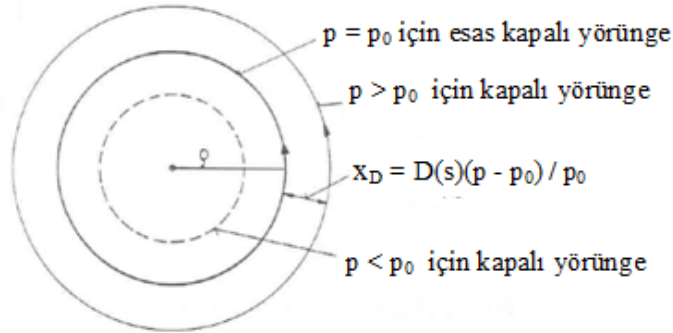
ve α, β ve γ dönüşümü,

$$\begin{pmatrix} \beta \\ \alpha \\ \gamma \end{pmatrix}_{S \text{ konumunda}} = \begin{pmatrix} C^2 & -2SC & S^2 \\ -CC' & SC' + CS' & -SS' \\ C'^2 & -2S'C' & S'^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta \\ \alpha \\ \gamma \end{pmatrix}_{S0 \text{ konumunda}} \quad (2.53)$$

dairesel hızlandırıcıdaki gibidir. Burada, y ve x yatay ve z dikey sapma değişkenleridir (Roosbach ve Schmüser 1994).

2.3 Momentum Sapması Olan Parçacıkların Hareketi

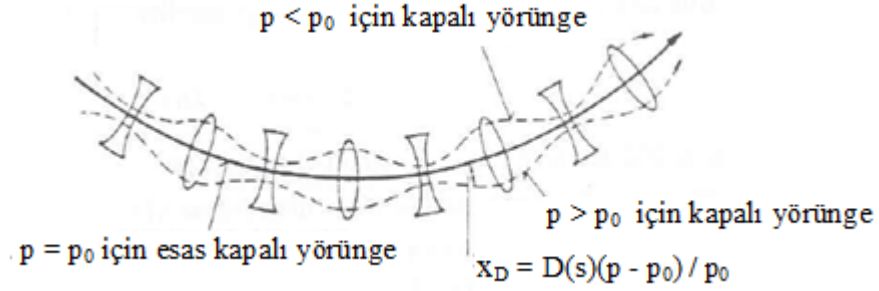
Bir dairesel hızlandırıcının esas tasarlanan yörüngesi, kuadropolların merkezinden geçen kapalı eğridir. Tasarlanan momentum p_0 ile sıfır olan x ve x' değerlerinde harekete başlayan parçacıklar, planlanmış kapalı yörüngeyi izlerler. Başlangıçta x ve x' değerleri sıfır olmayan parçacıklar, bu yörünge etrafında betatron salınımı hareketini yaparlar ama Q değeri tam sayı olmadığından dolayı bu yörünge kapalı bir eğri değildir. (Şekil 2.15),(Roosbach ve Schmüser 1994).



Şekil 2.15 $p \neq p_0$ momentumu ve başlangıçta x ve x' değerleri sıfır olan parçacıkların zayıf odaklaması olan dairesel hızlandırıcıda kapalı yörüngeleri

Zayıf odaklama için, kapalı dispersiyon yörüngesi $D(s)$ sabit bir değerdir ama kuvvetli odaklama için yatay ve dikey doğrultularda odaklayıcı kuadropolların merkezinde, sırasıyla maksimum ve minimum olur. Momentumu p_0 olmayan ve başlangıç x ve x' değerleri sıfır olan parçacıkların kapalı yörüngeleri odaklama türüne

göre farklı şekilde değişilir. Burada başlangıçta x ve x' değerleri sıfır olmayan parçacıklar bu yeni yörüngenin etrafında betatron salınımı hareketini yaparlar (Şekil 2.16, Wille 2000).



Şekil 2.16 $p \neq p_0$ momentumu ve başlangıçta x ve x' değerleri sıfır olan parçacıkların kuvvetli odaklaması olan dairesel hızlandırıcıda kapalı yörüngeleri

2.3.1 $\Delta p \neq 0$ için kapalı yörünge

$\Delta p = p - p_0 \neq 0$ momentumlu bir parçacık yatay hareketinde, $x'' + K(s)x = \rho^{-1}\Delta p / p_0$ Hill denklemini sağlar. Parçacığın referans yörüngesinden, toplam sapma miktarı,

$$x(s) = x_D(s) + x_h(s) \quad (2.54)$$

şeklindedir. Burada, $x_D(s)$, momentumu $p_0 + \Delta p$ olan parçacığın kapalı yörüngesinden sapma değeri olarak $x_D(s) = D(s).\Delta p / p_0$ eşitliğini sağlar ve $x_h(s)$, kapalı dispersiyon yörüngesinin etrafındaki betatron salınımını ifade eder. $y'' + K(s)y = F(s)$ yörünge denkleminin çözümü,

$$y(s) = \frac{\sqrt{\beta(s)}}{2 \sin \pi Q} \oint f(t) \sqrt{\beta(t)} \cos(|\varphi(t) - \varphi(s)| - \pi Q) dt \quad (2.55)$$

ve periyodik kapalı dispersiyon denkleminde $f(t) = \rho^{-1}\Delta p / p_0$ olduğundan periyodik kapalı dispersiyon yörüngesi,

$$D(s) = \frac{\sqrt{\beta(s)}}{2 \sin(\pi Q)} \oint \frac{\sqrt{\beta(t)}}{\rho(t)} \cos(|\varphi(t) - \varphi(s)| - \pi Q) dt \quad (2.56)$$

olarak elde edilir.

Paydadaki $\sin(\pi Q)$ terimi, dairesel hızlandırıcıda esaslı bir kararsızlığın nedenidir, çünkü dispersiyon sadece Q 'nun tam sayı olmayan değerlerinde sonludur (Wille 2000).

2.3.2 Momentum kompaksiyonu

$\Delta p / p_0 > 0$ eşitsizliğini sağlayan bir parçacık, $\Delta p = 0$ eşitliğini sağlayan bir parçacıktan her dolanımında daha çok mesafe gider. Kapalı dispersiyon yörüngesinin üzerinde hareket eden bir parçacığın kapalı yörüngeden sapma değeri $x_D(s) = D(s) \Delta p / p_0$ olduğundan yörüngesinin çevre uzunluğu,

$$C' = \oint \left(1 + \frac{x_D(s)}{\rho} \right) ds = C + \Delta C \quad (2.57)$$

dir ve $\Delta C / C = \alpha \Delta p / p_0$ eşitliği sağlanır. Burada $\alpha = 1 / C \oint D(s) / \rho(s) ds$ momentum kompaksiyonu olarak tanımlanır (Wilson 2001).

2.3.3 Manyetik alan hatalarının etkisi

Bir dipolda, eğer manyetik alanın dikey bileşeni $B_z = B_0 + \Delta B$ veya manyetik alanın yatay bileşeni $B_x = \Delta B$ ise, fazladan bir Lorentz kuvveti olur ve bu da yeni bir $y'' + K(s)y = F(s)$ denkleminde yönlendirir ve periyodik kapalı yörünge,

$$y(s) = \frac{\sqrt{\beta(s)}}{2 \sin \pi Q} \oint f(t) \sqrt{\beta(t)} \cos(|\varphi(t) - \varphi(s)| - \pi Q) dt \quad (2.58)$$

çözümü için $f(t) = e \Delta B(t) / p_0$ dir. Dolayısıyla kararlı bir harekette, p_0 momentumlu parçacıklar için bile dipollerde küçük alan hataları her zaman var olduğundan, Q bir tamsayı olmamalıdır. Tasarlanan kuadropol kuvveti $K_0(s)$ ve hata değeri $\Delta K(s)$ ise p_0 momentumlu parçacıklar için parçacığın yörünge denklemi $y'' + (K_0(s) + \Delta K(s)) y = 0$ dir. Eğer hata sadece $s = s_1$ konumundayken küçük ds_1 uzunluğunda ve $M_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cos \mu_0 + \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ -\gamma & -\alpha \end{pmatrix} \sin \mu_0$ hatasız kuadropolün dönüşüm matrisi ise, hatalı kuadropolün dönüşüm matrisi,

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\Delta K ds_1 & 1 \end{pmatrix} \cos \mu_0 + \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ -\alpha \Delta K ds_1 - \gamma & -\beta \Delta K ds_1 - \alpha \end{pmatrix} \sin \mu_0 \quad (2.59)$$

olarak elde edilir. Burada $\mu_0 = 2\pi Q$ hatası olmayan makinenin hücre başına faz ilerlemesidir, kuadropolün kuvvet hatasından sonuçlanan Q değerinin değişimi,

$$\Delta Q = \Delta \mu / (2\pi) = 1/(4\pi) \oint \beta(s) \Delta K(s) ds \quad (2.60)$$

ve aynı hatadan sonuçlanan β değerinin değişimi,

$$\Delta \beta(s) = \frac{\beta(s)}{2 \sin(2\pi Q)} \oint \beta(t) \Delta K(t) \cos(2|\varphi(t) - \varphi(s)| - 2\pi Q) dt \quad (2.61)$$

olarak elde edilir. Bu yüzden, Kuadropol hataları, Q 'nun buçuklu değerlerinde rezonansa neden olur. Genelde, sekstupollar veya diğer magnetlerin hizalanmamasından dolayı yatay ve dikey betatron salınımları arasında, bağlantı olduğundan $mQ_x + nQ_z \neq l$ koşulu da sağlanmalıdır. Burada, m , n ve l tam sayılar ve Q_x ve Q_z sırasıyla parçacığın yatay ve dikey hareketindeki tur başına betatron salınımlarının sayılarıdır. Çalışma noktası (Q_x, Q_z) , rezonans çizgilerinden makul bir uzaklıkta seçilmelidir (Roosbach ve Schmüser 1994).

2.3.4 Kromatisite

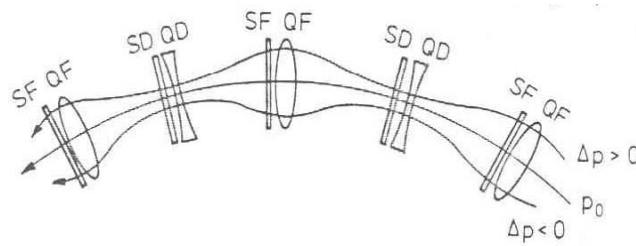
$p \neq p_0$ momentumu olan parçacıklar, p_0 momentumlu parçacıklara göre, kuadrupolda farklı konumlara odaklanmalarından dolayı kuadrupol hatası gibi algılanır ve Q değerleri değişir çünkü kuadrupol kuvveti $K = eg / p$ olduğundan, momentum değişiminin fonksiyonu olarak kuvvet değişimi $\Delta K = -\frac{eg}{p_0} \frac{\Delta p}{p_0} = -K_0 \frac{\Delta p}{p_0}$ parçacıkları etkiler. Bu durumda, Q değerinin değişimi,

$$\Delta Q = -1/(4\pi) \oint \beta(s) K(s) ds \frac{\Delta p}{p_0} = \xi \frac{\Delta p}{p_0} \quad (2.62)$$

şeklindedir. Burada,

$$\xi = -1/(4\pi) \oint \beta(s) K(s) ds \quad (2.63)$$

hızlandırıcının kromatisitesi olarak tanımlanır. Eğer kapalı dağılım yörüngesi $D(s)$ 'nin sıfır olmayan konumlarında sektupollar yerleştirilirse kromatisite düzeltilir (Şekil 2.17, Roossbach ve Schmüser 1994).



Şekil 2.17 Sektupollarda dispersiyon yörüngesi

2.4 Sinkrotron Salınımları ve Boyuna Demet Dinamiği

Yüklü parçacıkları yüksek enerjilere hızlandırmak için hızlandırıcı alanların üretimi, yüksek frekanslı rezonant kavitelemeler ile gerçekleşir. Her hızlandırıcı istasyonu bir kavite

veya kaviteler sistemi olabilir. Her istasyon, ω_{rf} açısai frekansındaki bir RF güç kaynağı ile uyarılı ve sistem, referans parçacığın her istasyonda aynı değerde enerjisinin yükselmesi için aynı fazda ulaşacağı şekilde tasarlanır. İki ardışık istasyon arasındaki zaman aralığı,

$$\tau = L / v \quad (2.64)$$

değerindedir. Burada L istasyonlar arasındaki uzaklık ve v parçacığın hızıdır. τ değerindeki kesirli değişim,

$$\eta = 1/\gamma_t^2 - 1/\gamma^2 \quad (2.65)$$

kayma faktörü olarak elde edilir.

Burada γ_t parametresi, $\Delta L/L = 1/\gamma_t^2 (\Delta p/p)$ eşitliği p momentumlu parçacık için sağlayacak şekilde tanımlanır ve γ parçacık enerjisi veya Lorentz katsayısıdır. n . hızlandırıcı istasyonuna ulaşan E_n enerjisinde ve ψ_n fazındaki parçacık, $(n+1)$. hızlandırıcı istasyonuna ulaştığında, $\psi_{n+1} = \psi_n + \omega_{rf} (\tau + \Delta\tau)_{n+1}$ fazındadır. T_n zamanında n . istasyona ulaşan parçacığın fazı için bir açısai değişken $\phi_n \equiv \psi_n - \omega_{rf} T_n$ tanımlandığında parçacığın $(n+1)$. istasyon girişindeki açısai fazı,

$$\phi_{n+1} = \phi_n + \eta \omega_{rf} \tau (\Delta p/p)_{n+1} \quad (2.66)$$

olarak elde edilir. Burada dairesel hızlandırıcılar için $\omega_{rf} \tau$ harmonik sayısı olarak 2π değerinin bir tam katıdır. Doğrusal hızlandırıcılarda kavite yapısına bağlı kaviteden kaviteye faz ilerlemesi belirlidir. n . istasyonun girişindeki e yüklü ideal parçacığın enerjisi $(E_s)_n$ ise $(n+1)$. istasyonun girişindeki parçacığın enerjisi,

$$(E_s)_{n+1} = (E_s)_n + eV \sin \phi_s \quad (2.67)$$

değerindedir. Burada V kavite açıklığı arasındaki emf genliği ve ϕ_s , senkron faz veya ideal parçacığın fazıdır. Genelde her parçacık için enerji denklemi,

$$E_{n+1} = E_n + eV \sin \phi_n \quad (2.68)$$

olarak sağlanır ve ideal parçacığa göre enerji farkı $\Delta E \equiv E - E_s$ olarak tanımlandığında,

$$\Delta E_{n+1} = \Delta E_n + eV (\sin \phi_n - \sin \phi_s) \quad (2.69)$$

denklemi her parçacığın enerjisi için sağlanır. Bu denklem ve 2.65 denklemi,

$$\phi_{n+1} = \phi_n + \eta \omega_{rf} \tau c^2 \Delta E_{n+1} / (v^2 E_s) \quad (2.70)$$

şekline dönüşerek her parçacığın hareket denklemlerini ideal parçacığa göre belirlerler. Burada v parçacığın hızı ve c ışık hızı sabitidir.

$\phi - \Delta E$ faz uzayında parçacığın hareketi,

$$\Delta E^2 + 2 v^2 E_s eV (\cos \phi + \phi \sin \phi_s) / (\eta \omega_{rf} \tau c^2) = \text{sabit} \quad (2.71)$$

kontürleri ile belirlenir ve her hızlandırıcı istasyonu geçiş başına sinkrotron salınımların sayısı,

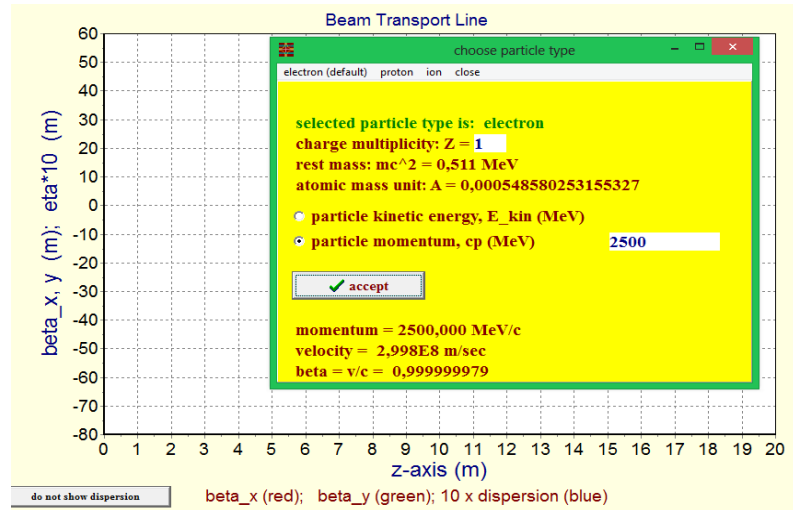
$$\nu_s = (\eta \omega_{rf} \tau c^2 eV \cos \phi_s / (4\pi^2 v^2 E_s))^{1/2} \quad (2.72)$$

olarak elde edilir (Edwards 1993).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

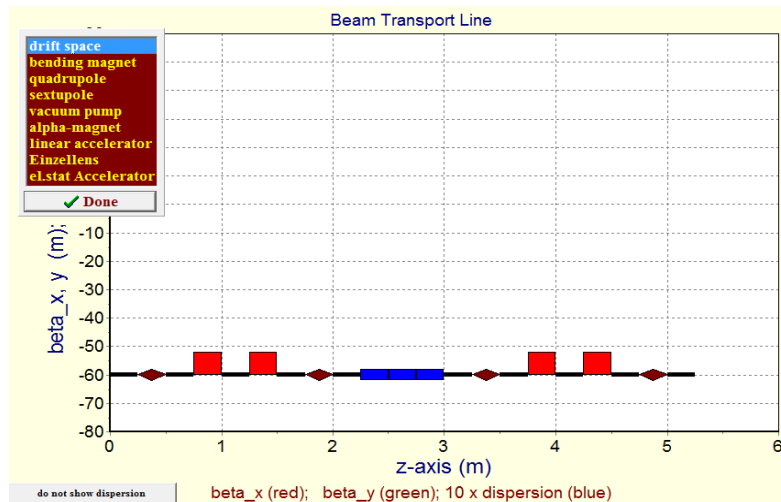
3.1 BEAM OPTICS Programı

BEAM OPTICS, Helmut Widemann (Stanford University) tarafından hızlandırıcı halkaların demet optiğinin incelenmesi için geliştirilmiş bir programdır. Bu programda hızlandırıcı halkasındaki parçacıkların yükleri ve enerjileri belirlenir.



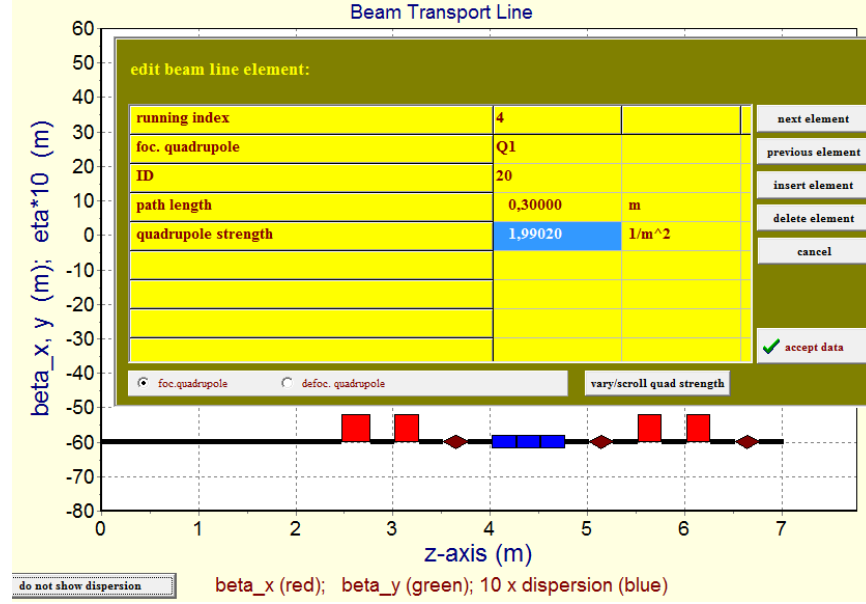
Şekil 3.1 BEAM OPTICS programında parçacık özelliklerinin belirlenmesi

Halka için kullanılan örgünün elemanları grafiksel olarak sıraları ile yerleştirilir.



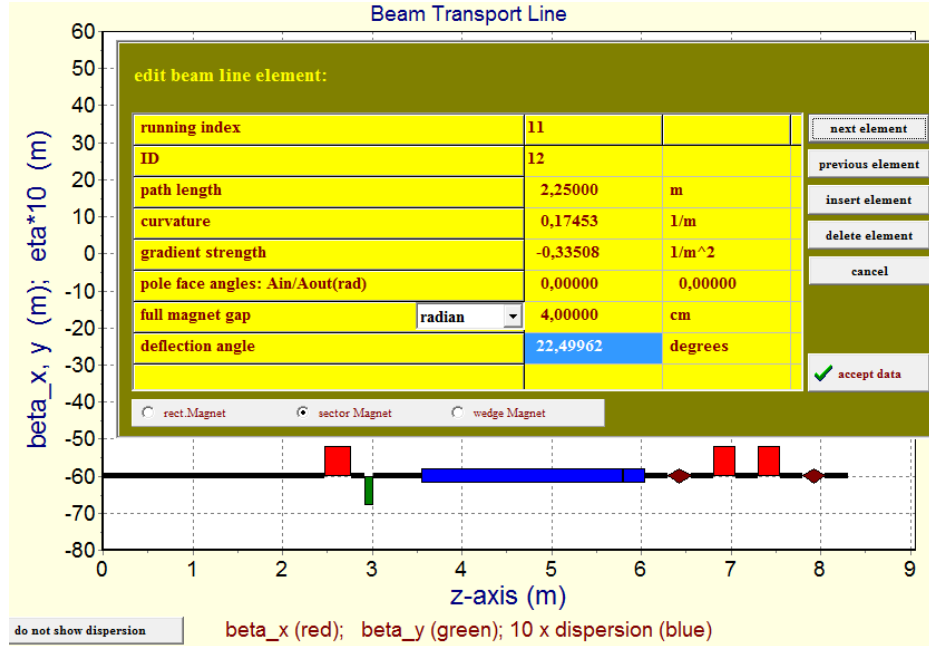
Şekil 3.2 BEAM OPTICS programında örgü elemanlarının belirlenmesi

Sonra örgü elemanlarının özellikleri belirlenir. Örnek bir kuadrupol aşağıda gösterilmiştir.



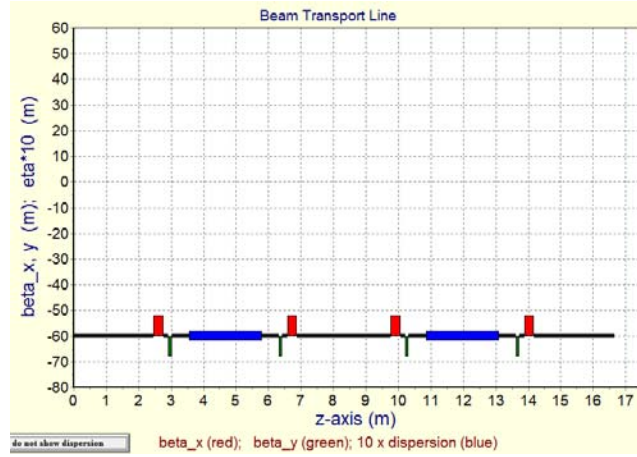
Şekil 3.3 BEAM OPTICS programında kuadrupol özelliklerinin belirlenmesi

Aşağıdaki şekilde bir dipol şeklinde tanımlanabilir.



Şekil 3.4 BEAM OPTICS programında dipol özelliklerinin belirlenmesi

Yarım hücre elemanları açıklandıktan sonra simetri seçeneği ile tam hücre tamamlanabilir.



Şekil 3.5 BEAM OPTICS programında örnek tam hücre elemanları

ve bu verilerden sonuç olarak, enine yatay ve dikey doğrultulardaki beta ve yayınım fonksiyonları, alfa fonksiyonu, dispersiyon fonksiyonu ve bir periyod için dönüşüm matrisi, BEAM OPTICS programının çıktıları olarak elde edilir.

3.2 MADX Programı

MAD-X (Methodical Accelerator Design), genel amaçlı hızlandırıcı ve örgü tasarımı programıdır ve her hızlandırıcı tasarımı programı gibi temel amaçları,

1. Elemanları ve dizilişlerini bir dosyadan okumak
2. Optik parametrelerini hesaplamak
3. İstenilen özellikleri tanımlayıp hesaplamak
4. Makinenin muhtemel kusurlarını modelleyip düzeltmek
5. Demet dinamiğini tasarlanmış makinede modellemek

dir ve bir hızlandırıcı örgünün tasarımı için ihtiyacımız olan veriler,

1. Makinenin tüm elemanlarının özelliklerinin tanımlanması
2. Aktif olan tüm makine elemanlarının kuvvet parametreleri

3. Hızlandırıcı ya da demet hattındaki tüm elemanların konumları

olarak açıklanabilir. MAD-X tüm hesaplamalarında SI birimleri kullanır (örnek olarak uzunluk için metre ve açı için radyan). Tüm terimler birkaç satıra yerleşebilir ancak ; işareti ile sonlanır ve harflerin büyük ya küçük olduğundan bağımsızdır. Açıklamalar, satır başındaki ! ya da // karakterleri veya eğer bir satırdan fazla ise /* ve */ işaretlerinin arasında ifade edilir. Elemanlar, belirli uzunluktaki kalın mercekler veya sıfır uzunluğundaki ince mercekler olarak tanımlanabilirler. Elemanlar sınıf kavramını kullanarak tanımlanırlar ve farklı özelliklere sahip alt sınıflar olarak tanımlanabilirler.

Farklı uzunluktaki iki quadrupol sınıfını (mql ve mqs) bu şekilde tanımlanır:

mql: QUADRUPOLE, L=5.0;

mqs: QUADRUPOLE, L=1.5;

Dipol magnetler, dikdörtgen biçiminde (RBEND) veya daire dilimi (SBEND), eğici magnetler olarak ifade edilebilirler.

Eğici magnetin kuvveti, eğime açısı ya da dipol katsayısından ($1/\rho$) belirlenir:

$$K_0 = c B_y [T] / p = \text{açı [rad]} / \text{uzunluk [m]} = 1/\rho \quad (3.1)$$

mb: RBEND, L=14.3, ANGLE=2*PI/1132; // toplam dipol sayısı 1132

Bir quadrupol, K_1 quadrupol katsayısı ile tanımlanır:

$$K_1 = c \frac{\partial}{\partial x} B_y [T/m] / p = (l.f)^{-1} \quad (3.2)$$

qf: QUADRUPOLE, L=5.0, $K_1 = +0.00147235$;

Bir sekstupolun K_2 katsayısı,

$$K_2 = c (\partial^2 B_y / \partial^2 x) [T/m^2] / p \quad (3.3)$$

ile tanımlanır:

qs: SEXTUPOLE, L=1.4, K₂ = +0.00147235;

Tüm ince mercekler (sıfır uzunluğundaki elemanlar) MULTIPOLE olarak tanımlanırlar:

mp: MULTIPOLE, KNL={k_{n0}L, k_{n1}L, k_{n2}L, k_{n3}L,...};

İnce quadrupol,

qft: MULTIPOLE, KNL={0, k_{n1}L, 0,0};

ve ince dipol,

mbt:MULTIPOLE, KNL={k_{n0}L,0,0,0};

formlarında tanımlanabilirler.

Bir marker, s konumunda aktif olmayan bir referans noktası gibi bir elemanın göstergesidir.

Start-up: MARKER, AT = 1839.872;

SEQUENCE , makinenin gösterimidir ve hızlandırıcı ya da demet hattındaki elemanların yerleşim düzenini belirler:

dizilimin adı: SEQUENCE, REFER = CENTER, LENGTH = 6912.00;

:

mql05: MQL, AT = 256.9000;

:

END SEQUENCE;

Burada konumlar, elemanların merkez (CENTER), giriş (ENTRY) ve çıkış (EXIT) Noktalarına göre ifade edilebilir. Parçacık demetinin özelliklerini BEAM komutu ile ifade edilir.

BEAM, PARTICLE = parçacığın adı, ENERGY = ... , SEQUENCE = dizilimin adı; parçacığın adını açıklamak yerine MASS ve CHARGE terimleri ile kütle ve yükünü belirlemek mümkündür. Komutlar, hazırlanmış bir dosyadan okunabilir.

Bu dosya bir veya daha fazla SEQUENCE veya komutlar içerebilir:

CALL, FILE = “dosyanın adı”;

Belirlenmiş bir dizilim (SEQUENCE) aktif olarak kullanılabilir:

USE, PERIOD = dizilimin adı;

Makinenin çizgisel örgü fonksiyonları (TWISS parametreleri) hesaplanabilir:

TWISS;

Bu komut kaydolan son USE ifadesini kullanır ve istediğimiz sonuçlara göre, SELECT komutunu eklemek ile değiştirilebilir:

SELECT, FLAG = TWISS, COLUMN = NAME,S,MUX,BETX,MUY,BETY;

TWISS, FILE = “twiss.out”;

Örgü fonksiyonlarının grafiğini elde etmek PLOT komutu ile gerçekleşir:

PLOT, HAXIS = S, VAXIS = BETX, BETY;

Makinenin parametrelerinin ayarlanması MATCH komutunu kullanarak elde edilir. Ayarlanması istenilen parametre, ya Q değeri ve kromatisite gibi makinenin tümü ile ilgilidir (GLOBAL), ya da periyodik bir yapıyı elde etmek gibi, sadece belirli konumlarda önemlidir.

yatay ve dikey Q değerleri, kuadropolların kuvvet değerlerinin değiştirilmesi ile ayarlanabilir:

MATCH, SEQUENCE = dizilimin adı;

VARY,NAME = kqf, STEP = 0.00001;

VARY,NAME = kqd, STEP = 0.00001;

GLOBAL, SEQUENCE = dizilimin adı, Q₁ = 26.58;

GLOBAL, SEQUENCE = dizilimin adı, Q₂ = 26.62;

LMDIF, CALLS = 10, TOLERANCE = 1.0E-21;

ENDMATCH;

Benzer şekilde Enine ve boyuna dQ değerleri (kromatisite), sekstupolların kuvvet değerlerinin değiştirilmesi ile sıfırlanabilir:

MATCH, SEQUENCE = dizilimin adı;

VARY,NAME = ksf, STEP = 0.00001;

VARY,NAME = ksd, STEP = 0.00001;

GLOBAL, SEQUENCE = dizilimin adı, DQ₁ = 0.0;

```
GLOBAL, SEQUENCE = dizilimin adı, DQ2 = 0.0;  
LMDIF, CALLS = 10, TOLERANCE = 1.0E-21;  
ENDMATCH;
```

Burada kqf gibi değişken, kesinlikle magnetin tanımlanmasında, geciktirilmiş bir ifade kullanarak yazılmalıdır:

```
qf: QUADRUPOLE, K1 := kqf;
```

Yoksa elde edilen yeni kuvvet değeri, doğru hesaplanmış olmasına rağmen, elemanın yeni kuvvet değeri olarak elde edilemez. Deney amaçlı periyodik olmayan bir bölge, periyodik bir yapıda yerleştirildiğinde, Makinenin diğer kısımlarında distorsiyonu önlemek için, ayarlama komutu belirli bölgede sınırlanmalıdır ve makinenin periyodik kısmı, fazladan kısıtlamalar sağlamalıdır. Parçacık hareketini faz uzayında izlemek, ince mercekler kullanarak gerçekleşir. Kalın mercekler ile tanımlanmış bir örgü, önce MAKETHIN komutu ile ince mercek elemanlara modellenmelidir.

Örnekte, (x,px) yatay faz uzayında bir daire üzerinde dağıtılmış 20 parçacığın hareketi izlenebilir:

```
MAKETHIN, SEQUENCE = dizilimin adı;  
USE, SEQUENCE = dizilimin adı;  
TRACK;  
nstep = 20;  
rad = 100.0E -06;  
angstep = 2*PI / nstep;  
n = 0;  
WHILE (n <= nstep) {  
  ang = n * angstep;  
  xs = rad*cos(ang);  
  xps = rad*sin(ang);  
  VALUE, xs, xps;
```

```
n = n+1;          }  
RUN, TURNS = 1000;  
ENDTRACK;
```

3.3 PARMELA Programı

Parmela kodu, Kaliforniya üniversitesinin Los Alamos National laboratuvarında, linak dizayn programı olarak üretildi. Doğrusal boyutlar ve koordinat değerleri cm birimindedir. Her satır kodun bir anahtar kelimesi ile çeşitli parametrelerden oluşur. Bazı anahtar kelimeler, üç veya daha fazla parametre ile tarif edilerek demet hattı elemanlarını belirlerler. Tüm elemanlar için ilk üç parametre aynı anlamı taşırlar: elemanın uzunluğu L , elemanın son konumundaki radyal açıklığı R_a ve elemanın son konumunda çıktı bilgisi alınıp alınmayacağına dair bir etiket.

ZOUT kod satırı, son elemandan sonra, giriş dosyasına yerleştirildiğinde elemanların listesini ve son konumlarını belirleyip çıktı dosyasında oluşturacaktır. İlk eleman $z = 0$ konumundan başlar. İki boyutlu alan haritalarını, Poisson, CField ve TRWCField kod satırları, Poisson, Pandira ve SF7 adlarındaki Poisson Superfish kodlarının formatında ve silindirik koordinatlarda okurlar.

üç boyutlu alan haritalarını, CField ve EM3DField kod satırları, Kartezyen koordinatlarda okurlar. Φ fazı programın esas saatinin (master clock) fazıdır. Her parçacığın altı koordinatı vardır: üçü konum koordinatları x, y, z ve üçü boyutsuz momentum bileşenleri $(\beta\gamma)_x$, $(\beta\gamma)_y$ ve $(\beta\gamma)_z$. Referans parçacığın başlangıçtaki z koordinatı ve kinetik enerjisi RUN kod satırında belirlenir ve geri kalan diğer dört koordinat başlangıçta sıfırdır.

Parmela sadece tek bir referans parçacık ile çalıştırılabilir. Eğer daha çok parçacık varsa sonraki INPUT kod satırı, başlangıç koordinatlarını belirler. Program aynı zamanda, üç farklı parçacığı taşıyabilir. CHARGE kod satırı, kendinden sonraki

INPUT kod satırları için parçacık türlerinden birini seçebilir. Dinamik hesaplamalar START veya RESTART kod satırları ile başlar.

N_T , hesaplamanın başlangıcındaki parçacıkların toplam sayısı ve N_G , hesaplamalarda bulunan parçacık sayılarıdır. Parçacık bu durumlarda kaybolabilir:

1. enine koordinatları bir elemanın R_a radyal açıklığından daha büyük olduğunda ve
2. parçacığın referans parçacığından Z_{Limit} değerinden daha geride kaldığında.

Parmela kodunu başlamak için “ .ACC “ uzatması olan giriş dosyasının üzerinde çift tıklanılır veya komut satırında, Parmela dosya adı yazılabilir. Parmela, anahtar kelimeler ve parametreleri bir metin dosyasından okur. Anahtar kelimedenden sonra boşluk, virgül veya eşittir işareti ve daha sonra maksimum 300 parametre yerleştirilebilir. Parametreler boşluk ya da virgül ile birbirinden ayrılır. Anahtar kelimedenden sonraki yazılan karakterlere eğer sayı değillerse kod tarafından önem verilmez, sayı değerleri üstel gösterimde de kullanılabilir. Açıklamalar her satırda yazılabilir. Kod, noktalı virgül, virgül veya ünlem işaretlerden sonraki tüm metinleri önemsemez.

Programın giriş dosyası için birkaç genel kural geçerlidir:

RUN kod satırı ilk satırda yazılmalıdır. COIL, Poisson, INPUT, OUTPUT ve ERRORS kod satırları START kod satırından daha önce yazılmalıdır. Eğer CATHODE elemanı yazılacaksa giriş dosyasında ilk eleman olmalıdır. Tek istisnası, başlangıç demet koordinatlarını çıktı dosyasında belirlemek amacıyla, sıfır uzunluğunda DIRIFT elemanıdır. CHARGE kod satırı INPUT kod satırından daha önce olmalıdır. Her CHARGE kod satırı kendinden sonraki INPUT kod satırlarının özelliklerini değiştirir. CFIELD kod satırı CELL veya DTCELL kod satırlarından daha sonra olmalıdır. TITLE, SCHEFF, SPCH3D ve ADJUST kod satırları START, RESTART veya CONTINUE kod satırlarının birinden daha önce olmalıdır.

RUN kod satırı, genel parametreleri tanımlar:

RUN *çalıştırma sayısı, çıktı etiketi, f_0 , Z_0 , W_0 , linak türü, m_1c^2 , m_2c^2 , m_3c^2*

Eğer *çalıştırma sayısı* 1000 den büyük ise elemanların maksimum sayısını belirler. *çıkı etiketi* eğer sıfır değilse giriş kod satırları çıktı dosyasında hatırlanacak. f_0 , linak için MHZ birimindeki rf frekansdır. Z_0 , cm biriminde referans parçacığın başlangıç konumudur. İlk elemanın başlangıç konumu her zaman $z = 0$ dır. W_0 , referans parçacığın MeV mertebesinde kinetik enerjisidir. *linak türü*, yaygın linak kavitelemlerini belirler. Eğer alan değerlerini belirlemek için CFIELD kod satırı kullanılacaksa veya Fourier katsayıları, CELL kod satırında belirlenecekse *linak türü* değeri önemli değildir. Parçacıkların durgun enerjileri MeV biriminde mc^2 parametreleri olarak verilmektedir.

TITLE kod satırı, 80 karakterli başlık satırını belirler.

CATHODE kod satırı, küresel yüzeyi olan bir fotokatodu tanımlar:

CATHODE 0, R_a , *çıkı etiketi*, $R_{cathode}$, KT

$R_{cathode}$, küresel katotun eğrilik yarıçapı olup, cm birimindedir. Parmela için katot sıfır uzunluğunda ve $z = 0$ konumunda yerleşmiş olan bir elemandır. $R_{cathode}$, pozitif ise katotun eğrilik merkezi, pozitif z konumunda, negatif ise katotun eğrilik merkezi negatif z konumundadır. $R_{cathode}$ 'un sıfır değeri ise katotun düz olmasına işaret eder. KT parametresi eV biriminde katot sıcaklığıdır ve eğer belirlenmemişse tüm parçacıklar katot yüzeyine dik, RUN kod satırındaki W_0 enerjisi ile katodu terk eder. KT değeri W_0 den daha fazla *olmamalıdır*.

DRIFT kod satırı, L uzunluğunda ve R_a radyal açıklığında bir boşluğu cm biriminde belirler:

DRIFT L , R_a , *çıkı etiketi*

COIL kod satırı, arka plandaki solenoitsel manyetik alanı tanımlar:

COIL Z_C , R_C , I_C , Z_{min} , Z_{max}

Z_C , cm biriminde spiral boylamasına konumu ve R_C , cm biriminde spiral yarıçapı ve I_C amper biriminde toplam akımı göstermektedir. Z_{min} ve Z_{max} arka plandaki alanın uygulanan minimum ve maksimum z koordinatlarıdır.

SOLENOID kod satırı, Gauss biriminde, B manyetik alanlı bir selenoid merceği belirler:

SOLENOID L, R_a, *çıkı etiketi*, B

QUAD kod satırı, Gauss/cm biriminde B' manyetik alan gradientine sahip bir kuadrupol merceğini göstermektedir:

QUAD L, R_a, *çıkı etiketi*, B'

CELL kod satırı, rf linak için tek bir hücrenin özelliklerini belirler:

CELL L, R_a, *çıkı etiketi*, ϕ_0 , E₀, *hücre tipi*, $\Delta\Phi_{\max}$, *biçim*, f_{Cell}, *linak tipi*, B, C(1), ..., C(14)

Simetrik tam hücre için *biçim* sıfır ve L tam hücre uzunluğudur. Eğer hücrenin sadece sağ ya da sol kısmı belirlenecekse *biçim* 1 ya da -1 ve L yarım hücre uzunluğudur. Hücrenin esas saate göre fazı ϕ_0 derece birimindedir. f₀, RUN kod satırındaki link için tanımlanan rf frekansı ve Φ esas saatin fazıdır. E₀, hücrenin MV/m biriminde ortalama elektrik alanıdır. *hücre tipi*, rf alan verilerini tanımlayan bir indekstir. tüm elemanlar için kullanılan esas zaman adımı ya da faz adımı START kod satırındaki tanımlanan derece biriminde $\Delta\Phi$ dir. $\Delta\Phi_{\max}$ maksimum integralleme adım büyüklüğü eğer $\Delta\Phi$ den daha küçük ise $\Delta\Phi_{\max}$ değeri hücre için faz adımı büyüklüğü olarak kullanılacaktır. C(1), ..., C(14) Fourier katsayıları EFLD programı tarafından hesaplanabilir.

linak tipi, “disk-and-washer” yapısı için 1, “side-coupled” kavitesi için 2 ve “race-track microtron side-coupled” kavitesi için 6 değerindedir. CFIELD kod satırı Fourier katsayılarını elde etmek için her hücre tipinin gerçek alan değerlerini okuyabilir. *linak tipi* değeri sıfır ise Parmela, RUN kod satırındaki *linak tipi* değerini kullanır. Fourier katsayıları eğer CELL kod satırında yazılmazsa Parmela, *hücre tipi* ve *linak tipi* için varsayılan Fourier katsayılarını kullanacaktır.

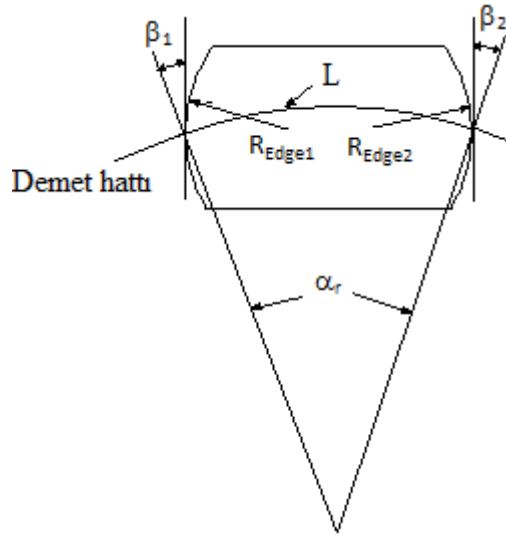
CELL2 kod satırı, aynı anda iki frekans için uyarılmış bir rf kavitenin tek hücreni belirler:

CELL2 L, R_a, *çıkı etiketi*, $\phi_{0,1}$, E_{0,1}, *hücre tipi1*, f_{Cell,1}, $\phi_{0,2}$, E_{0,2}, *hücre tipi2*, f_{Cell,2}, *biçim*

BEND kod satırı, x yönünde parçacık demetini bükten bir dipol magneti belirler:

BEND L , R_a , *çıkış etiketi*, W_r , α_r , β_1 , β_2 , ψ_1 , ψ_2 , R_{Edge1} , R_{Edge2} , K_1 , $g/2$, K_2

BEND kod satırındaki parametreler, referans yörüngeyi tanımlarlar. L , referans yörünge uzunluğudur. R_a , magnetin eğme düzlemindeki yatay açıklığıdır. Bu kod satırında açıklık dairesel olmayabilir ve dikey boşluğun yüksekliğinin yarısı $g/2$ olarak tanımlanır.



Şekil 3.6 Eğici magnetin geometrik parametreleri

W_r , referans parçacığın enerjisi ve α_r , derece biriminde, referans yörünge bükülme açısıdır. α_r değeri pozitif ve +x doğrultusundaki bükmeye işaret eder. Eğer başka doğrultuda yörünge eğilmesi gerekiyorsa ROTATE kod satırı, BEND kod satırından önce ve sonra kullanılmalıdır. BEND kod satırındaki açılar derece birimindedir.

CFIELD kod satırı, rf alan verilerini, giriş dosyasında kendinden sonra yazılmış olan dosyadan okur. İki boyutlu alan haritası Superfish programı SF7 den “.T7” uzantısı ile üretilir:

Cfield *hücre tipi*

dosya adı

Üç boyutlu alan haritası, ThreeDin programından elde edilir ya da metin dosyası olarak, ikili dosya formatında yazılabilir:

Cfield *hücre tipi* , 3

dosya adı

ROTATE kod satırı, demet eksenini etrafında koordinatları döndürür:

ROTATE 0, R_a , *çıkış etiketi*, θ_R

θ_R , derece biriminde, dönme açısıdır.

TRWAVE kod satırı, yürüyen alan dalgaları olan linakta parametreleri tanımlar:

TRWAVE L, R_a , *çıkış etiketi*, ϕ_0 , E_0T , *TRW çok hücreli sayısı*, $\Delta\Phi_{\max}$, f_{TR} , *TRW hücre tipi*, N_L , N_U , *faz aralığı*, *TRW hücre sayısı*, *TRW çıktısı*, Z_1 , Z_2 , R_1 , R_2 , $\Delta\phi$, $C(N_L:N_U)$

İlk TRWAVE kod satırından sonra *hücre sayısı* kadar TRWAVE kod satırı yazılmalıdır.

İlk TRWAVE kod satırında, ϕ_0 çok hücrelinin fazıdır. Tüm TRWAVE kod satırlarında, f_{TR} , MHz birimindeki frekans aynı değerde olmalıdır. EFLDTR programı, Superfish programı tarafından hesaplanan alan değerlerini okur ve Fourier katsayılarını TRWAVE kod satırı için elde eder. N_L ve N_U parametreleri $C(N_L:N_U)$ Fourier katsayıları dizisinin alt ve üst boyutlarıdır. E_0T , MV/m biriminde, ortalama eksensel elektrik alan E ve geçiş zaman faktörü T değerlerinin çarpımıdır. *faz aralığı*, π radyan biriminde hücre başına faz değişmesidir. *TRW çok hücreli sayısı*, çok hücreliyi tanımlayan ve özgün bir sayıdır. *TRW hücre tipi*, her tip “traveling-wave” hücre için özgün bir sayıdır.

TRWCFIELD kod satırı, Superfish programının hazırladığı alan değerlerini, “traveling-wave” hücreleri için okur:

TRWCField *hücre tipi*

dosya adı 1

dosya adı 2

TRWCFIELD kod satırı, sadece iki boyutlu alan haritalarını okuyabilir. birinci dosya, alan değerlerinin cos-benzeri ve ikinci dosya sin-benzeri çözümleridir.

SEKSTUPOL kod satırı, sekstupol merceğini tanımlar:

SEXTUPOLE L, R_a , *çıktı etiketi*, B/R_a^2

B/R_a^2 , Gauss/cm² biriminde, sekstupolun kuvvetidir.

ZOUT kod satırı, elemanların ad ve konumlarının listesini yazıp TRWAVE kod satırının kullanabileceği ve rf alanları içeren Tablplot giriş dosyalarını da üretebilir.

ZOUT $N_{\text{Print}}, \Delta\phi, Z_1, Z_2, X_1, Y_1, X_2, Y_2$

İlk beş parametre rf alan verilerini Tablplot giriş dosyasına yazmak içindir. N_{Print} , rf alan değerlerinin yazılacağı, rf kavitesi boyunca Z_1 ve Z_2 uç konumları arasındaki z konumlarının sayısıdır. $\Delta\phi$, çıktı dosyalarının fazları arasındaki değişimdir. Alanlar için X_1, Y_1 ve X_2, Y_2 iki grup enine koordinat olarak tanımlanabilir. Eğer X_2, Y_2 sıfırsa

veya yazılmazsa alan değerleri 0,0 ve X_1, Y_1 koordinatlarında yazılır. Eğer $\Delta\phi$ sıfır değilse ZOUT kod satırı rf fazını $\Delta\phi$ kadar değiştirip 360 dereceyi tamamlayacak sayıda Tablplot dosyaları üretecek. ZOUT kod satırı, demet hattındaki elemanları tanımlayan anahtar kelimelerin hepsinden sonra olmalıdır. Bu kod satırı, Parmela' nın çıktı dosyası olarak OUTPAR.TXT dosyasında her demet hattı anahtar kelimesinden sonra demet hattındaki elemanların konum ve tiplerini de belirler.

CHARGE kod satırı, parçacıkların yük ve türünü belirler:

CHARGE *yük, parçacık türü*

Ağır parçacıkların yükü -127 den +127 ye kadar değişebilir. *Parçacık türü* 1, 2 veya 3 sayıları olabilir. Bu sayılar, RUN kod satırındaki durgun enerjileri belirlenmiş olan üç parçacık türüne işaret eder. Bu kod satırı, Parmela giriş dosyasında olmadığında yük değeri +1 ve parçacığın elektron olduğu varsayılır.

INPUT kod satırı, demet parametrelerini belirler ve genelde bu formatlardadır:

INPUT *tip*, $N_A, \alpha_x, \beta_x, \epsilon_x, \alpha_y, \beta_y, \epsilon_y, \alpha_z, \beta_z, \epsilon_z, \delta x, \delta x', \delta y, \delta y', \delta\phi, \delta W$

INPUT *tip*, $N_A, \alpha_x, \beta_x, \epsilon_x, \alpha_y, \beta_y, \epsilon_y, \Delta\phi, \Delta W, 0, \delta x, \delta x', \delta y, \delta y', \delta\phi, \delta W$

Her INPUT kod satırı, parçacık demetine N_A parçacık ilave eder. İlave olan parçacıkların kütle ve yükleri, bu kod satırından önceki en son CHARGE kod satırından belirlenir. Sonraki altı parametre, $x-x'$ ve $y-y'$ faz düzlemlerinin enine α, β ve ϵ

Twiss parametreleridir. α değerleri boyutsuz, β değerleri, cm/radyan ve normalize olmayan emittans ε terimleri cm.radian birimlerindedirler.

ikinci yöntem için $\varepsilon_z = 0$ ve $\Delta\phi$, derece biriminde, yarım faz genişliği ve ΔW , MeV biriminde, yarım enerji genişliğidir. Parmela, $\pm\Delta\phi$ aralığında her parçacık için bir faz seçer ve faz değerine uygun z_i yer değiştirmesini hesaplar. Sonuç olarak, parçacığın boyuna konumu $z = Z_0 + z_i$ olarak elde edilir. Burada Z_0 , RUN kod satırındaki referans parçacığın başlangıçtaki boyuna konumudur. Aynı yöntem ile Parmela, $\pm\Delta W$ enerji aralığında, bir enerji değişimi seçip RUN kod satırındaki W_0 referans parçacığının enerjisine ilave ederek parçacığın $(\beta\gamma)_z$ değerini hesaplar. δx ve δy parçacık dağılımının cm birimindeki uzaysal yer değiştirmeleri, $\delta x'$ ve $\delta y'$ ıraksama koordinatında, miliradyan birimindeki değişimlerdir. $\delta\phi$, derece biriminde faz değişimi ve δW , MeV biriminde, enerji değişimidir.

Tipi 0 olan INPUT kod satırı ISIS programının ürettiği dosyadan dağılım verilerini okur:

INPUT 0, N_A

Tipi 3 olan INPUT kod satırı EGUN programının ürettiği dosyadan dağılım verilerini okur:

INPUT 3, N_A , *satır sayısı*, $\Delta\phi$, *ağ büyüklüğü*

N_A , EGUN verilerinin her satırının ürettiği parçacık sayısıdır. *satır sayısı*, EGUN dosyasından okunacak satır sayısı ve $\Delta\phi$ derece biriminde faz yayılımıdır. *ağ büyüklüğü*, cm biriminde, EGUN ağının büyüklüğüdür.

Tipi 4 olan INPUT kod satırı, tek bir parçacığın konumunu 6 faz-uzay koordinatı ile belirler:

INPUT 4, $x, x', y, y', \Delta\phi, \Delta W$

$\Delta\phi$ ve ΔW parametreleri referans parçacığa göre hesaplanırlar.

Tipi 40 olan INPUT kod satırı, belirlenen veri satırı sayısında, her satır bir parçacık için, bir metin dosyasından parçacıkların konumunu 6 faz-uzay koordinatı ile belirler:

INPUT 40, *satır sayısı*

Tipi 8 veya 80 olan INPUT kod satırları, üç uzaysal yönde rastgele olarak düzgün dağıtılmış N_A parçacığı demete ilave eder:

INPUT 8, $N_A, \alpha_x, \beta_x, \epsilon_x, \alpha_y, \beta_y, \epsilon_y, \Delta\phi, \Delta W, 0, \delta x, \delta x', \delta y, \delta y', \delta\phi, \delta W$

INPUT 80, $N_A, \alpha_x, \beta_x, \epsilon_x, \alpha_y, \beta_y, \epsilon_y, \Delta\phi, \Delta W, 0, \delta x, \delta x', \delta y, \delta y', \delta\phi, \delta W$

Parçacıkların ıraksama koordinatları x', y' ve z' her faz uzayı elipsinde rastgele olarak seçilir. Parmela, boyuna z and z' koordinatlarını, ϕ ve W , faz ve enerjiye dönüştürür.

Tipi 9 olan INPUT kod satırı, enine yönlerde aynı genişlikte olan guass dağılımına ve faz için farklı bir guass dağılımına işaret eder. Burada enerji yayılımı ile x' ve y' enine ıraksama koordinatlarının hepsi sıfırdır.

INPUT 9, $N_A, \sigma_r, r_{\max}, \sigma_\phi, \phi_{\max}, \delta\phi, N_{b1}, N_{b2}, \delta x, \delta y, x_{\max}/y_{\max}$

σ_r ve $r_{\max}$ parametrelerin birimi cm ve $\sigma_\phi, \phi_{\max}$ ve faz farkı $\delta\phi$ değişkenlerin birimleri derecedir. δx ve δy enine yer değiştirmelerinin birimleri cm dir. σ_r ve σ_ϕ , demetin guass dağılımı için RMS değerleridir ve $r_{\max}$ guass dağılımının radyal limit değeridir. $x_{\max}$ ve $y_{\max}$, parçacıkların Eliptik kesit alanlarının enine limit koordinatlarıdır. N_{b1} ve N_{b2} , parçacıkların radyal ve azimut konumları için rastgele seçme yöntemlerini belirler.

POISSON kod satırı, kendinden sonra adı yazılmış olan dosyadan iki boyutlu statik alan haritasını Parmela için temin eder:

Poisson $Z_{\text{off}}, \text{çarpan}, X_{\text{off}}, Y_{\text{off}}, \delta\theta_x, \delta\theta_y, \text{dosya türü}, \text{harita sayısı}$

dosya adı

dosya türü elektrostatik alan haritası için 1 ve manyetik alan haritası için sıfırdır ve *harita sayısı* aynı *dosya türünün* bağımsız alan haritası için özgün tanımlayıcı bir sayıdır. Z_{off} , demet hattında alanın boyuna konumunu belirler. Alan *çarpanı*, alan değerinin katsayısı olarak alan değerini belirler. X_{off} ve Y_{off} cm biriminde manyetik eksenlerin demet eksenlerinden yerdeğiştirmelerdir ve $\delta\theta_x$ ve $\delta\theta_y$ değerleri açısal hizalanma hataları mrad birimindedir.

SPCH3D kod satırı, 3 boyutlu uzay yükü hesaplamalarını gerçekleştirir:

SPCH3D $N_x, N_y, N_z, X_{\max}, Y_{\max}, Z_{\max}$

N_x, N_y ve N_z değişkenleri üç şebeke eksenleri boyunca ağ noktalarının sayısını çift sayı değerinde belirlerler ve en az 8 değerinde olabilirler. $X_{\max}, Y_{\max}$ ve $Z_{\max}$ değişkenleri şebeke eksenlerinin fiziksel boyutlarını $\pm X_{\max}, \pm Y_{\max}, \pm Z_{\max}$ olarak belirler.

OUTPUT kod satırı, çıktı tipini belirler. Bu kod satırı giriş dosyasında sadece bir kez START kod satırından önce yazılmalıdır:

OUTPUT *çıkı tipi*

çıkı tipi için tavsiye edilen değer 5 tir. Bu seçenek bir Pargraf dosyası üretip sonuçları grafiksel kontrol eder. *çıkı tipi* 1 ve 4 arasında bir sayı ise verileri metin dosyalarında üretir, dolayısıyla sonuçları görüntülemek için Pargraf kullanılamaz. *çıkı tipi* 5 ise Pargraf dosyası için çalıştırılabilir iki dosya daha yazılır. TAPE2.T2 dosyası, elemanların son konumunda, parçacıkların koordinatlarını belirler ve TAPE3.T3 dosyası, benzer verileri, belirlenmiş her zaman adımının sonunda yazar.

SCHEFF kod satırı, uzay yükü atmaları hesaplarının gerekli parametrelerini tanımlar:

SCHEFF $I_T, \Delta R_{SC}, \Delta Z_{SC}, N_R, N_Z, N_{\text{Bunch}}, L_{\text{Bunch}}, \text{halka seçeneği}, \text{ağ faktörü}, R_{\text{Wall}}, b I_T$, amper biriminde, her parçacığın yükü +1 varsayılırsa parçacıklar demetinin akımıdır, ayrıca bir rf periyodu süresindeki ortalama akıma da işaret eder. ΔR_{SC} ve ΔZ_{SC} laboratuvar çerçevesinde, cm biriminde, ağ bölgesinin radyal ve boylamsal uzunluklarıdır. N_R ve N_Z bu yönlerdeki ağ aralıklarının sayısıdır. N_{Bunch} , hesaplamada dahil olan bitişik boylamsal paketçik sayısıdır. L_{Bunch} paketçikler arasındaki mesafedir ve eğer sıfırsa varsayılan değeri ΔZ_{SC} dir.

Halka seçeneği sonsuz küçük yük halkalarının sayısını kontrol eder. Eğer *halka seçeneği* çift sayı ise radyal ağ aralıkları, daha küçük r değerleri için daha küçük aralıklar düzenler ve tek sayı olan *halka seçeneği* için ağ aralıkları eşittir. Eğer *halka seçeneği* 4,5,7 ya da 9 ise, $z = 0$ konumunda bir metal duvar varsayarak görüntü yükü hesaplar. *halka seçeneği* 9 ise parçacıklar boylamsal ağın dışında olduğunda ağ otomatik olarak uzatılır. *ağ faktörü*, SCHEFF kod satırının space-charge rutininin hangi sıklıkta yeniden ağ oluşturacağını belirler. R_{Wall} terimi iletken duvarın yarıçapıdır. R_{Wall} sıfır olmadığında SCHEFF hesaplamaları duvardaki görüntü yüklerini

de içerir ve sıfır olduğunda iletken duvarın etkisi ihmal edilir ve b parametresi *uzay yükü* hesaplamalarının türünü bilirler.

START kod satırı demet dinamiği hesaplamasını başlatır:

START Φ_0 , $\Delta\Phi$, *adımlar sayısı*, *uzay yükü adımları*, *çıktı adımları*

Φ_0 , derece biriminde, dinamik hesaplamanın başlangıç faz açısıdır ve $\Delta\Phi$, derece biriminde, integralleme adımı büyüklüğüdür. *Adımlar sayısı* integralleme adımların sayısı ve *uzay yükü adımları* uzay yükü atmalar arasındaki adımlar sayısıdır. Bu kod satırından sonra Parmela, Φ esas saatin fazını, başlangıç Φ_0 değerine eşitler. Tüm parçacıklar sistemin son elemanından çıktıktan sonra ya da *adımlar sayısı* kadar adım geçtikten sonra dinamik hesaplamalar durdurulur.

CONTINUE kod satırından sonra hesaplamalar CONTINUE kod satırındaki $\Delta\Phi$, *adımlar sayısı*, *uzay yükü adımları* ve *çıktı adımları* değerlerini değiştirerek yeniden başlar:

CONTINUE $\Delta\Phi$, *adımlar sayısı*, *uzay yükü adımları*, *çıktı adımları*, ΔZ_{Ref}

Bu kod satırı, ardışık SAVE ve RESTART kod satırları ile aynı işlemi yapar ve giriş dosyasında sadece START ya da RESTART kod satırlarından sonra yazılabilir. ΔZ_{Ref} , referans parçacığın z konumunun değişimidir.

SAVE ve RESTART kod satırları, kaydedilmiş parçacık koordinatları kullanarak hesaplamaları başlatırlar:

SAVE *kayıt sayısı*

RESTART $\Delta\Phi$, *adımlar sayısı*, *uzay yükü adımları*, *çıktı adımları*, ΔZ_{Ref} , *kayıt sayısı*

SAVE kod satırı, tüm parçacıkların koordinatlarını, RESTART kod satırının kullanılması için bir dosyada kaydeder ve START, CONTINUE veya RESTART kod satırlarından sonra yazılır. RESTART kod satırı, START kod satırındaki parametrelere ilave olarak, ΔZ_{Ref} ve *kayıt sayısı* değerlerini de içerir.

ZLimit kod satırı, referans parçacığın konumundan, Z_{Limit} değerinden daha büyük mesafede geride kalan parçacıkları hesaplama işleminden çıkarır:

Z_{Limit} Z_{Limit}

Z_{Limit} , cm birimindedir.

WIGGLER kod satırı, serbest-elektron-lazer wiggleri tanımlar:

WIGGLER L , R_a , *birinci çıktı etiketi*, *Wigglerin Periyot sayısı*, *periyot başına integralleme adımlar sayısı*, B , K_y/K_w , 0, 0, *ikinci çıktı etiketi*

B manyetik alanı, Gauss birimindedir. Eğer *ikinci çıktı etiketi* sıfır değilse her integralleme adımından sonra x , y ve z koordinatları ve $(\beta\gamma)_x$, $(\beta\gamma)_y$ ve $(\beta\gamma)_z$ momentum bileşenleri kod tarafından belirlenir. END kod satırı, giriş dosyanın sonunu belirleyip Parmela kodunun çalışmasını durdurur (Schmidt 2003).

4. BULGULAR

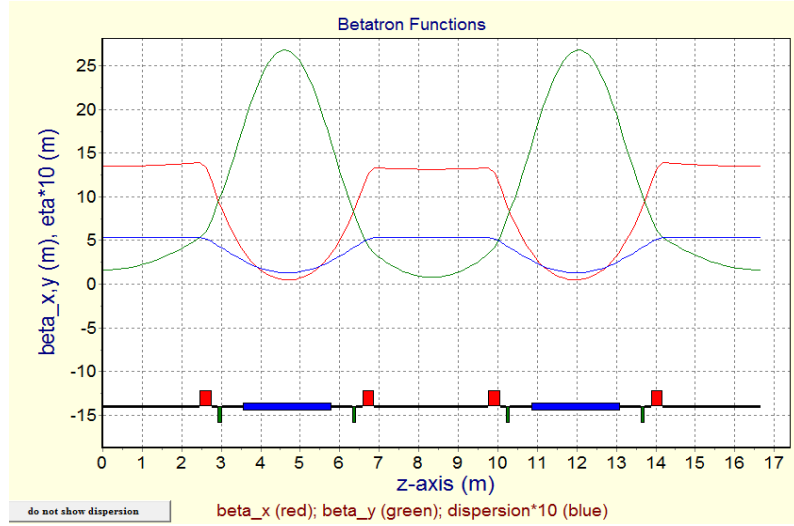
Bulgular kısmında dairesel hızlandırıcı örnekleri olarak yapım aşamasında olan Ürdündeki üçüncü nesil ışınım kaynağı sinkrotronu ve ortadoğu'nun ilk büyük uluslararası araştırma merkezi, SESAME (Synchrotron-light for Experimental Science and Application in the Middle East) ve aynı enerji mertebesinde tasarlanan FODO hücreli bir ışınım kaynağı sinkrotronundaki demet dinamiği parametreleri BEAM OPTICS ve MAD-X programları ile incelendikten sonra doğrusal hızlandırıcı örneği olarak TARLA (Türk Hızlandırıcı Merkezi Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri) tesisinin düşük enerji bölgesi için PARMELA programını kullanarak, enine demet ebatı değerlerini çıkış konumunda minimum yapacak şekilde uygun solenoid alan değeri araştırılacaktır.

Çizelge 4.1 SESAME depolama halkasının hücre yapısı (Vignola 2004)

	Eleman	Uzunluk(m)	$\theta(\text{rad})$	$\rho(\text{m})$	$k(\text{m}^{-2})$	$m(\text{m}^{-3})$
1	D1	2.27				
2	S1	1e-7				0.823964 e7
3	D2	.2				
4	Q1	.3			1.9902	
5	D3	.15				
6	Q2	.1			-0.996112	
7	D4	.2				
8	S2	1e-7				-1.33439 e7
9	D5	.33				
10	ED1	0	0.196349	5.72958		
11	BM	2.25	0.392699	5.72958	-0.33508	
12	ED2	0	0.196349	5.72958		
13	D6	.33				
14	S2	1e-7				-1.33439 e7
15	D7	.2				
16	Q2	.1			-0.996112	
17	D8	0.15				
18	Q1	0.3			1.9902	
19	D9	0.2				
20	S1	1e-7				0.823964 e7
21	D10	1.245				

4.1 SESAME Işınım Kaynağında Yüklü Parçacık Demet Dinamiğinin BEAM OPTICS Programında Modellenmesi

SESAME örgüsü için BEAM OPTICS programından elde edilen demet dinamiği grafikler ve parametreleri bu şekildedirler:



Şekil 4.1 enine yatay ve dikey beta ve dispersiyon fonksiyonları

Çizelge 4.2 SESAME örgüsünün bir periyodu için dönüşüm matrisi

x-Matrix by Print
6x6 transformation matrix for one period

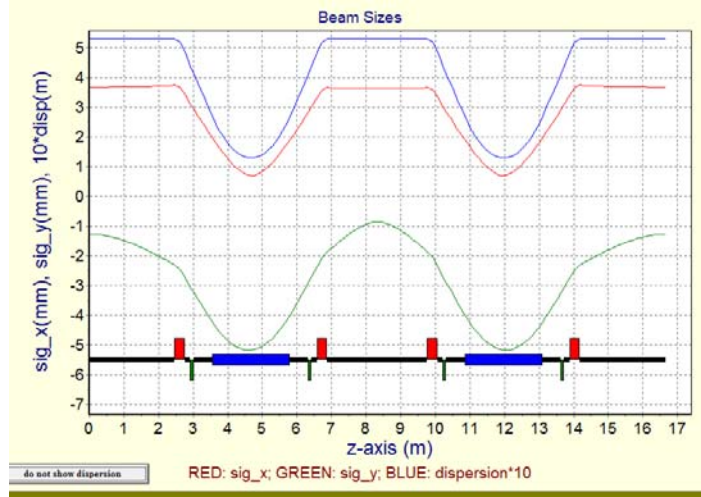
0,82265	-7,66787	0,00000	0,00000	0,00000	0,09424
0,15639	-0,24213	0,00000	0,00000	0,00000	-0,00931
0,00000	0,00000	0,16282	-1,60911	0,00000	0,00000
0,00000	0,00000	0,58210	0,38898	0,00000	0,00000
0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000
0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000

Çizelge 4.3 Enine yatay ve dikey beta ve dispersiyon fonksiyonların örgünün başlangıç konumundaki değeri

specify lattice functions

x-plane	y-plane
β_o : 13,48685	1,63087 m
α_o : 0,00000	0,00000
η_o : 0,53140 m	
η'_o : 0,00000	
δ : 0,0 %	

use



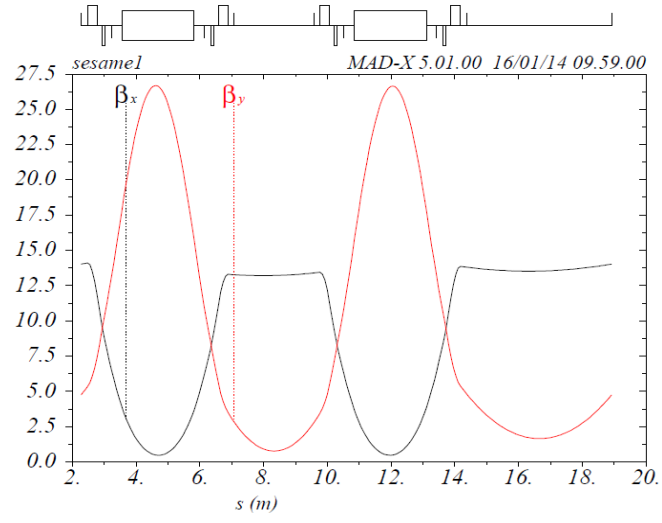
Şekil 4.2 Enine yatay ve dikey doğrultulardaki demet zarfı fonksiyonları

Çizelge 4.4 SESAME örgü elemanlarının başlangıç konumlarındaki demet dinamiği parametreleri

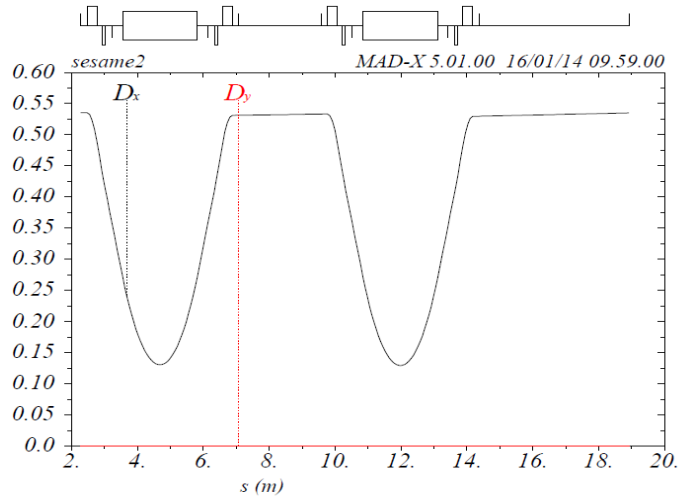
Name	sig_x(mm)	betax(m)	dnuex	eta(m)	etap(mr)	sig_y(mm)	betay(m)	dnuex	s(m)
Start	3,672	13,484	0,000	0,531	0,000	1,277	1,631	0,000	0,000
D1	3,724	13,866	0,027	0,531	0,000	2,189	4,791	0,151	2,270
S1	3,724	13,866	0,027	0,531	0,000	2,189	4,791	0,151	2,270
Name	3,733	13,936	0,029	0,531	0,000	2,318	5,372	0,157	2,470
Q1	3,419	11,689	0,032	0,485	-0,308	2,734	7,473	0,165	2,770
Name	3,102	9,625	0,035	0,438	-0,308	3,058	9,351	0,168	2,920
Name	2,907	8,450	0,036	0,410	-0,266	3,259	10,621	0,169	3,020
Name	2,547	6,486	0,041	0,357	-0,266	3,630	13,179	0,172	3,220
Name	2,547	6,486	0,041	0,357	-0,266	3,630	13,179	0,172	3,220
Name	1,959	3,837	0,051	0,269	-0,266	4,244	18,015	0,175	3,550
Name	1,899	3,606	0,411	0,269	0,266	4,001	16,006	0,191	5,800

4.2 SESAME Işınım Kaynağında Yüklü Parçacık Demet Dinamiğinin MAD-X Programında Modellenmesi

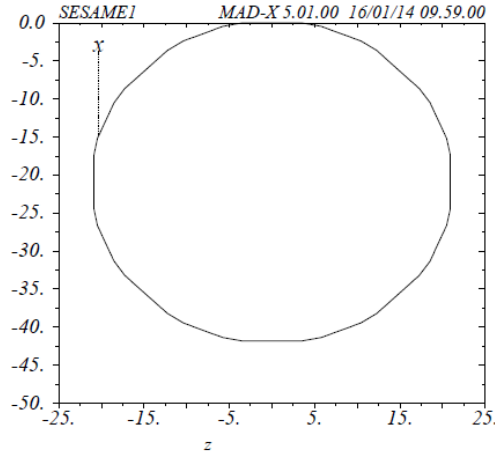
SESAME örgüsü için EK 1, sesame.seq ve EK 2, sesame.madx MAD-X dosyalarından elde edilen çıktı grafikleri bu şekildedirler:



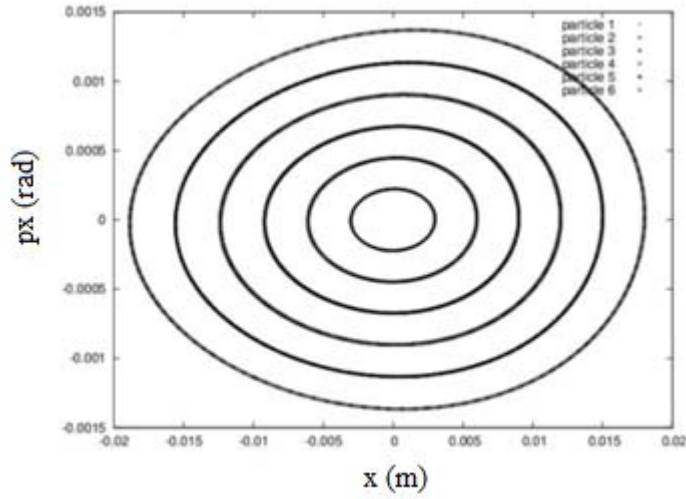
Şekil 4.3 SESAME örgüsünün enine yatay ve dikey beta fonksiyonları



Şekil 4.4 SESAME örgüsünün enine yatay ve dikey dispersiyon fonksiyonu



Şekil 4.5 SESAME halkasının geometrik durumu



Şekil 4.6 SESAME halkasında 6 farklı konumdaki parçacıkların, 1000 tur dolanım için EK 3, gnuplot programında track verileri çizilen Faz uzayı grafiği

EK 1 ve EK 2 olarak MAD-X programlarından elde edilen SESAME ışınım kaynağı sinkrotronun emittans değeri $8.4919 \pi \text{ nm.rad}$ veya 26.67 nm.rad dır.

4.3 2,5 GeV Enerjili ve FODO Hücreli Ana Halka Parametrelerinin Hesaplanması

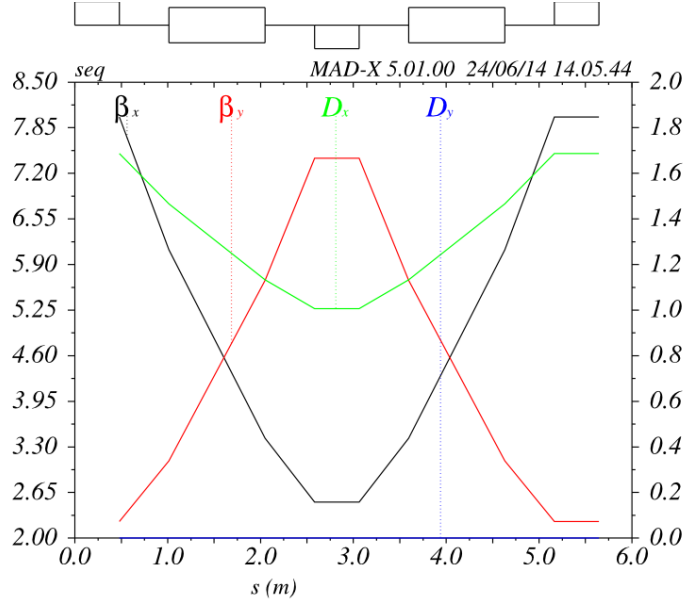
Emittansın azalması için dispersiyonun da azalması gerektiğinden dolayı eğici magnetlerin eğime açısının küçük olması daha uygundur. Burada 36 bending magnet, her biri 10 derece ($\varphi = 0.17453 \text{ rad}$) eğime kuvvetine sahip kullanılabilir.

2.5 GeV parçacık enerjisi olan tipik halkalardaki gibi eğer her eğici magnetin alan şiddeti, 1,4085 T ise, (2.5) denkleminde her eğici magnetin eğime yarıçapı 5.92 m elde edilir. Buradan $l = \rho\varphi$ eşitliğinden her bending magnetin uzunluğu 1.0333 m elde edilir.

İki eğici magnetin arasında bu değerin tipik olarak yaklaşık 1.5 katı aralık olduğundan FODO hücreleri olan halka için yarım hücre uzunluğu her eğici magnetin uzunluğunun 2.5 katı, 2.5832 m olarak elde edilir. Buradan halkanın çevresi bu değerin 36 katı, 92.9975 m elde edilir.

FODO hücresi için beta fonksiyonunun odaklayıcı konumundaki (maksimum) değeri, hücre başına faz ilerlemesi $\mu = 76.35$ derece olabilmesi ise minimum değere ulaşabilir (Roosbach ve Schmüser 1994).

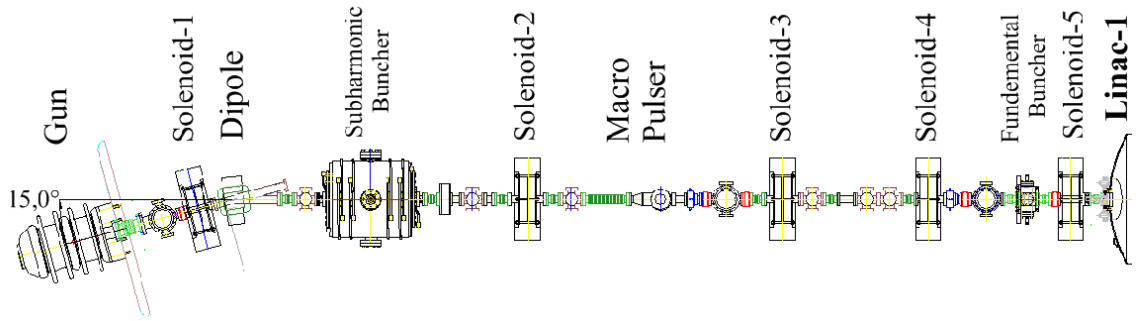
Buradan $\sin \frac{\mu}{2} = l / (2f)$ eşitliğinden ve bu halka için l yarım hücre uzunluğu 2.5832 m olduğundan, f kuadropol odak uzunluğu, 2.09 m olması gerekir. Burada tipik kuadropolun kuvveti 1 m^{-2} değerinde ise kuadropol uzunluğu, $\frac{1}{f} = K \cdot l$ ifadesinden, $l = 0,4784 \text{ m}$ olarak elde edilir. EK 4 olarak MAD-X programından bu halka için elde edilen emittans değeri $728.7122 \pi \cdot \text{nm} \cdot \text{rad}$ veya $2.289 \mu\text{m} \cdot \text{rad}$ dır.



Şekil 4.7 FODO örgüsünün enine yatay ve dikey, beta ve dispersiyon fonksiyonları

4.4 TARLA Tesisinin Düşük Enerji Bölgesi İçin Demet Dinamiği

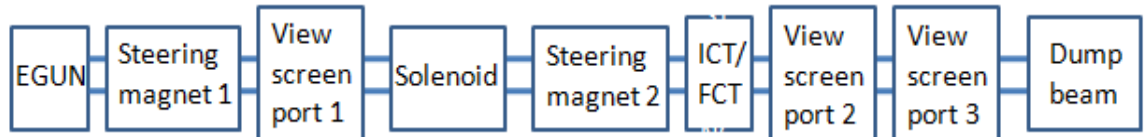
Kalkınma Bakanlığı desteği ile Türk Hızlandırıcı Merkezi Projesi kapsamında kurulması planlanan TARLA tesisinde elektron demeti iki adet süperiletken RF kavite aracılığı ile hızlandırılacaktır. Elektron demetinin enerjisi ilk hızlandırıcı modülden geçtikten sonra 15 MeV'e çıkacaktır, ikinci hızlandırıcı modülden sonra demetin enerjisi 40 MeV'e kadar ulaşacaktır (Özkorucuklu vd. 2011). Elde edilen elektron demetinin salındırııcılardan geçirilmesi ile serbest elektron lazeri elde edilecektir. Elde edilen serbest elektron lazeri biri diagnostik laboratuvarı olmak üzere 5 adet kullanıcı laboratuvarında kullanılacaktır (Arıkan 2012). TARLA tesisinin enjektörü esasta 250 kV , DC termiyonik elektron tabancasından sonra 260 MHz ve 1.3 GHz buncher kaviteler, 5 solenoid ve bir dipolden oluşur (Aksoy 2012).



Şekil 4.8 TARLA tesisinin enjektör yapısı (Aksoy 2012)

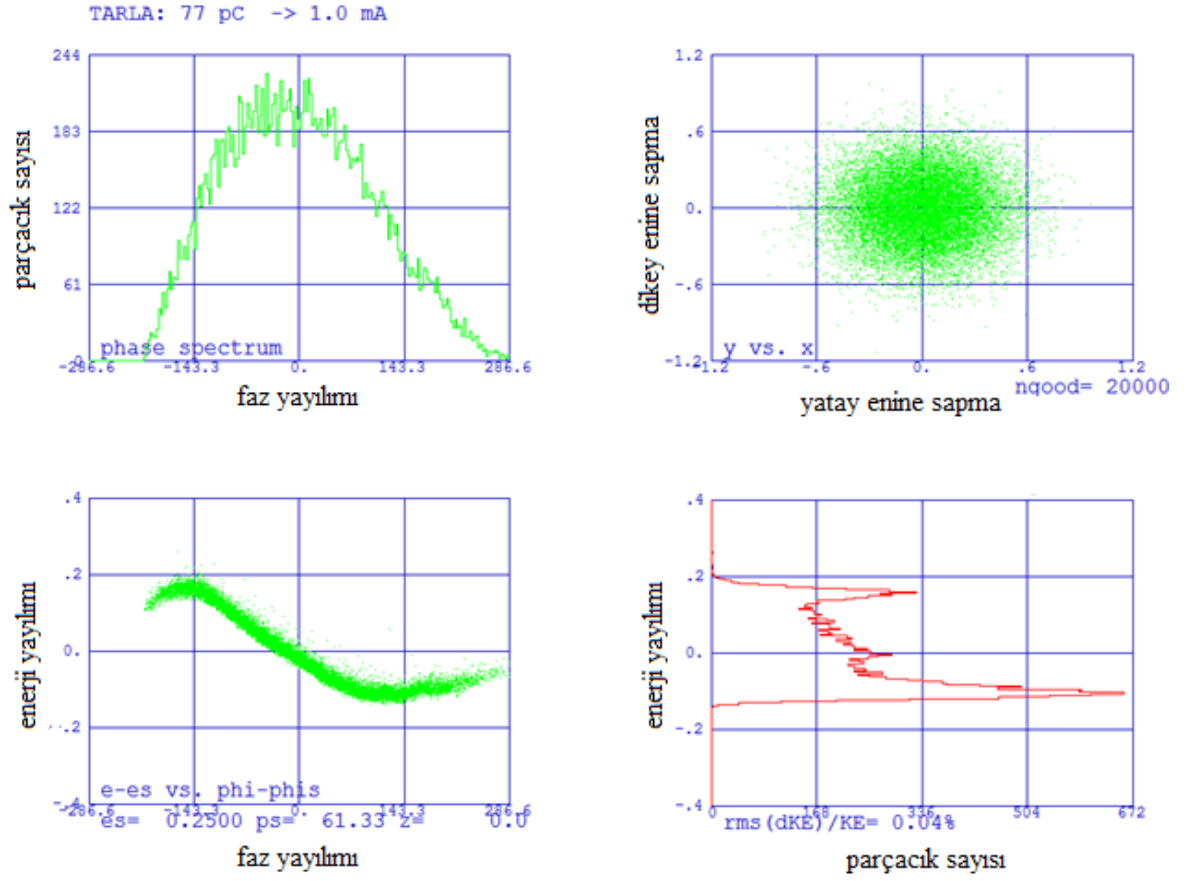
Çizelge 4.5 TARLA tesisinde enjektörün demet parametreleri

Parametre	değer	birim
Demet Enerjisi	16-40	MeV
Maksimum Paketçik Yüğü (13 MHz de)	77	pC
Maksimum Ortalama Demet Akımı	1	mA
Enine Yatay Emittans	< 15	mm mrad
Enine Dikey Emittans	< 12	mm mrad
Boyuna Emittans	< 85	keV ps
Paketçik Uzunluğu	0.4 - 6	ps
Paketçik Tekrarlaması	13	MHz

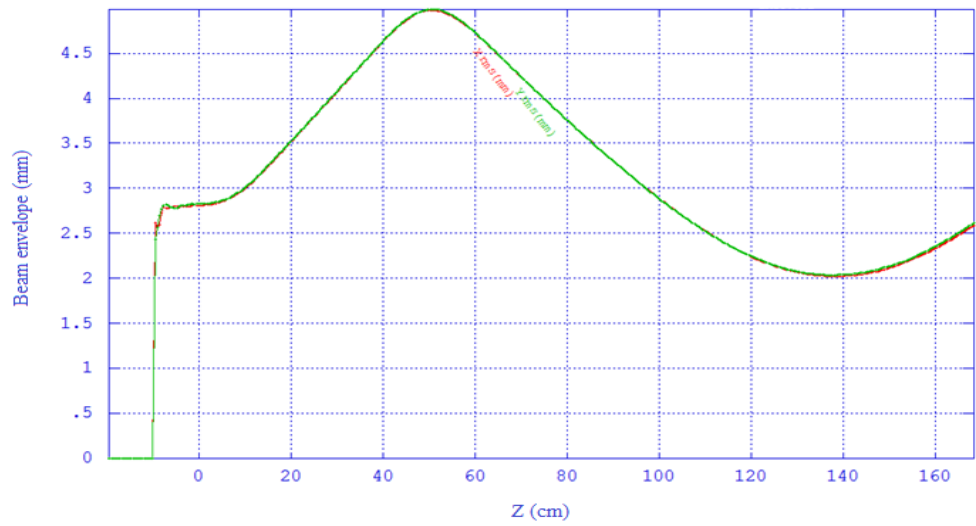


Şekil 4.9 TARLA tesisin enjektörü için düşük enerji bölgenin yapısı

TARLA Tesisi düşük enerji demet hattı çıkışında minimum enine demet ebatı değerlerini elde etmek amacıyla (EK 7), Parmela giriş dosyasından elde edilen elektron demetinin dinamiği özellikleri bu şekildedirler:



Şekil 4.10 TARLA enjektörünün elektron demeti için faz uzayı grafikleri

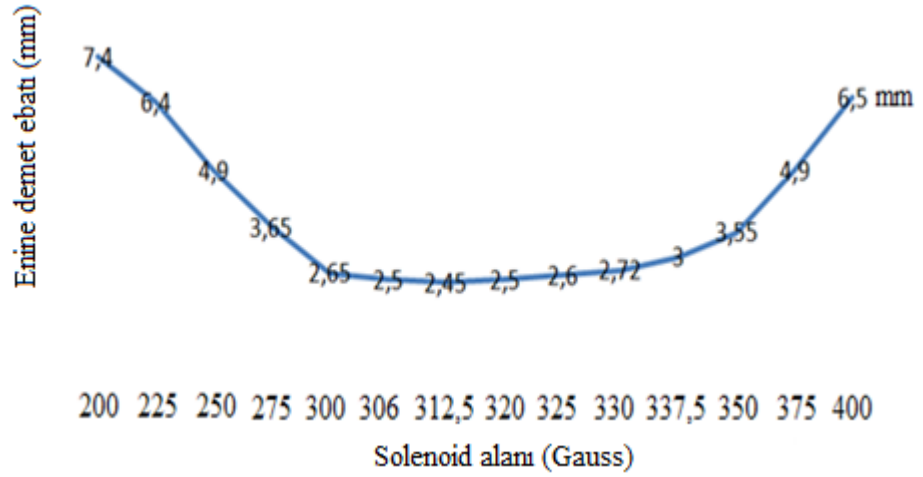


Şekil 4.11 demet hattının enine demet ebatı grafikleri

Farklı solenoid alan değerleri için enine demet ebatı değerleri kıyaslandığında, solenoid alanının 312.5 gauss değerinde, minimum enine demet ebatı değeri 2.45 mm olarak elde edilir.

Çizelge 4.6 TARLA tesisinde düşük enerji bölge çıkışında farklı solenoid alan değerleri için enine demet ebatı değerleri

Solenoid alanı (Gauss)	Enine demet ebatı (mm)
200	7.4
225	6.4
250	4.9
275	3.65
300	2.65
306	2.5
312.5	2.45
320	2.5
325	2.6
330	2.72
337.5	3
350	3.55
375	4.9
400	6.5



Şekil 4.12 farklı solenoid alan değerleri için demet ebatı grafiği

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, parçacık hızlandırıcılarında enine ve boyuna demet dinamiğinin fiziği ve temel özellikleri kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve magneto-optik yapı (magnetik örgü) tasarımının temel ilkeleri öğrenilmiştir.

Dairesel hızlandırıcılarda magneto-optik sistemin tasarlanması bu amaçla geliştirilmiş BEAM OPTICS ve MAD-X yazılımları kullanılarak Ürdün'ün başkenti Amman'da kurulumu sürmekte olan ve Türkiye'nin de kurucu üyesi olduğu SESAME (Synchrotron-light for Experimental Science and Application in the Middle East) sinkrotron ışınımı kaynağı ana halkasının tasarımı için uygulanmıştır.

Ayrıca, SESAME ile aynı enerjili ancak FODO örgü yapısı ile kurulduğu varsayılan bir ana sinkrotron halkası için demet dinamiği parametreleri MAD-X programı ile incelenmiş ve elde edilen emittans değerleri kıyaslandığında DBA hücre yapısı olan SESAME sinkrotronunun emittansı (26.67 nm.rad), FODO hücre yapısı olan halkaya göre (2,289 μ m.rad) 86 kat daha az olarak tespit edilmiştir.

3D parçacık izleme kodu PARMELA ile TARLA'nın (Türk Hızlandırıcı Merkezi Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri) özellikle elektron tabancası test düzeneği için ve düşük enerjili bölgesi için simülasyonlar yapılmış. Diagnostik amaçlı kullanılan cihazlarda gerekli olan demet parametreleri için manyetik dizilim tasarlanmıştır. Örneğin demet görüntüleme ekranında olması gereken demet ebatı optimize edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Aksoy, A. 2012. Özkorucuklu. S. TARLA Teknik Tasarım raporu, TARLA Web Sitesi: www.tarla.org.tr, Erişim Tarihi: 15.06.2014
- Anonim. 2013. SESAME Web Sitesi: <http://www.sesame.org.jo/sesame/machine-and-beamlines/sesame-publications/sesame-white-book.html> Erişim Tarihi: 10.08.2013
- Anonim. 2014. THM Web Sitesi: www.tac.ankara.edu.tr, Erişim Tarihi: 15.06.2014
- Arıkan, P. 2012. THM TARLA Tesisi Deney İstasyonları ve Kullanıcı Potansiyeli. XI. Türk Hızlandırıcı Merkezi YUUP Çalıştayı, Ankara (thm.ankara.edu.tr)
- Roosbach, J. and Schmüser, P. 1994. Fifth General Physics Course, Cern Accelerator School (CAS), University of Jyväskylä, Finland
- Edwards, D. A. and Syphers, M. J. 1993. An Introduction To The Physics of High Energy Accelerators, ISBN 0 471 55163 5. New York.
- Özkorucuklu, S. 2011. Serbest Elektron (SEL) Fiziği. VII. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Detektörleri Yaz okulu, Bodrum
- Schmidt, F. 2003. Web Sitesi: http://madx.web.cern.ch/madx/doc/madx_manual.pdf Erişim Tarihi: 15.12.2013
- Vignola, G. and Attal, M. 2004. SESAME Lattice, Web Sitesi: http://www.sesame.org.jo/sesame/images/sesame-publications/Technical_Notes/O-1.pdf Erişim Tarihi: 10.12.2013
- Widemann, H. 1993. Particle Accelerator Physics, Basic Principles and Linear Beam Dynamics.
- Widemann, H. 2003. Synchrotron Radiation, Springer- Verlag Berlin Heidelberg, 274 p., Germany.
- Wille, K. 2000. The Physics of Particle Accelerator An Introduction, Oxford University Press ISBN 0 19 850549 3, Great Britain.
- Wilson, E. 2001. An Introduction To Particle Accelerators, Oxford University Press ISBN 0 19 850529 8, 252 P. New York.
- Winik, H. 1995. Synchrotron Radiation Sources, World Scientific Press ISBN 98 102 18 567

Yavaş, Ö. 2012. Parçacık Hızlandırıcıları Dersi Notları, Ankara Üniversitesi Fiz. Müh.
Böl.

EKLER

EK 1 SESAME ışınlm kaynağında yüklü parçacık demet dinamiğinin MAD-X
sesame.seq dosyası:

Ek 2 SESAME ışınlm kaynağında yüklü parçacık demet dinamiğinin MAD-X
sesame.madx dosyası:

Ek 3 Gnuplot programı

Ek 4 MAD-X Programında Tasarlanan FODO hücreli ışınlm kaynağı

EK 5 TARLA tesisin düşük enerji bölgesi için parmela programın uygulanması

**EK 1 SESAME ışımm kaynağında yüklü parçacık demet dinamiğinin MAD-X
sesame.seq dosyası:**

```
option,echo;  
TITLE"SESAME1";  
circum=133.2;  
nsupercell=8.0;  
lsupercell=circum/nsupercell;  
  
!D1:DRIFT,L=2.27;  
!D2:DRIFT,L=0.2;  
!D3:DRIFT,L=0.15;  
!D4:DRIFT,L=0.33;  
!D5:DRIFT,L=1.245;  
  
KQF=1.9902;  
KQD=-0.996112;  
  
KSF=0.823964E7;  
KSD=-1.33439E7;  
  
S1:SEXTUPOLE,K2:=KSF,L=1e-7;  
S2:SEXTUPOLE,K2:=KSD,L=1e-7;  
  
Q1:QUADRUPOLE,L=0.3,K1:=KQF;  
Q2:QUADRUPOLE,L=0.1,K1:=KQD;  
  
BM:RBEND,L=2.25,ANGLE=0.392699,FINT=0.45,HGAP=0.04,K1=-0.33508;  
  
RFC: RFCAVITY,L=0.1, VOLT=2.4, LAG=0.480,HARMON=222;  
  
SESAME_SEQ:SEQUENCE,REFER=ENTRY,L=circum;  
start_machine:MARKER,at=0;
```

RFC: RFC, At=0;

n=1;

WHILE(n < nsupercell+1){

S1: S1, At=(n-1)*lsupercell+2.27;

Q1: Q1, At=(n-1)*lsupercell+2.27+0.2;

Q2: Q2, At=(n-1)*lsupercell+2.27+0.2+0.15+0.3;

S2: S2, At=(n-1)*lsupercell+2.27+0.2+0.15+0.3+0.1+0.2;

BM: BM, At=(n-1)*lsupercell+2.27+0.2+0.15+0.3+0.1+0.2+0.33;

S2: S2, At=(n-1)*lsupercell+2.27+0.2+0.15+0.3+0.1+0.2+0.33+0.33+2.25;

Q2: Q2, At=(n-1)*lsupercell+2.27+0.2+0.15+0.3+0.1+0.2+0.33+0.33+2.25+0.2;

Q1: Q1,

At=(n-1)*lsupercell+2.27+0.2+0.15+0.3+0.1+0.2+0.33+0.33+2.25+0.2+0.15+0.1;

S1: S1, At=

(n-1)*lsupercell+2.27+0.2+0.15+0.3+0.1+0.2+0.33+0.33+2.25+0.2+0.15+0.1+0.2+0.3;

S1: S1, At=(n-1/2)*lsupercell+1.245;

Q1: Q1, At=(n-1/2)*lsupercell+1.245+0.2;

Q2: Q2, At=(n-1/2)*lsupercell+1.245+0.2+0.15+0.3;

S2: S2, At=(n-1/2)*lsupercell+1.245+0.2+0.15+0.3+0.2+0.1;

BM: BM, At=(n-1/2)*lsupercell+1.245+0.2+0.15+0.3+0.2+0.1+0.33;

S2: S2, At=(n-1/2)*lsupercell+1.245+0.2+0.15+0.3+0.2+0.1+0.33+0.33+2.25;

Q2: Q2, At=(n-1/2)*lsupercell+1.245+0.2+0.15+0.3+0.2+0.1+0.33+0.33+2.25+0.2;

Q1: Q1, At=(n-1/2)*lsupercell

+1.245+0.2+0.15+0.3+0.2+0.1+0.33+0.33+2.25+0.2+0.15+0.1;

S1: S1, At=(n-1/2)*lsupercell

+1.245+0.2+0.15+0.3+0.2+0.1+0.33+0.33+2.25+0.2+0.15+0.1+0.2+0.3;

n=n+1;

}

end_machine: MARKER, AT=circum;

```
ENDSEQUENCE;  
option,-echo;  
return;
```

**EK 2 SESAME ışıının kaynağında yüklü parçacık demet dinamiğinin MAD-X
sesame.madx dosyası:**

```
TITLE,"SESAME2";  
call file="sesame-rbend.seq";  
option,-echo;
```

```
B: BEAM, PARTICLE=ELECTRON, ENERGY=2.5, kbunch=400, npart=1.E5,  
sigt=0.5,  
sige=0.01, deltap=0.01, RADIATE=True, sequence=SESAME_SEQ;
```

```
USE,PERIOD=SESAME_SEQ;
```

```
MATCH,SEQUENCE=SESAME_SEQ;  
VARY,NAME=KQF,STEP=0.00001;  
VARY,NAME=KQD,STEP=0.00001;  
GLOBAL,SEQUENCE=SESAME_SEQ,Q1=7.23;  
GLOBAL,SEQUENCE=SESAME_SEQ,Q2=6.19;  
LMDIF,CALLS=10,TOLERANCE=1.0E-21;  
ENDMATCH;
```

```
MATCH,SEQUENCE=SESAME_SEQ;  
VARY,NAME=KSF,STEP=0.00001;  
VARY,NAME=KSD,STEP=0.00001;  
GLOBAL,SEQUENCE=SESAME_SEQ,DQ1=0.0;  
GLOBAL,SEQUENCE=SESAME_SEQ,DQ2=0.0;  
LMDIF,CALLS=10,TOLERANCE=1.0E-21;  
ENDMATCH;
```

```
SELECT,FLAG=TWISS,RANGE=s2[1]/BM[1],REFER=ENTRY,column=name,s,alfx,  
betx;  
TWISS, Save, file=s4_TWISS.OUT;
```

```

PLOT, haxis=s, vaxis=betx,bety, colour=100, interpolate, title=SESAME1;
PLOT, haxis=s, vaxis=DX, DY , colour=100, interpolate, title=SESAME2;
PLOT, haxis=s, vaxis=betx,bety, colour=100, interpolate, title=SESAME1
,RANGE=s1[1]/s1[5];
PLOT, haxis=s, vaxis=DX, DY , colour=100, interpolate, title=SESAME2
,RANGE=s1[1]/s1[5];

```

```

USE,PERIOD=SESAME_SEQ;
GEOMETRY:SURVEY,file=survey;
WRITE,table=survey;
plot,file="survey1" ,table=survey,haxis=z,vaxis=x;

```

```

USE,PERIOD=SESAME_SEQ;

```

```

ptc_create_universe;
ptc_create_layout,model=2,method=6,nst=10,exact;

```

```

ptc_start, x= 3e-3, px=0, y= 0, py=0;
ptc_start, x= 6e-3, px=0, y= 0, py=0;
ptc_start, x= 9e-3, px=0, y= 0, py=0;
ptc_start, x= 12e-3, px=0, y= 0, py=0;
ptc_start, x= 15e-3, px=0, y= 0, py=0;
ptc_start, x= 18e-3, px=0, y= 0, py=0;

```

```

ptc_track,icase=4,closed_orbit,dump,
    turns=1000 ,ffile=1, norm_no=4; //onetable, turns=1000, norm_no=4; norm_out

```

```

ptc_track_end;
ptc_end;

```

```

BMin:  SBEND, L=BM->L/28, ANGLE=BM->ANGLE/28, K1=BM->K1, E1=BM-
>ANGLE/2, E2=0.0;

```

BMi: SBEND, L=BM->L/28, ANGLE=BM->ANGLE/28, K1=BM->K1, E1=0.0 ,
E2=0.0;

BMout: SBEND, L=BM->L/28, ANGLE=BM->ANGLE/28, K1=BM->K1, E1=0.0 ,
E2=BM->ANGLE/2;

BE: LINE=(BMin,BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,&
BMi, BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,&
BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,BMi, &
BMi,BMi,BMi,BMout);

USE,PERIOD=SESAME_SEQ;

EMIT,DELTAP=0.0;

STOP;

EK 3 Gnuplot programı

```
set term postscript eps enhanced
```

```
set pointsize 0.48
```

```
set output 'xtrack.eps'
```

```
set xlabel 'x (m)'
```

```
set ylabel 'px (rad)'
```

```
plot 'track.obs0001.p0001' using 3:4 title 'particle 1' with points 1 , \
    'track.obs0001.p0002' using 3:4 title 'particle 2' with points 2 , \
    'track.obs0001.p0003' using 3:4 title 'particle 3' with points 3 , \
    'track.obs0001.p0004' using 3:4 title 'particle 4' with points 4 , \
    'track.obs0001.p0005' using 3:4 title 'particle 5' with points 5 , \
    'track.obs0001.p0006' using 3:4 title 'particle 6' with points 6
```

EK 4 MAD-X programında tasarlanan FODO hücreli ışınım kaynağı

```
circum=92.9975;
ncell=18;
lcell=circum/ncell; // hücre uzunluğu

//eğici magnet tanıtımı
IBM=1.0333;
BM:RBEND,L=1.0333,ANGLE=0.1745328889,FINT=0.45,HGAP=0.04;

RFC: RFCAVITY,L=0.1, VOLT=2.4, LAG=0.480,HARMON=222;

lq=0.4784;
kqf=1;
kqd=-1;
qf:quadrupole,l=lq,k1=kqf;
qd:quadrupole,l=lq,k1=kqd;

//dizi
seq:sequence,refer=center,l=circum;
start_machine:marker,at=0;

RFC: RFC, At=0.05;

n=0;
while(n<ncell)
{
qf:qf,at= 0.1+n*lcell+ lq/2;
BM:BM,at= 0.1+n*lcell+ lq/2+ 1.291632; // 92.9975/18=5.1665 ,
5.1665/4=1.291632
qd:qd,at= 0.1+n*lcell+ lq/2+ 2*1.291632;
BM:BM,at= 0.1+n*lcell+ lq/2+ 3*1.291632;
```

```

n=n+1;
}
end_machine:marker,at=circum;
endsequence;
beam,particle=electron,sequence=seq,energy=2.5 ,deltap=0.01, RADIATE=True,;
use,sequence=seq;
SELECT,FLAG=TWISS,RANGE=qf[1]/qf[2],REFER=ENTRY,column=name,s,alfx,b
etx;
twiss,save,file=seqtwiss1.out;

setplot,post=2;
plot,haxis=s,vaxis1=betx,bety, vaxis2=dx,dy, file=seq,colour=100,range=qf[1]/qf[2];

BMin:  SBEND, L=BM->L/28, ANGLE=BM->ANGLE/28,  E1=BM->ANGLE/2,
E2=0.0;
BMi:  SBEND, L=BM->L/28, ANGLE=BM->ANGLE/28, E1=0.0 , E2=0.0;
BMout:  SBEND, L=BM->L/28, ANGLE=BM->ANGLE/28, E1=0.0 , E2=BM-
>ANGLE/2;
BE: LINE=(BMin,BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,&
        BMi, BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,&
        BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,BMi,BMi, &
        BMi,BMi,BMi,BMout);

USE,PERIOD=seq;
EMIT,DELTAP=0.0;

stop;

```

EK 5 TARLA tesisin düşük enerji bölgesi için parmela programın uygulanması

TITLE

TARLA: 77 pC -> 1.0 mA

RUN /Rn=1 /PF=1 /f0=1300 /z0=-20 /E0=0.25 /Lt=1

INPUT /T=40 /Npart=19999

DRIFT /L=0.0000 /R=1.8 /Out=1

DRIFT /L=27.0000 /R=1.8 /Out=1

DRIFT /L=24.5000 /R=1.8 /Out=1

POISSON /L=51.0000 /Mlt=0.625 /Xof=0.0 /Yoff=0.0 /Dx'=0.0 /Dy'=0.0 /ft=0.0

/MN0=5 SOLL

DRIFT /L=45.6000 /R=1.8 /Out=1

DRIFT /L=36.200 /R=1.8 /Out=1

DRIFT /L=21.100 /R=1.8 /Out=1

OUTPUT /OType=5

ZOUT

SCHEFF /IT=0.1 /dR=3.6 /dZ=25 /Nr=18 /Nz=500 /NBnc=0 /LBnc=0

/RngOp=3 /MshFa=1.5 /RWal=1.8 0

SPCH3D /Nx=8 /Ny=8 /Nz=32

START /Fi0=0 /dFi=10 /NoSt=10000 /SCS=5 /OS=0

END

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Zhaleh HAJIPOURAN BENAM

Doğum Yeri : İRAN

Doğum Tarihi : 24.08.1973

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu:

Lise : İran, Şiraz, Zohre Bonyanyan Lisesi (1986-1990)

Lisans : İran, Kerman, Şehit Bahoner Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Elektronik Mühendisliği Bölümü (1990-1994)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Mühendisliği
Anabilim Dalı (Eylül 2010 – Eylül 2014)