

## Hızlandırıcı Fiziği

### MADX II

(Methodical Accelerator Design)

Yöntemli Hızlandırıcı Tasarımı Programı

Öznur METE

CERN, Hızlandırıcı Fizikçisi

e-posta: [oznur.mete@cern.ch](mailto:oznur.mete@cern.ch) www: [www.cern.ch/omete](http://www.cern.ch/omete)

## Teşekkürler

Bu ders 2009'da düzenlenen CERN Hızlandırıcı Okulu'nda verilmiş olan MADX dersi temel alınarak hazırlanmıştır. Desteği için Dr. Werner Herr'e en derin teşekkürlerimi sunarım.

## Acknowledgments

This lecture was prepared based on the MADX lecture in the CERN Accelerator School organized in 2009. I express my deepest gratitude to Dr. Werner Herr for his support.

## Neredeyiz?

► Buraya kadar edindiğimiz bilgilere (enine dinamik I ve II, MADX I dersleri) dayanarak:

### Alıştırma 1

❖ Düzenli bir örgü hesaplarını ve tasarımını yapabiliriz.

### Alıştırma 2

❖ Temel hızlandırıcı parametreleri ile oynayabiliriz (ayar, renksellik, beta fonksiyonu, ...).

► Bundan sonrası için bizi neler bekliyor?

❖ Hızlandırıcılarda bulunabilecek kusurlar ve bunların düzeltilmesi.

❖ Dağılım bastırıcı tasarımı.

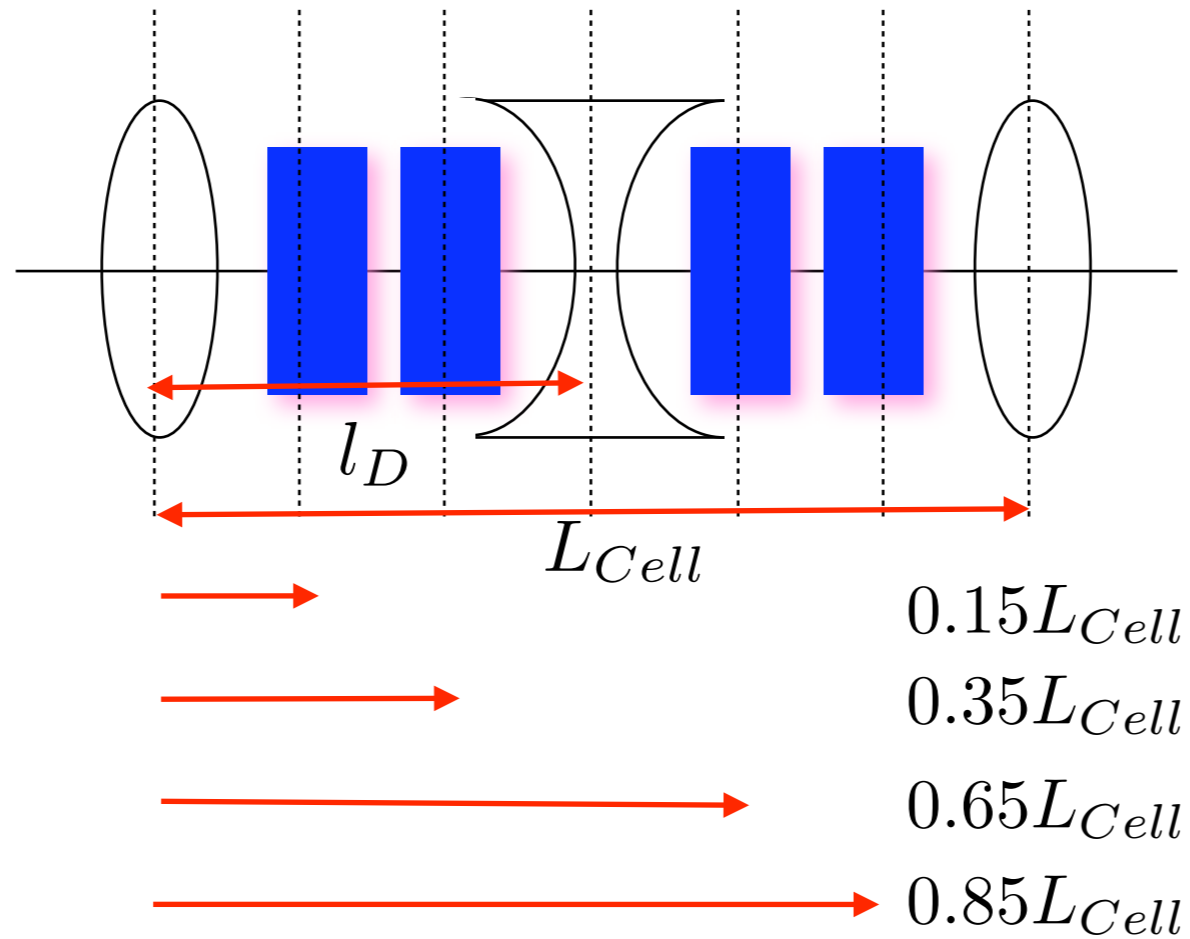
❖ Çok düşük beta fonksiyonu gerektiren eklentilerin düzenli örgü içine yerleştirilmesi.

## Bu aştırmada...

- ▶ 20 GeV/c momentumlu gercekci bir proton hızlandırıcısı tasarlayınız. Aşağıda verilen parametreleri kullanınız:
  - ❖ Çevre = 1000 m
  - ❖ Kullanılacak dört-kutuplu magnetlerin uzunluğu = 3.0 m
  - ❖ Hızlandırıcınızı 8 tane FODO hücresi kullanarak tasarlayınız.
  - ❖ Kullanılacak eğici magnetlerin uzunluğu 5 m, maksimum alanları 3 T
- ▶ Önceki derslerde öğrendiklerinizi kullanarak:
  - ❖ Sınır koşullarına göre (eğici ve odaklayıcı magnetlerin konumu) bir örgü tanımlayınız.
  - ❖ Maksimum beta fonksiyonu değerinin 300 m civarında olmasını sağlayacak optik değerlerini (eğici ve odaklayıcıların kuvveti) hesaplayınız.  $\beta_{max} \equiv \hat{\beta}$
  - ❖ Modelinizi "ince mercek yaklaşımı" kullanarak MADX'e uygulayınız. Sonuçları hesaplarınızla karşılaştırınız.

► **Adım 1-** Sınır koşullarına göre (eğici ve odaklayıcı magnetlerin konumu) bir örgü tanımlayınız.

► Eğici magnetler arasındaki uzaklıkları olabildiğince eşit ayarlayalım.



- **Adım 2-** Maksimum beta fonksiyonu değeri 300 m civarında olmasını sağlayacak optik değerlerini (eğici ve odaklayıcıların kuvveti) hesaplayınız.

**Eldekiler:**

Çevre = 1000 m

Odaklayıcı uzunluğu = 3.0 m

8 FODO hücresi

Eğicilerin uzunluğu = 5 m

Eğicilerin maksimum alanı = 3 T

**Koşul:**

$$\beta_{max} \equiv \hat{\beta} \approx 300m$$

- Hücre başına kaç tane eğici magnet kullanmalıyım?

► **Adım 2-** Maksimum beta fonksiyonu değeriinin 300 m civarında olmasını sağlayacak optik değeriilerini (eğici ve odaklayıcıların kuvveti) hesaplayınız.

**Eğici Magnetlerden başlayalım.**

$$\alpha = \frac{1}{\rho} (m^{-1}) = 0.3 \frac{B(T)}{p(GeV/c)} L(m)$$

$$\alpha = 0.3 \frac{3(T)5(m)}{20(GeV/c)} = 0.225(rad)$$

Kullanmamız gereken

$$\text{toplam eğici magnet sayısı} = \frac{2\pi}{0.225} = 28 \rightarrow 3.5 \approx 4/Cell$$

- ▶ **Adım 2-** Maksimum beta fonksiyonu değeriinin 300 m civarında olmasını sağlayacak optik değeriileri (eğici ve odaklayıcıların kuvveti) hesaplayınız.

**Eldekiler:**

Çevre = 1000 m

Odaklayıcı uzunluğu = 3.0 m

8 FODO hücresi

Eğicilerin uzunluğu = 5 m

Eğicilerin maksimum alanı = 3 T

**Koşul:**

$$\beta_{max} \equiv \hat{\beta} \approx 300m$$

- ▶ Hücre başına kaç tane eğici magnet kullanmalıyım?

❖ Toplam 32 eğici magnet, hücre başına 4 eğici magnet kullanmalıyım.

- ▶ Her bir hücrenin uzunluğu ve evre ilerlemesi ne olmalıdır?



- **Adım 2-** Maksimum beta fonksiyonu değeri nin 300 m civarında olmasını sağlayacak optik değeri lerini (eğici ve odaklayıcıların kuvveti) hesaplayınız.

**Hücremizi daha iyi tanımlayalım.**

**Hücre Uzunluğu**

$$L_{Hücre} = \frac{1000m}{8} = 125m$$

**FODO Hücresi için  
Maksimum Beta  
Fonksiyonu**

$$\hat{B} = \frac{(1 + \sin \frac{\mu}{2}) L_{Cell}}{\sin \mu} = 300m$$

**Faz ilerlemesini  
hesaplamalıyız...**

$$\frac{\hat{\beta}}{L_{1/2}} = \frac{1 + \sin \frac{\mu}{2}}{\sin \frac{\mu}{2} \cos \frac{\mu}{2}}$$

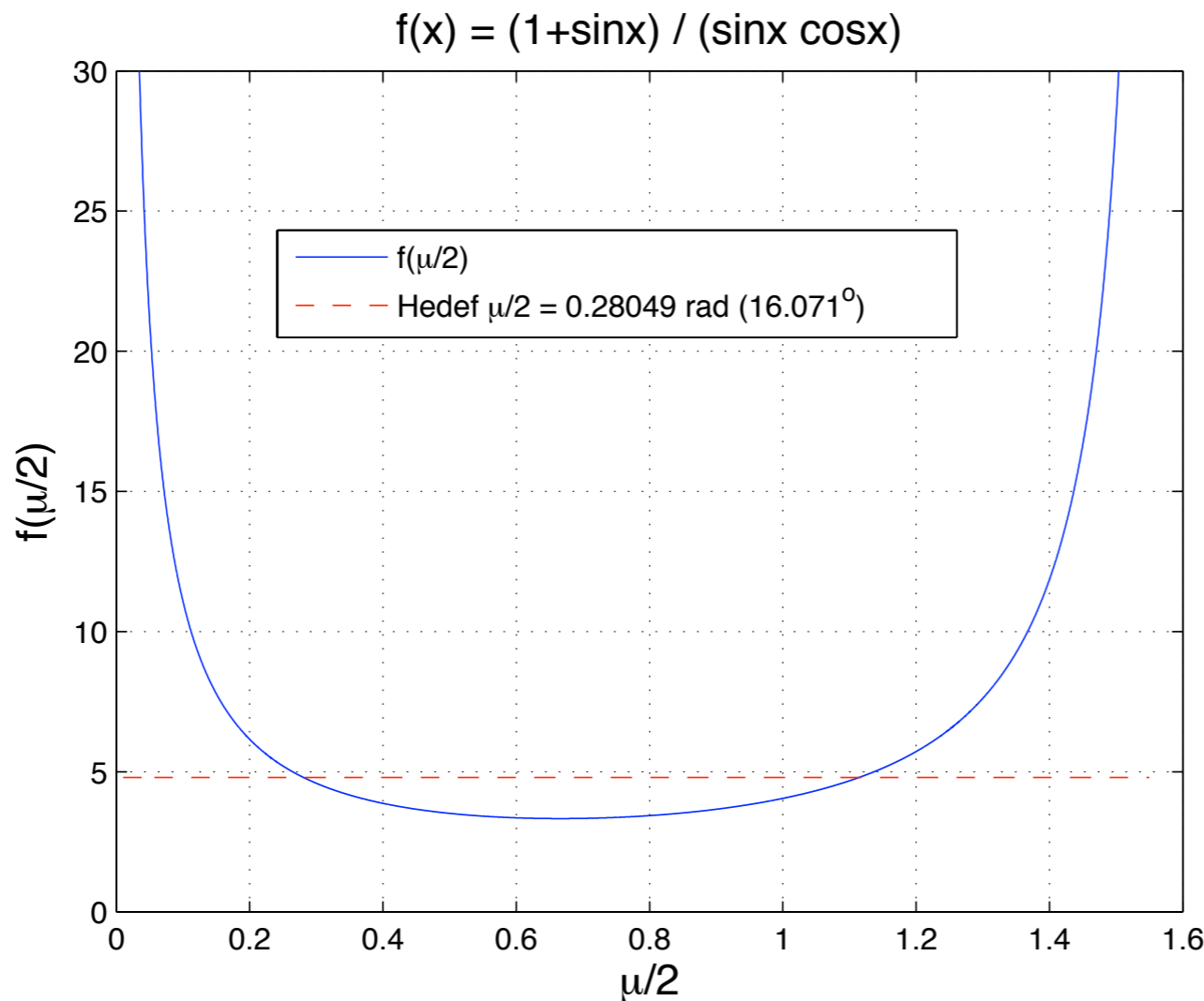
**Ama nasıl?**

- **Adım 2-** Maksimum beta fonksiyonu değeri nin 300 m civarında olmasını sağlayacak optik değeri lerini (eğici ve odaklayıcıların kuvveti) hesaplayınız.

**Faz ilerlemesini hesaplamalıyız...**

$$\frac{\hat{\beta}}{L_{1/2}} = \frac{1 + \sin \frac{\mu}{2}}{\sin \frac{\mu}{2} \cos \frac{\mu}{2}}$$

- Faz ilerlemesini dolaylı yoldan,  $f(\mu/2)$ 'nin çözümlerinin  $\beta_{\max}/L_{1/2}$  olduğu  $\mu/2$  değeri ni bulabiliriz.



**Hücrenin faz ilerlemesi:**

$$\mu/2 = 16.07^\circ$$

### Odev 1.1

Bu fonksiyonu matlab ile çizdirerek evre ilerlemesini siz de elde ediniz.

- ▶ **Adım 2-** Maksimum beta fonksiyonu değeri 300 m civarında olmasını sağlayacak optik değeri (eğici ve odaklayıcıların kuvveti) hesaplayınız.

**Eldekiler:**

Çevre = 1000 m

Odaklayıcı uzunluğu = 3.0 m

8 FODO hücresi

Eğicilerin uzunluğu = 5 m

Eğicilerin maksimum alanı = 3 T

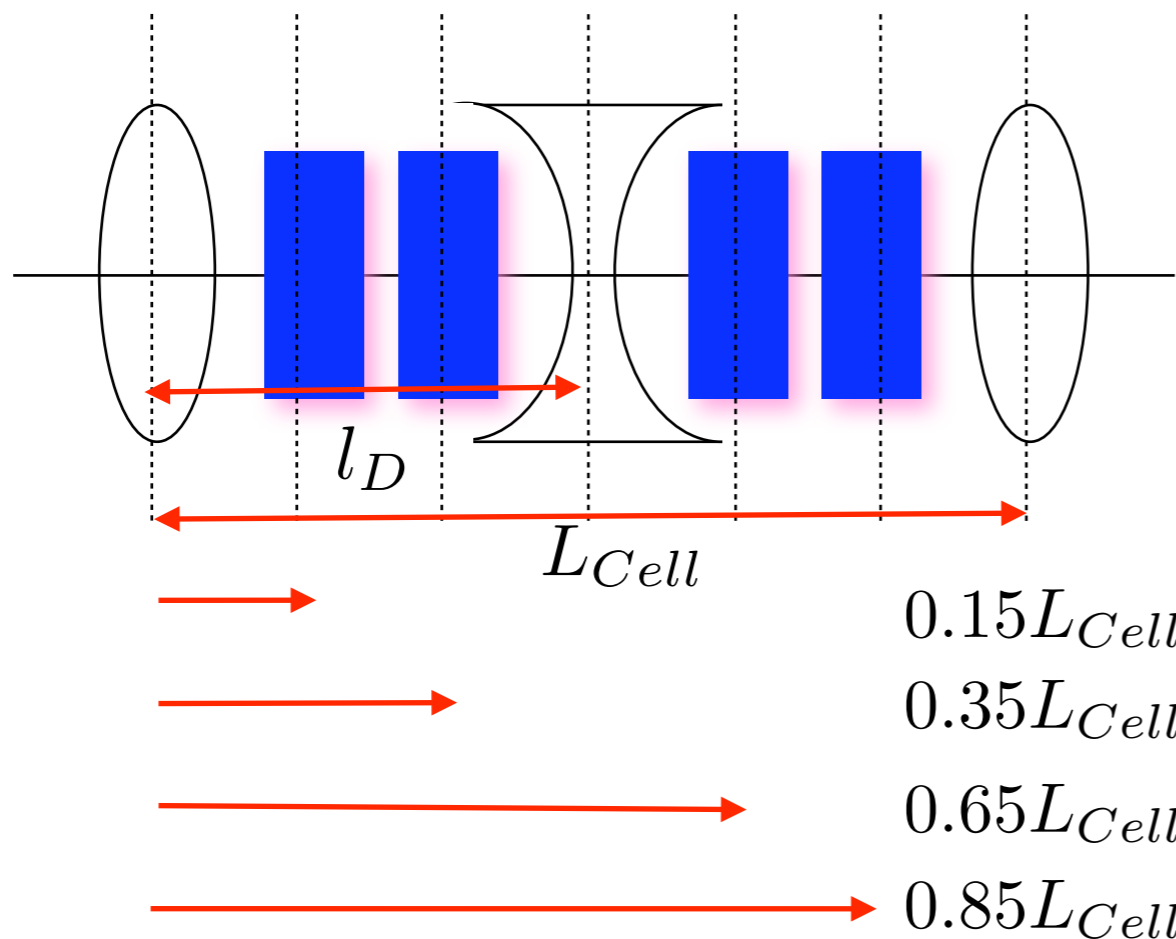
**Koşul:**

$$\beta_{max} \equiv \hat{\beta} \approx 300m$$

- ▶ Hücre başına kaç tane eğici magnet kullanmalıyım?
  - ❖ Toplam 32 eğici magnet, hücre başına 4 eğici magnet kullanmalıyım.
- ▶ Her bir hücrenin uzunluğu ve evre ilerlemesi ne olmalıdır?
  - ❖ Her hücrenin uzunluğu 125 m ve evre ilerlemesi 32.1° olmalıdır.
- ▶ Odaklayıcıların kuvveti ve odak uzaklıkları ne olmalıdır?

- ▶ **Adım 2-** Maksimum beta fonksiyonu değeriinin 300 m civarında olmasını sağlayacak optik değeriileri (eğici ve odaklayıcıların kuvveti) hesaplayınız.
- ▶ Bir odaklayıcı magnet için odak uzunluğunu ve magnetik kuvveti içeren ifadeleri hatırlayalım:

$$\sin \frac{\mu}{2} = \frac{L_{Cell}}{4f_Q} \quad f_Q = \frac{1}{k_Q l_Q}$$



$$f_Q = 112.9m$$

$$k_Q = 2.9 * 10^{-3} (1/m^2)$$

- ▶ **Adım 2-** Maksimum beta fonksiyonu değeri 300 m civarında olmasını sağlayacak optik değerlerini (eğici ve odaklayıcıların kuvveti) hesaplayınız.

**Eldekiler:**

Çevre = 1000 m

Odaklayıcı uzunluğu = 3.0 m

8 FODO hücresi

Eğicilerin uzunluğu = 5 m

Eğicilerin maksimum alanı = 3 T

**Koşul:**

$$\beta_{max} \equiv \hat{\beta} \approx 300m$$

- ▶ Hücre başına kaç tane eğici magnet kullanmalıyım?
  - ❖ Toplam 32 eğici magnet, hücre başına 4 eğici magnet kullanmalıyım.
- ▶ Her bir hücrenin uzunluğu ve evre ilerlemesi ne olmalıdır?
  - ❖ Her hücrenin uzunluğu 125 m ve evre ilerlemesi 32.1° olmalıdır.
- ▶ Odaklayıcıların kuvveti ve odak uzaklıkları ne olmalıdır?
  - ❖ Odaklayıcıların kuvveti  $2.9E-3 \text{ m}^{-2}$  odak uzaklığı ise 119.2 m olmalıdır.

► **Adım 2-** Modelinizi "ince mercek yaklaşımı" kullanarak MADX'e uygulayınız. Sonuçları hesaplarınızla karşılaştırınız.

- ❖ Dizi dosyasını (**ex1.seq**) hazırlayalım.
- ❖ MADX komutları dosyasını (**ex1.madx**) hazırlayalım.
- ❖ Komut satırında **madx < ex1.madx** yazıp sonuçları görelim.

► **Adım 3-** Modelinizi "ince mercek yaklaşımı" kullanarak MADX'e uygulayınız. Sonuçları hesaplarınızla karşılaştırınız.

```
circum=1000.0;
ncell = 8; // Hucre sayisi
lcell = circum/ncell;
lq = 3.00; // Odaklayici uzunlugu

// Bilesenlerin tanimlari;

// Egici magnetleri cok-kutuplu olarak tanimlayiniz.
// Hucre basina 4 egici magnetimiz olacak.
mb: multipole,knl={2.0*pi/(4*ncell)};

// Odaklayicilari cok-kutuplu olarak tanimlayalim
qf: multipole,knl={0,0.295278e-2*lq};
qd: multipole,knl={0,-0.295278e-2*lq};

// Diziyi burada veriyoruz:
hpfbu_hucre1: sequence, refer=centre, l=circum;
start_machine: marker, at = 0;
!
  n = 1;
  while (n < ncell+1) {
    qf: qf, at=(n-1)*lcell;
    mb: mb, at=(n-1)*lcell+0.15*lcell;
    mb: mb, at=(n-1)*lcell+0.35*lcell;
    qd: qd, at=(n-1)*lcell+0.50*lcell;
    mb: mb, at=(n-1)*lcell+0.65*lcell;
    mb: mb, at=(n-1)*lcell+0.85*lcell;
  !
  n = n + 1;
}
end_machine: marker at=circum;
endsequence;
```

❖ Dizi dosyasını (**ex1.seq**) hazırlayalım.

► **Adım 3-** Modelinizi "ince mercek yaklaşımı" kullanarak MADX'e uygulayınız. Sonuçları hesaplarınızla karşılaştırınız.

❖ MADX komutları dosyasını (**ex1.madx**) hazırlayalım.

```
TITLE, 'Ilk Alistirma';
call file="ex1.seq";
option,-echo;

Beam, particle = proton, sequence=hpfbu_hucre1, energy = 20.0;

use, sequence=hpfbu_hucre1;
!select, flag=twiss, pattern="^q.*", column=name, s, x, y, mux, betx,
!           muy, bety, dx, dy;
select, flag=twiss, column=name, s, betx, bety;

twiss, save, centre, file=twiss.out;
plot, haxis=s, vaxis=betx, bety, colour=100;

Survey, file=survey.out;

stop;
```



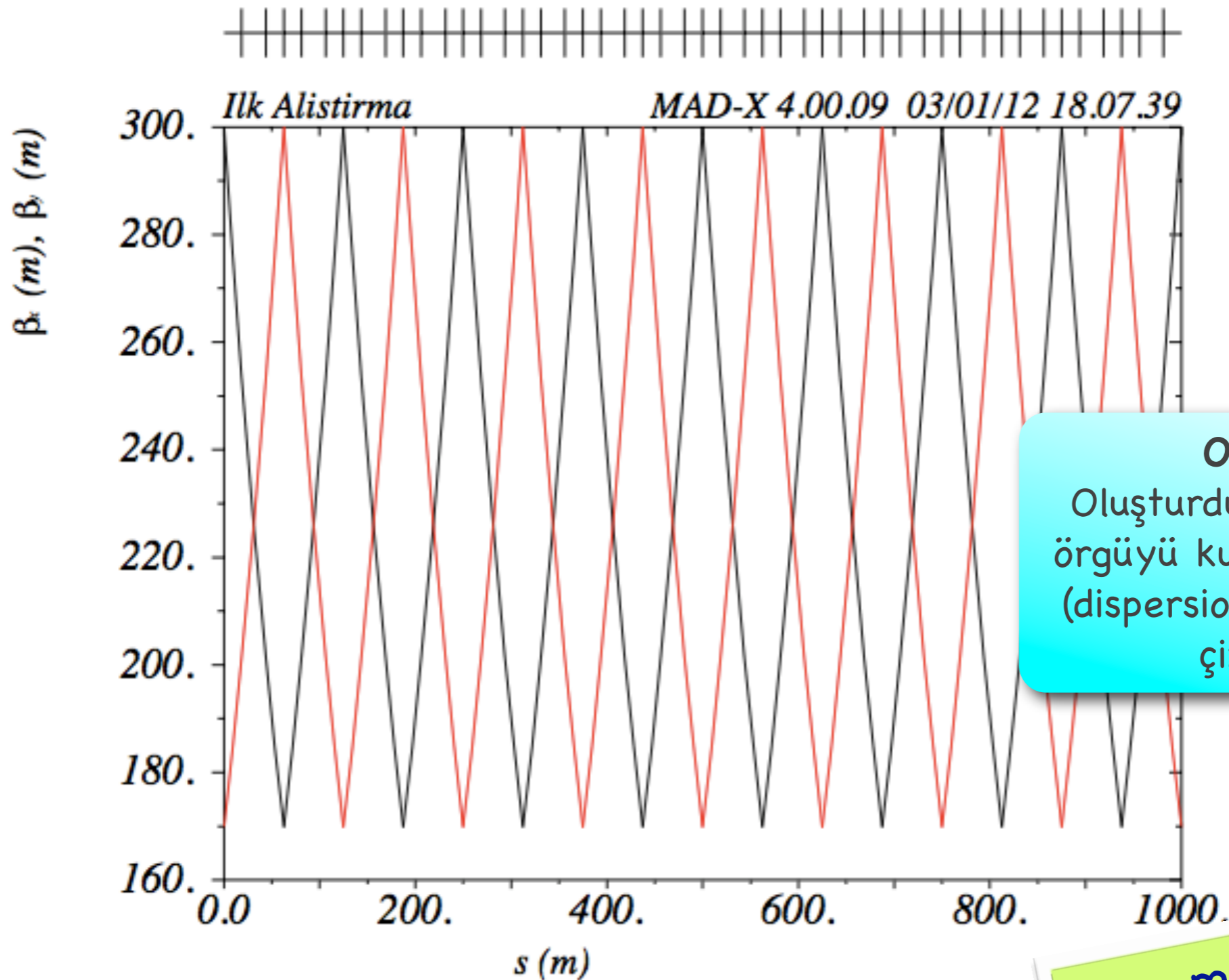
- **Adım 3-** Modelinizi "ince mercek yaklaşımı" kullanarak MADX'e uygulayınız. Sonuçları hesaplarınızla karşılaştırınız.

```
+++++ table: summ
      length          orbit5          alfa          gammatr
      1000             -0             1.989271492     0.7090109959
      q1              dq1             betxmax         dxmax
      0.7142528897    -0.7344010503    299.9996549     365.0168477
      dxrms           xcomax           xcorms          q2
      321.4860068     0              0              0.7142528897
      dq2             betymax           dymax          dyrms
      -0.7344010503   299.9996549     0              0
      ycomax          ycorms           deltap         synch_1
      0               0              0              0
      synch_2         synch_3          synch_4        synch_5
      0               0              0              0
```

komut satırı ıktısı

► **Adım 3-** Modelinizi "ince mercek yaklaşımı" kullanarak MADX'e uygulayınız. Sonuçları hesaplarınızla karşılaştırınız.

twiss.out kullanıldı.



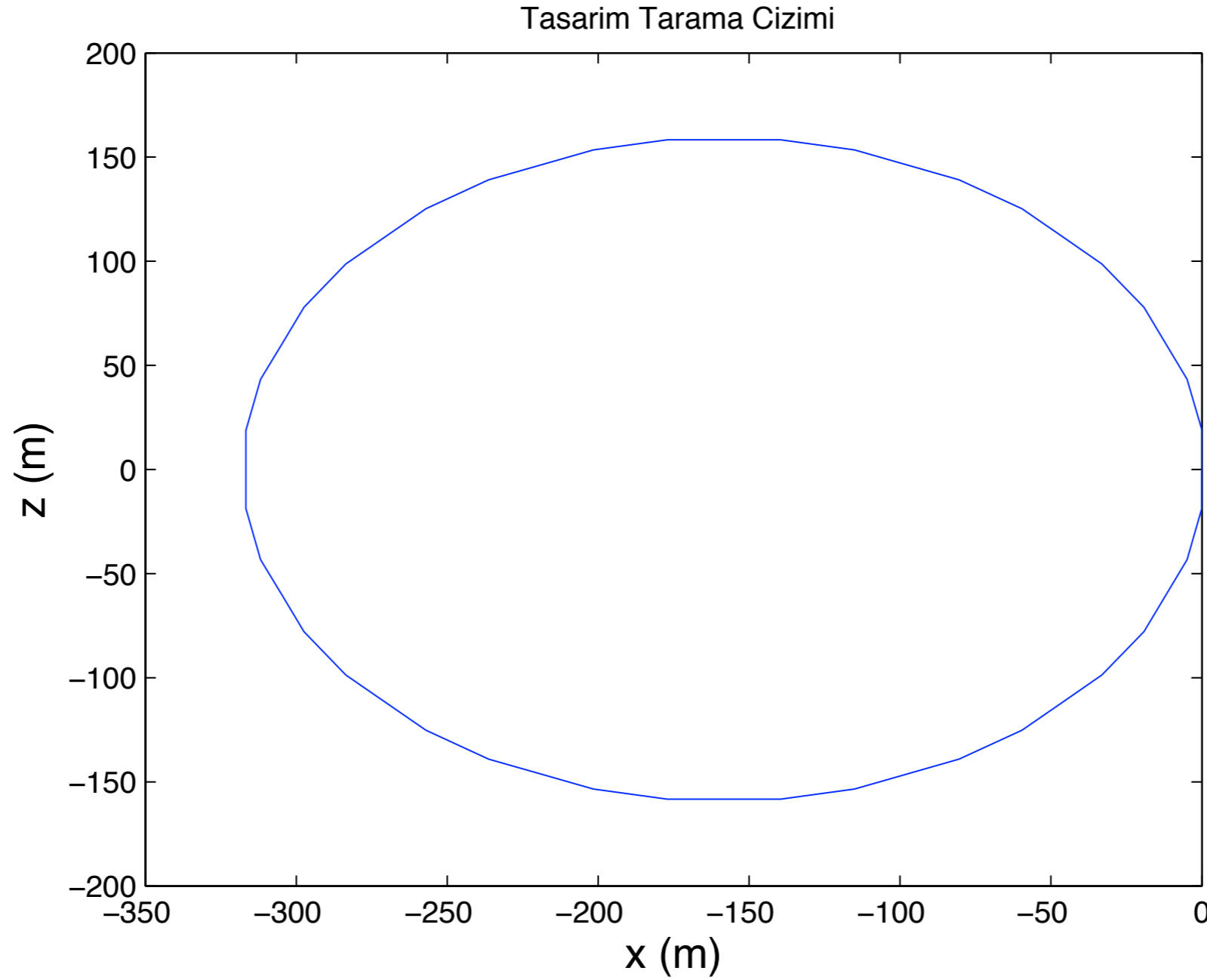
### Odev 1.2

Oluşturduğumuz düzenli örgüyü kullanarak dağılım (dispersion) fonksiyonunu çizdiriniz.

madx.ps

- **Adım 3-** Modelinizi "ince mercek yaklaşımı" kullanarak MADX'e uygulayınız. Sonuçları hesaplarınızla karşılaştırınız.

survey.out kullanıldı.



tarama.eps

## Ödev 1.1

Sayfa 10'daki fonksiyonu matlab ile çizdirerek evre ilerlemesini siz de elde ediniz.

## Ödev 1.2

Oluşturduğumuz düzenli örgüyü kullanarak dağılım (dispersion) fonksiyonunu çizdiriniz.

## Ödev 1.3

Oluşturduğumuz düzenli örgüyü maksimum beta fonksiyonu 100 m olacak şekilde ayarlayınız. Hızlandırıcının çevresi ve demet enerjisi sabit kalmalıdır. Bunun dışındaki özellikleri değiştirmek serbest!

Bu alıştırmalar üzerinde akşam boyunca çalışınız. Öğretmenleriniz takıldığınız yerlerde ipuçları vermek için yanınızda olacaklar. Çözümler yarın sabaha açıklanacaktır.

## Bu alıştırmada...

- ▶ Bu alıştırmada verilen bir hızlandırıcı dizisinin “ayarını” istenilen değerlere denkleştirmeyi öğreneceğiz.
- ▶ Maksimum beta fonksiyonu 100 m olarak tasarladığınız hpfbu\_hucre1 dizisi üzerinde çalışacağız.
- ▶ Ödev 1.3’ü tamamladığınızda lütfen buradaki adımları gerçekteştirerek hızlandırıcınızın ayarını denkleştirin.
  - ❖ MADX 1 dersinin 50. sayfasında verilen örneği hatırlayarak dizimizin ayarını  **$Q1 = 6.70, Q2=6.65$**  olacak şekilde denkleştirelim.
  - ❖ Ayar denkleştirmek için değişken olarak odaklama magnetlerinin magnetik kuvvetlerini seğeriz.
  - ❖ Böylece istediğimiz ayarı elde edebilmek için gereken odaklama magneti kuvvetini bulabiliriz.

## Bu alıştırmada...

```
use, sequence=hpfbu_hucre1;

match, sequence=hpfbu_hucre1;
  vary,name=kqf, step=0.00001;
  vary,name=kqd, step=0.00001;
  global,sequence=hpfbu_hucre1,Q1=6.700;
  global,sequence=hpfbu_hucre1,Q2=6.650;
  Lmdif, calls=10, tolerance=1.0e-21;
endmatch;

select, flag=twiss, column=name, s, betx, bety;
```

ex2.madx

ex2.seq

```
// Odaklayicilari cok-kutuplu olarak tanimlayalim
!qf: multipole,knl={0,9.8e-3*lq};
!qd: multipole,knl={0,-9.8e-3*lq};
kqf = 9.8e-3;
kqd = -9.8e-3;
qf: multipole, knl:={0,lq*kqf};
qd: multipole, knl:={0,lq*kqd};
```

## Bu a1ştırmada...

++++ table: summ

```

length          orbit5          alfa          gammatr
  1000           -0           0.0289164183  5.880682749

  q1            dq1            betxmax          dxmax
6.709570161    -11.18701482    108.5692794     7.452809984

  dxrms          xcomax          xcorms          q2
5.087969469     0              0              6.658761377

  dq2            betymax          dymax          dyrms
-11.03245881   107.7592831    0              0

```

```

ycomax
  0

```

```

ycorms
  0

```

```

synch_2
  0

```

```

synch_3
  0

```

## MATCH SUMMARY

Node_Name	Constraint	Type	Target Value	Final Value
Global constraint:	q1	4	6.70000000E+00	6.70957016E+00
Global constraint:	q2	4	6.65000000E+00	6.65876138E+00

Final Penalty Function = 1.68349722e-02

Variable	Final Value	Initial Value	Lower Limit	Upper Limit
kqf	2.31764e-02	9.80000e-03	-1.00000e+20	1.00000e+20
kqd	-2.30846e-02	-9.80000e-03	-1.00000e+20	1.00000e+20

## Ödev 2

Ödev 1.3'ten elde edeceğiniz maksimum beta fonksiyonu 100 m olan örgünün ayarını Alistirma 2'de gösterildiği gibi denkleştiriniz. Ek olarak aynı örgünün yatay ve dikey dağınımını 0.0 olarak denkleştiriniz.

**\* DİKKAT! Örgü dağınımını denkleştirebilmek için örgünüzde odaklama magnetlerinden sonra altı-kutuplu magnetler yerleştirmelisiniz. Altı-kutuplularınızı aşağıda verilen şekilde tanımlayabilirsiniz.**

**\* Aynı anda hem ayar hem de dağınım denkleştirme yapmayınız.**

```
// Altı-kutuplu uzunlugu odaklama magnetlerine uzakliklari olarak  
// tanimlanir. Bu degeri sadece dizi icindeki tanimda kullanmak icin  
// yaziyoruz.  
lsex = .00001;
```

```
// Altı-kutuplulari cok-kutuplu olarak tanimlayalim  
ksf = +0.017041/20.0;  
ksd = -0.024714/20.0;
```

```
// DİKKAT: denkleştirme icin = degil := kullanmalisiniz!  
msf: multipole, knl:={0,0,ksf};  
msd: multipole, knl:={0,0,ksd};
```

Bu alıştırımlar üzerinde akşam boyunca çalışınız. Öğretmenleriniz takıldığınız yerlerde ipuçları vermek için yanınızda olacaklar. Çözümler yarın sabaha açıklanacaktır.