

# Radio Frequency Quadrupole

## İşı Sıklığı Dörtuçlusu

Gökhan Ünel

*UC Irvine*

*HPFBU-2014, Tokat*

*3 - 10 Şubat 2014*

- *Bölüm 1: Kalem ile*
  - RFQ Nedir - Ne işe yarar
  - Tarihsel yaklaşım
  - Tasarım yapmak için adımlar
- *Bölüm 2: Bilgisayar ile*
  - Bilgisayarla çalışmak için



# RFQ nedir

- **Hızlandırıcı Kovuk**

- Hafif ( $H^+$ ,  $H^-$ , ..) veya ağır iyonları ( $U^+$ ) hızlandırır.

- **Üç iş yapar:**

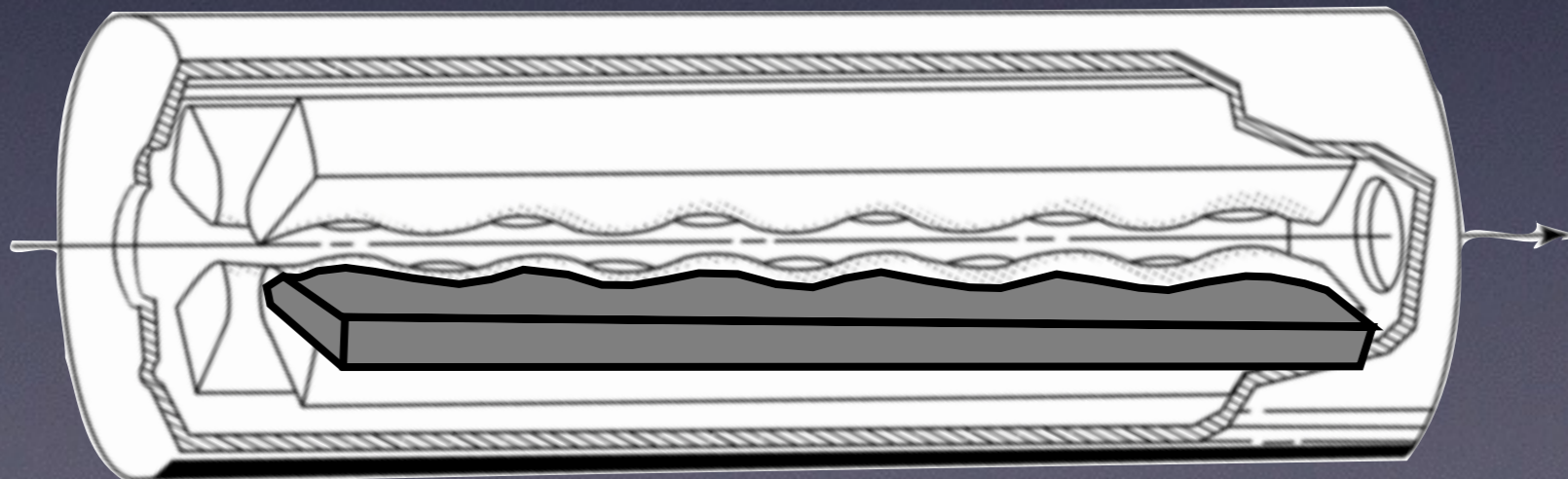
- Sürekli demeti **bohçalar**,
- Demeti **odaklar**,
- Demeti **hızlandırır**.

- **Düşük  $\beta$ 'da çalışır**

- keV  $\rightarrow$  MeV

- **Yüksek etkinlikte hızlandırır**

- Hızlandırırken yayınımları arttırmaz.



4 Kanatlı RFQ örneği

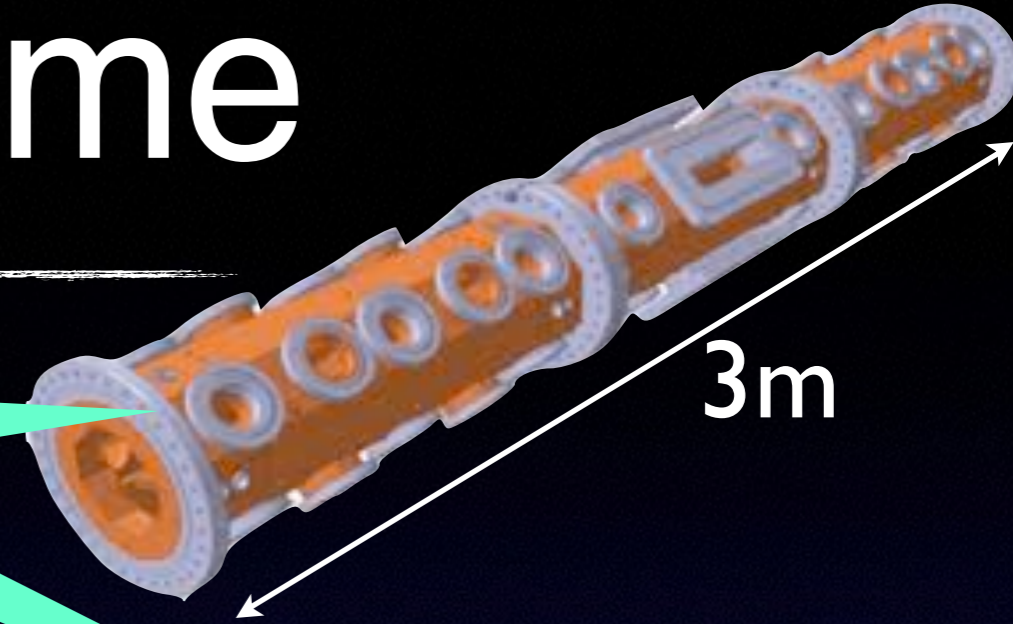
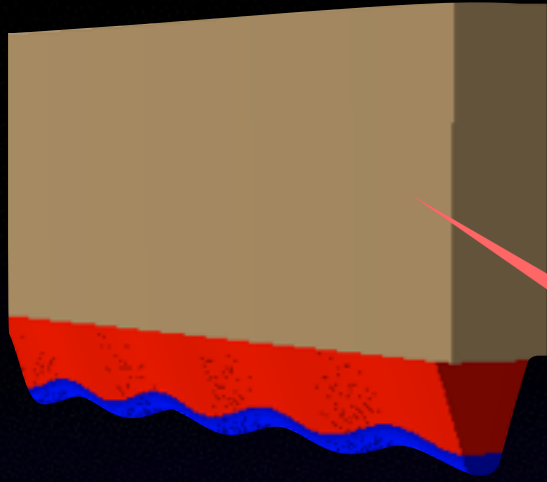


# ilginç

- RFQ geleneksel bir hızlandırıcıdan basitçe beklenenden daha fazlasını yapar:
  - Aynı çıkış enerjisine ulaşmak için, giren demet enerjisi ne kadar azsa, o kadar kısa RFQ gerekir.
  - Örnek: Mümkün olduğunca kısa bir hızlandırıcıda 3MeV'e ulaşmak istiyorsam, 100 keV değil, 30 keV protonlarla başlamalıyım.
  - Hızlandırmadan önce protonlar bohçalanmalıdır. Düşük  $\beta$ sı olan protonlar daha kolay odaklanır ve bohçalanır.

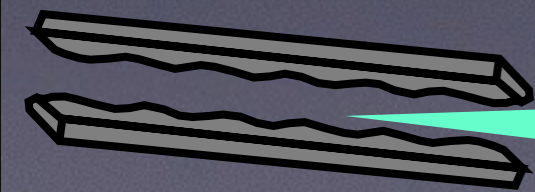
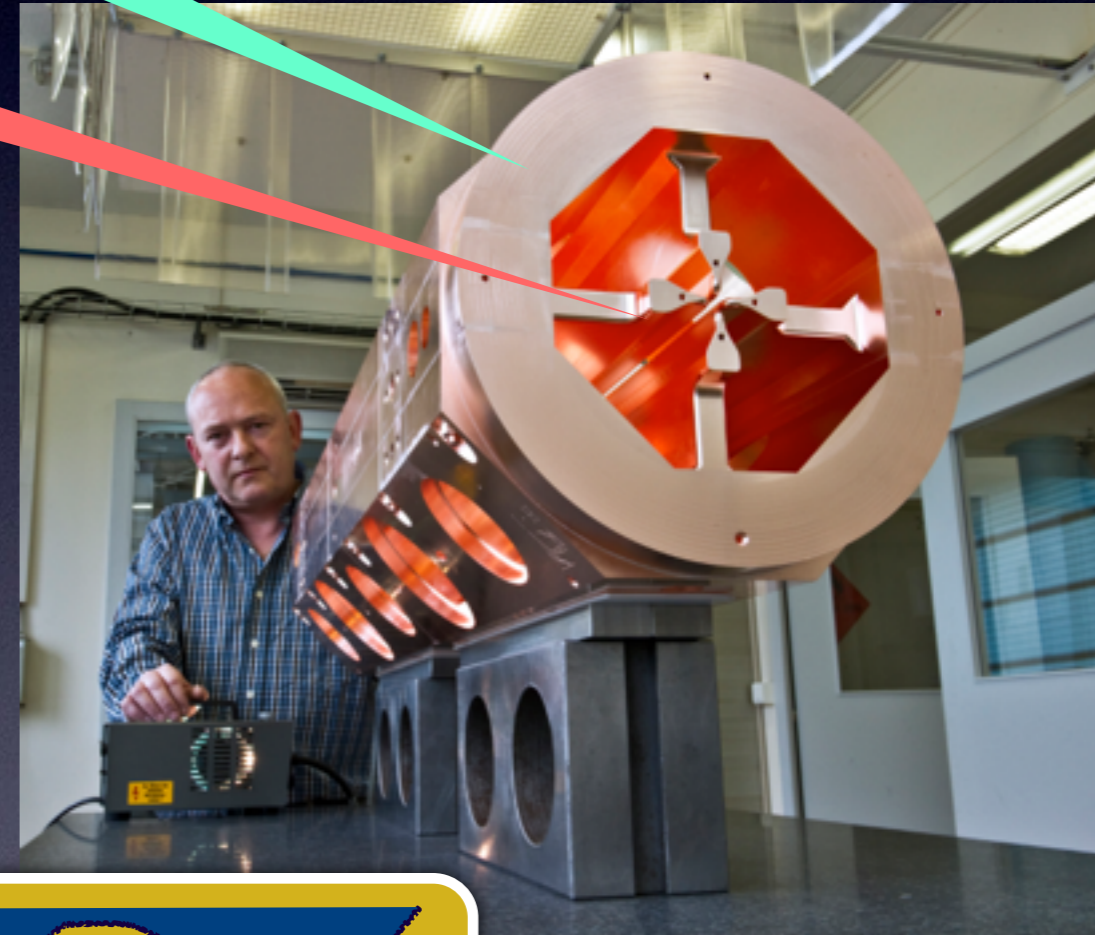
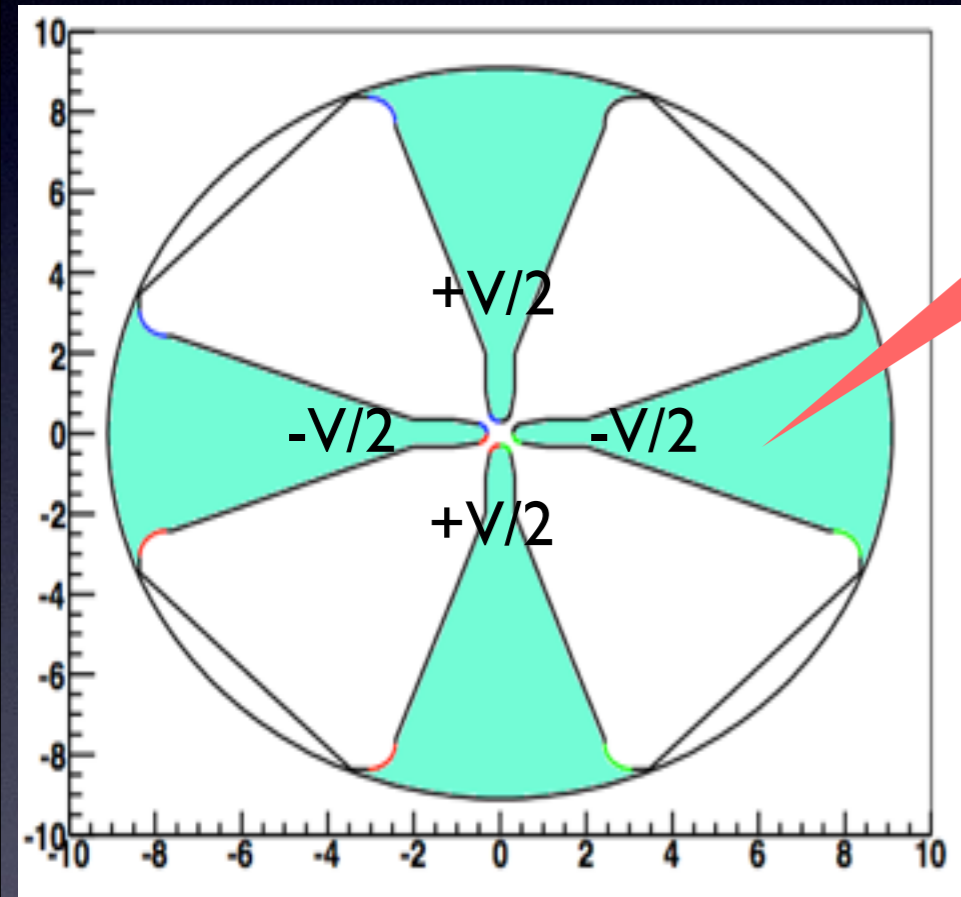


# isimlendirme

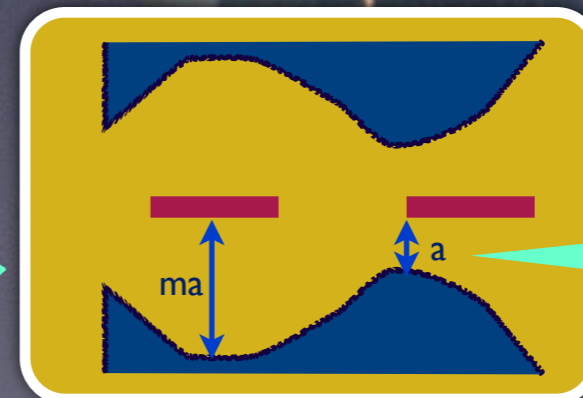


gövde

kanat



karşılıklı kanat uçlarının oluşturduğu bölmeler: odacık

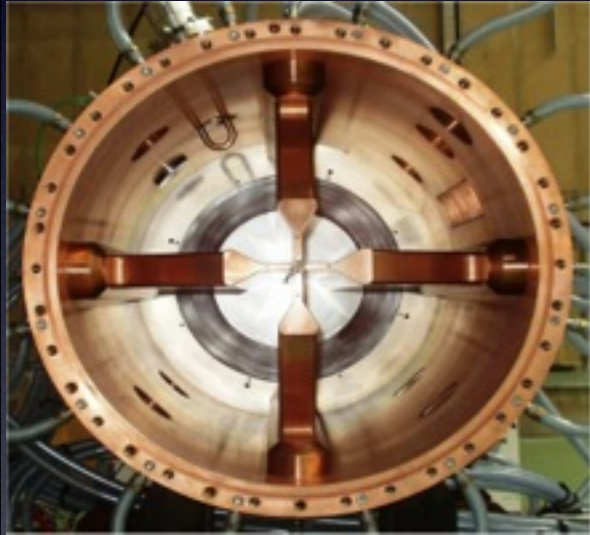
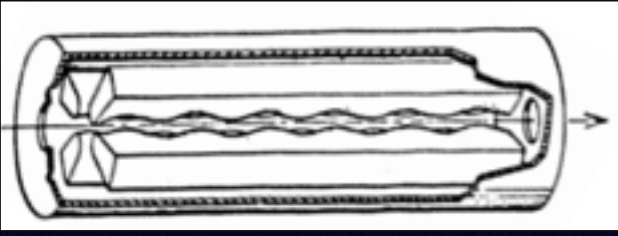


sabit hızlanma süresi için,  $\beta$  artınca odacık boyu artmalı

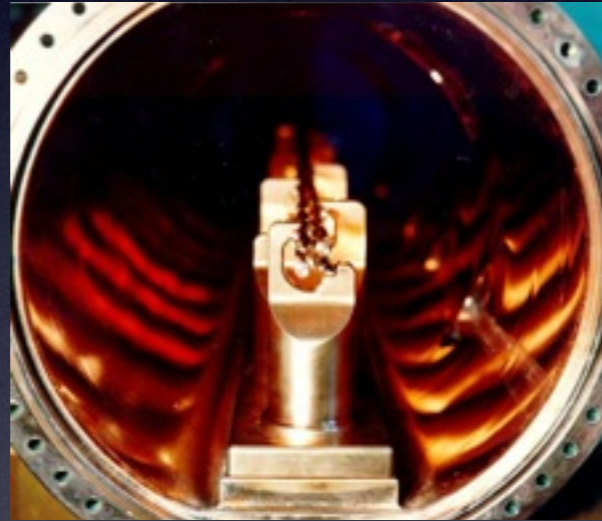
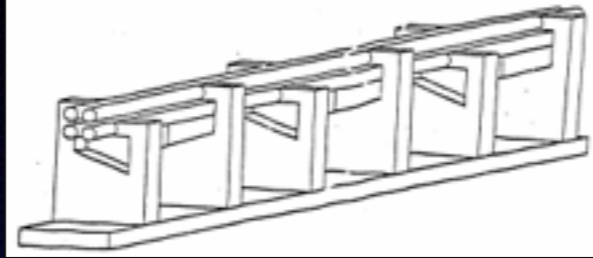


# RFQ çeşitleri

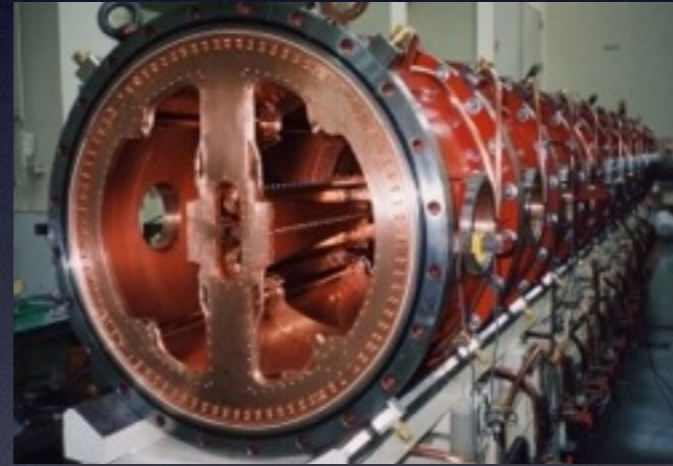
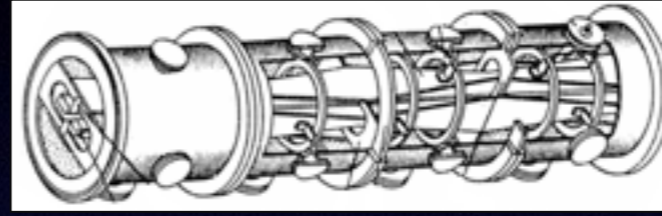
4 Kanatlı RFQ - IPHI



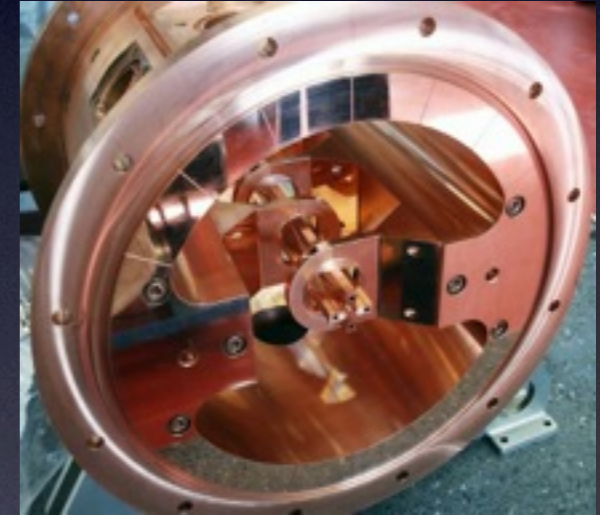
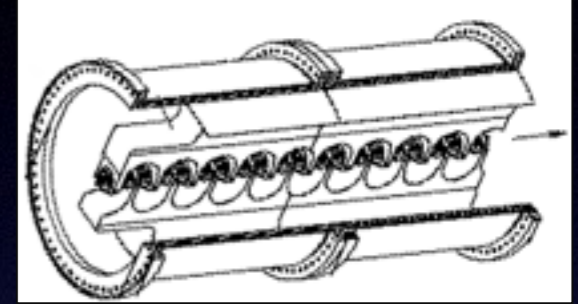
4 Çubuklu RFQ - MSL



SCRFQ - KEK



IH RFQ - MAFF



>200 MHz  
Yüksek verim  
Düşük güç kaybı  
(2 kat -> çubuk)  
Düşük RF tüketimi

<200 MHz  
Düşük verim  
Yüksek güç kaybı  
(@ Tutucular)

Düşük frekans  
(10 MHz'e kadar)  
Basit üretim ve montaj

Düşük frekans  
(5 kat -> kanat)  
Ağır iyonlar için  
( $A/q \geq 10$ )

Bu sunum 4-kanatlı RFQ üzerine yoğunlaşacaktır.





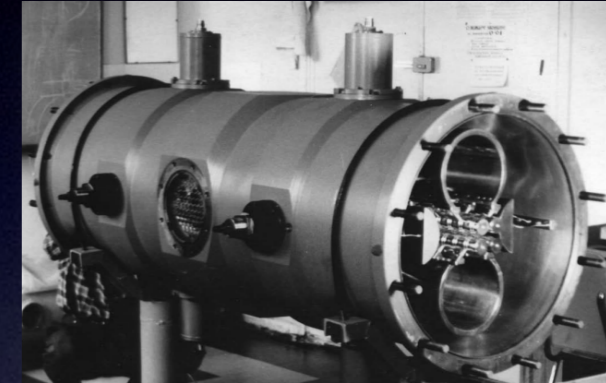
Prof. Kapchinski

# Tarihçe



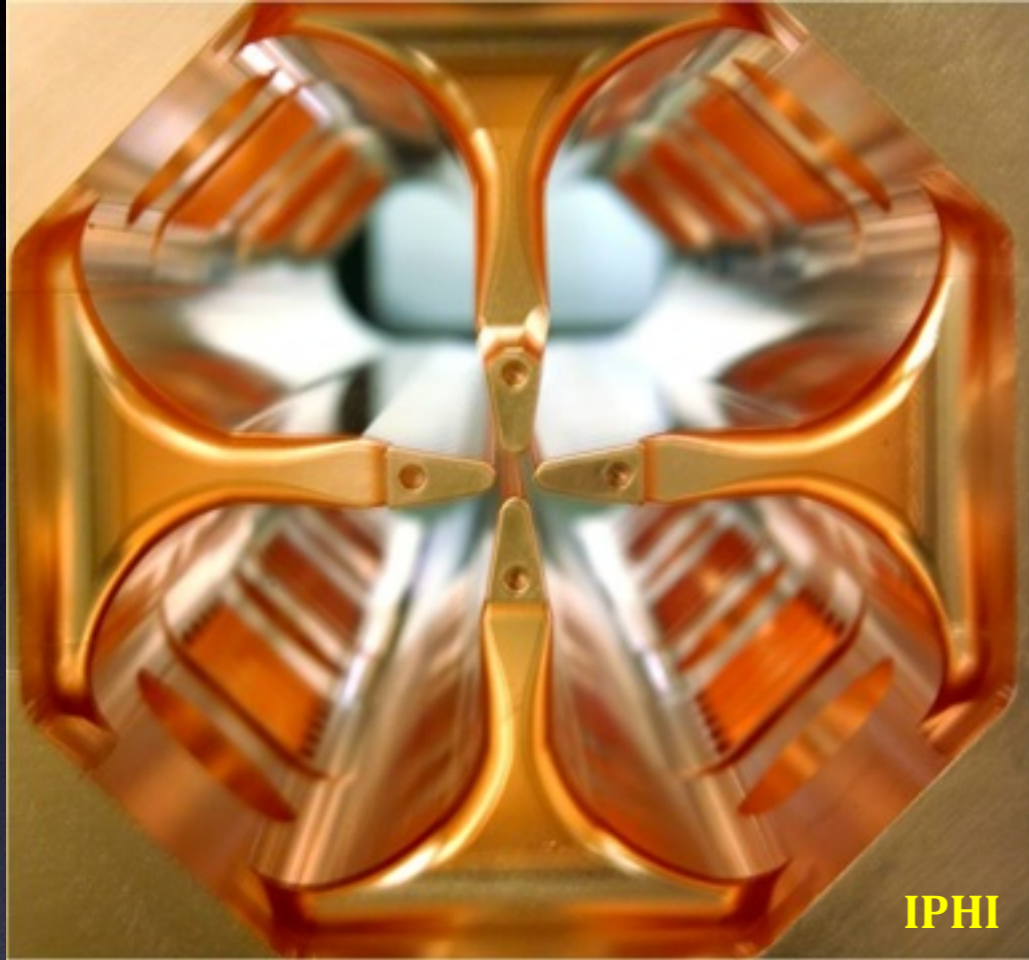
Prof. Teplyakov

- **1970 - RFQ Fikri ortaya çıktı.**
  - I. M. Kapchinski and V. A. Teplyakov, , Prib.Tekh. . Eksp. No. 2, 19
- **1974 - İlk deneysel üretim yapıldı. (IHEP, Rusya, Protvino)**
  - 148.5 MHz RFQ'da protonlar 100 keV'den 620 keV'e çıkarıldı (53% verim ile).
- **1977 - RFQ kavramı batıda ilk defa yayınlandıktan sonra LANL'ın ilgisini çekti.**
  - Bilgisayarda tasarım ve benzetim programları yazıldı.
- **1979 - LANL'da PoP RFQ çalışması başladı.**
  - 14 Şubat 1980 425 MHzlik RFQde protonlar 100 keV'den 640 keV'e çıkarıldı (87% verim).
- **2012 Türkiye kendi RFQ programını başlattı. (TAEK-SANAEM)**
- **Günümüzde dünyada yüzlerce RFQ kullanımdadır.**

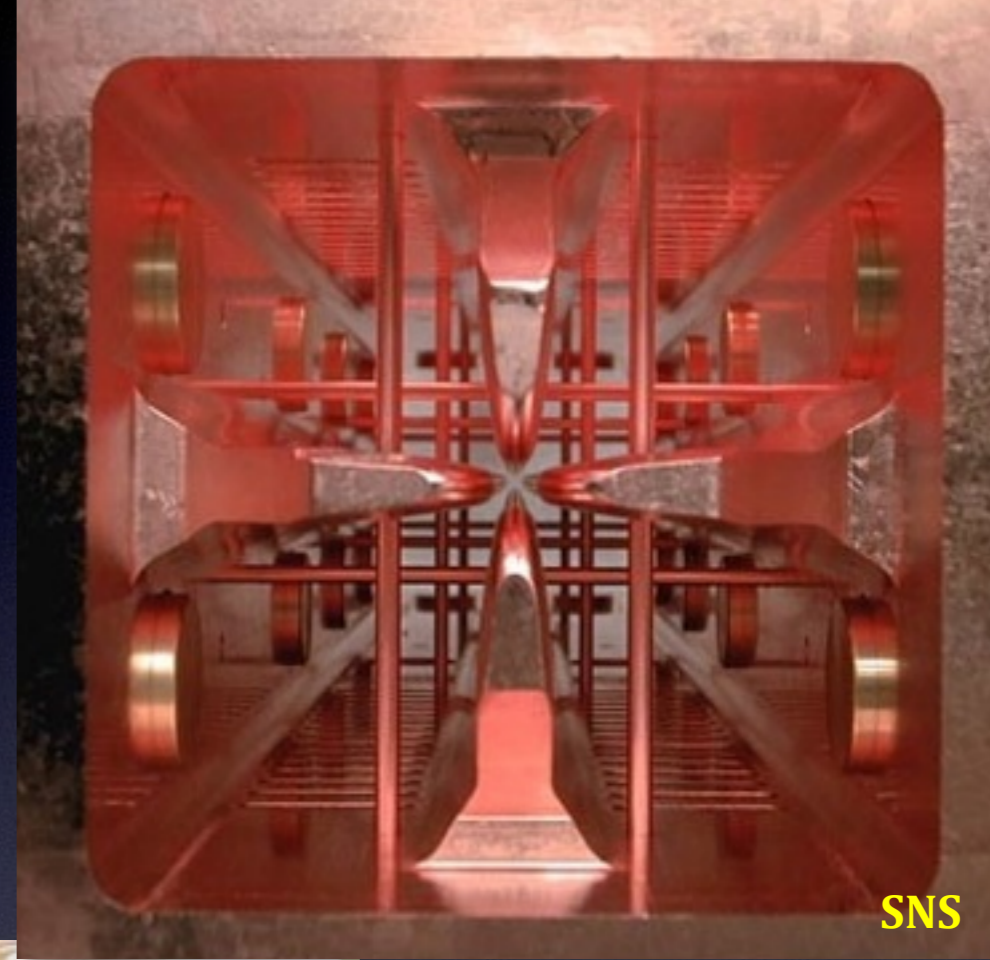




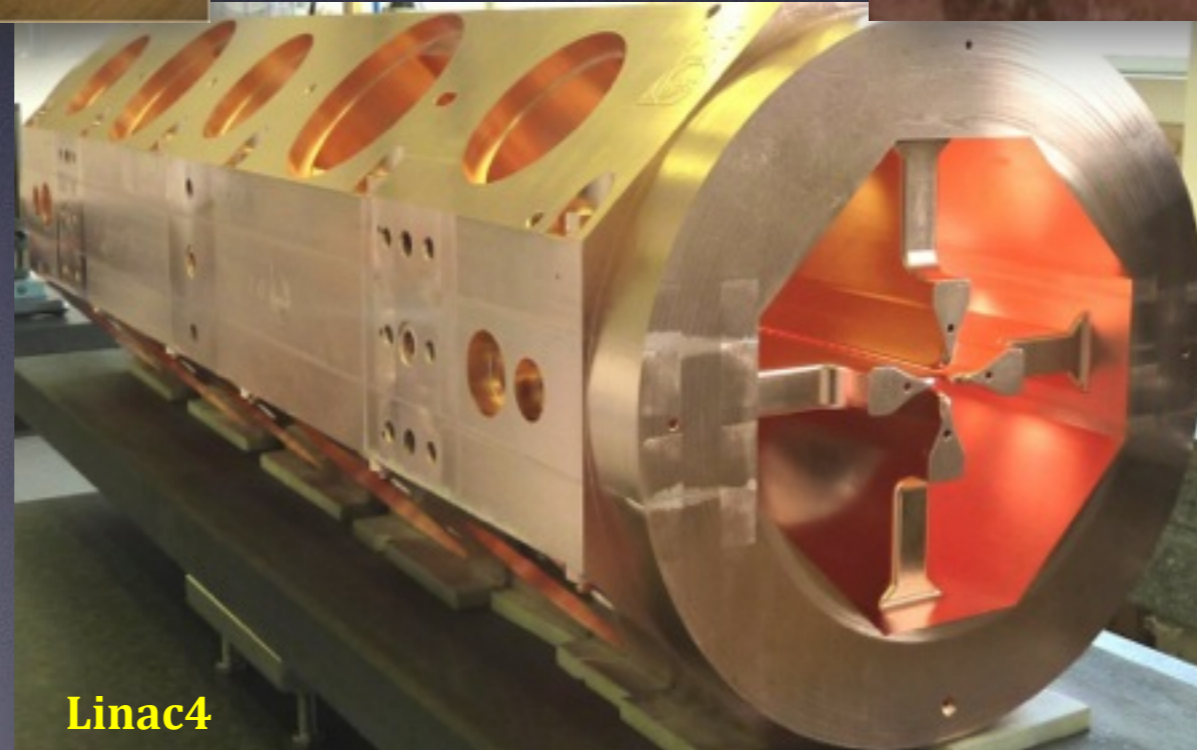
# 4-Kanatlı Örnekleri



IPHI



SNS



Linac4

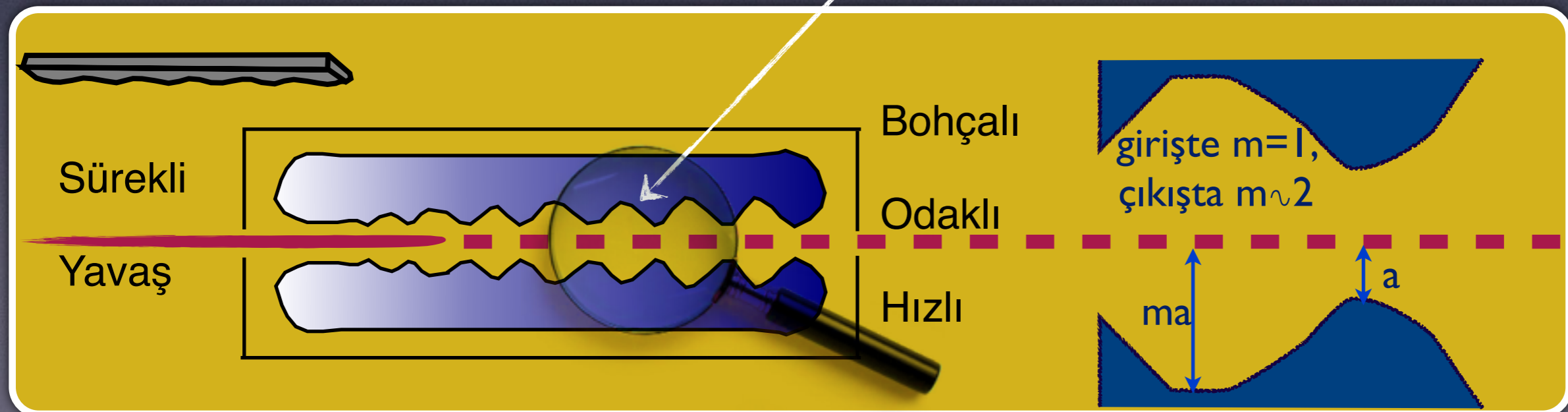


# RFQ nasıl çalışır?

## • Diş macunu tüpü davranışı

- 4uçlularda uygun evre (faz) ile sıkıştırılan demet ayrışır ve ilerlerken hızlanır.
- bohçalamayı da, odaklamayı da, hızlanmayı da **RF alan** sağlar

## • Gittikçe büyüyen kipleme (modulation) genliği gerektirir

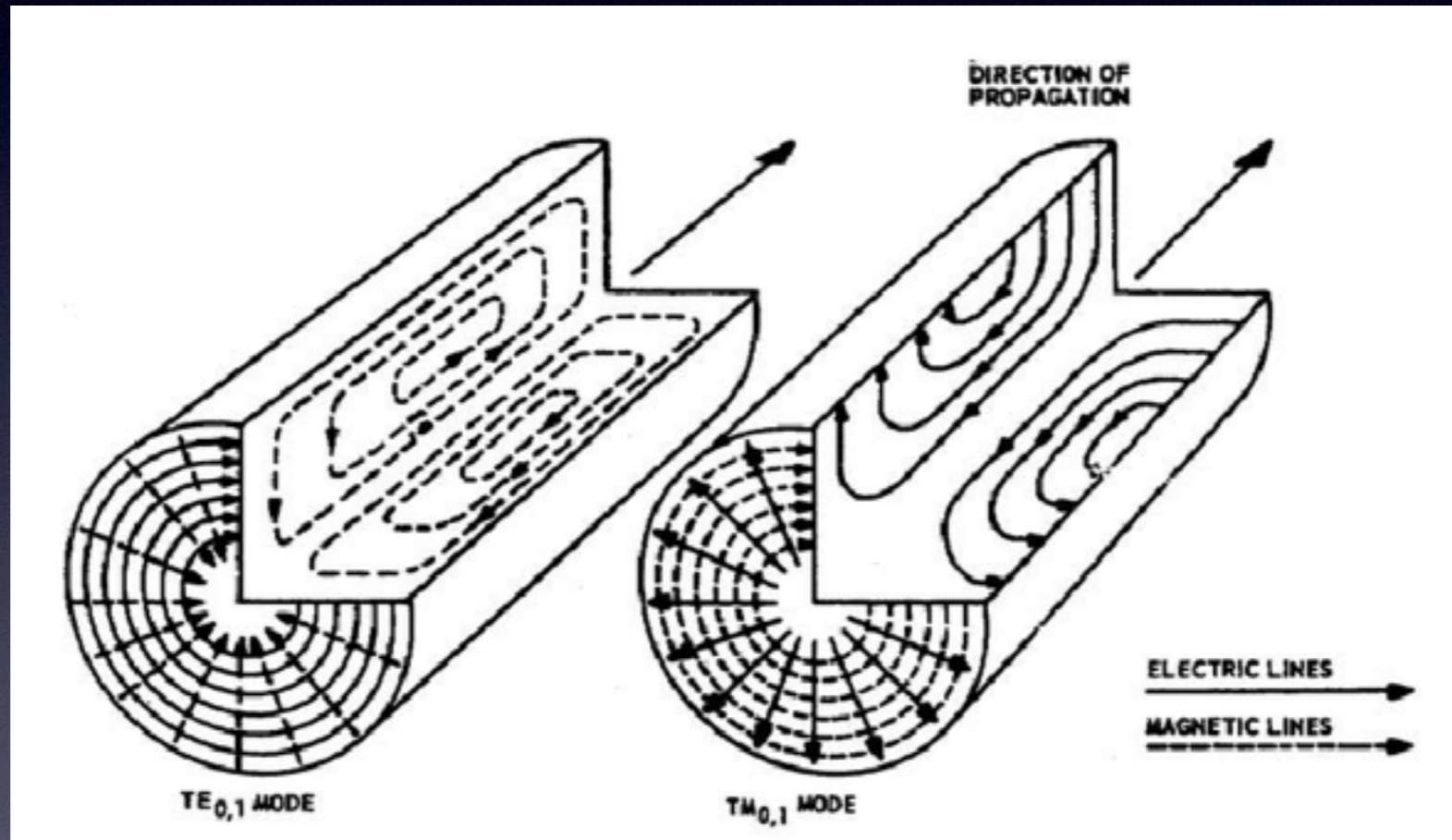




# Niteliksel olarak

'diş macununu' nasıl sıkıştırmalı?

TE mi (elektrik alanla) yoksa TM (manyetik alanla) mi?

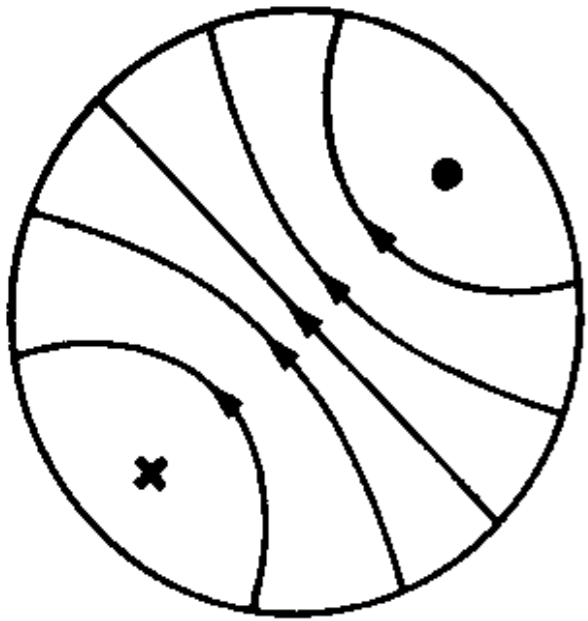


**Yanıt TE:**

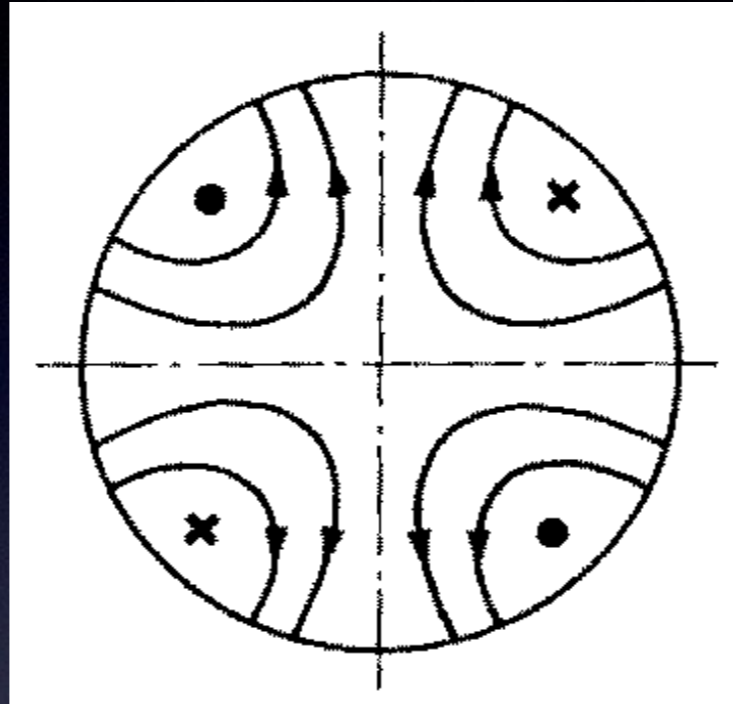
demetin ilerleme yönünde devamlı değişen E istemeyiz!  
 E ile çalışmak daha kolay: gecikme (hysteresis) yok.  
 $F=qE$  oysa  $F=qv.B$   $\rightarrow$  manyetik güç hızla orantılı.



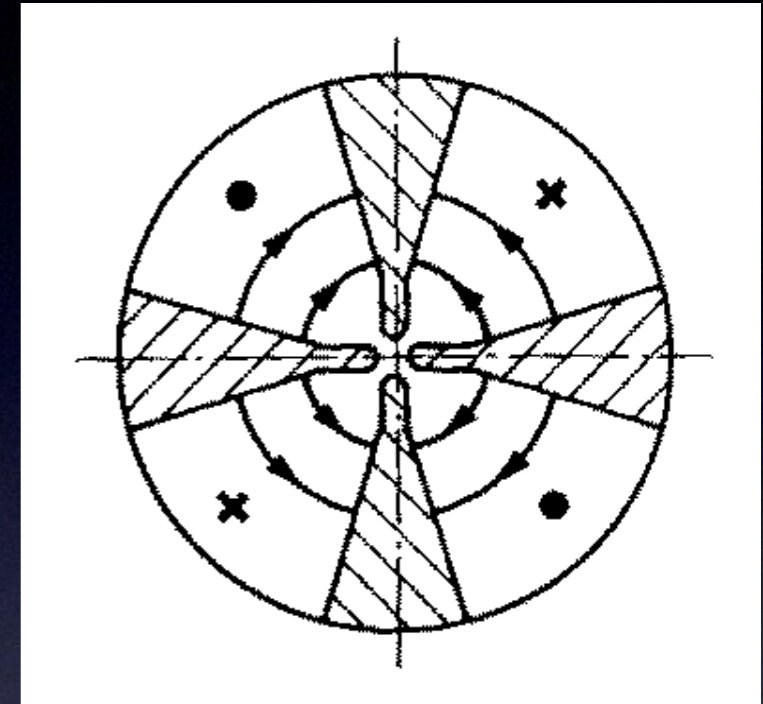
# TE kipleriyle oynamak



dipol  
 $TE_{110}$



kuadrupol  
 $TE_{210}$



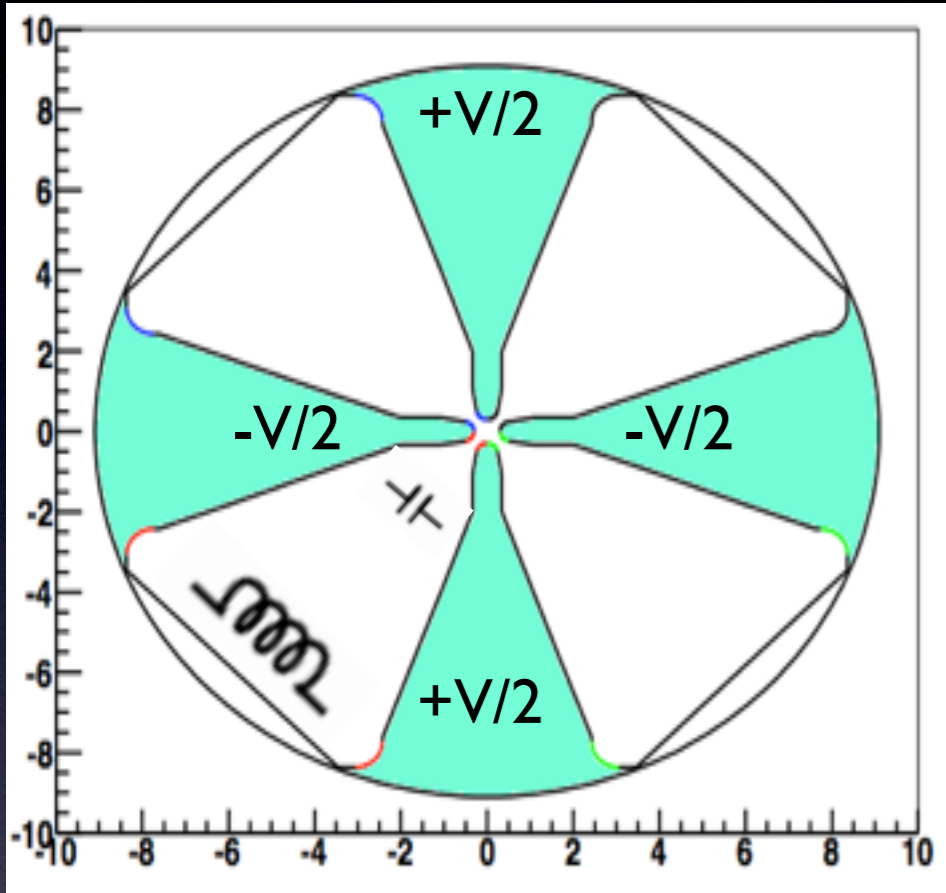
$TE_{210}$   
+kanatlar

- $TE_{mnl}$

- m: yönsel (azimuthal)  $\theta \rightarrow 2$  yani 4 uçlu (kutuplu) bir durum var.
- n: çapsal (radial)  $r \rightarrow 1$  yani r artsa da alan aynı yönde
- l: boysal (longitudinal)  $z \rightarrow 0$  yani alan yok.



# Kanatlar



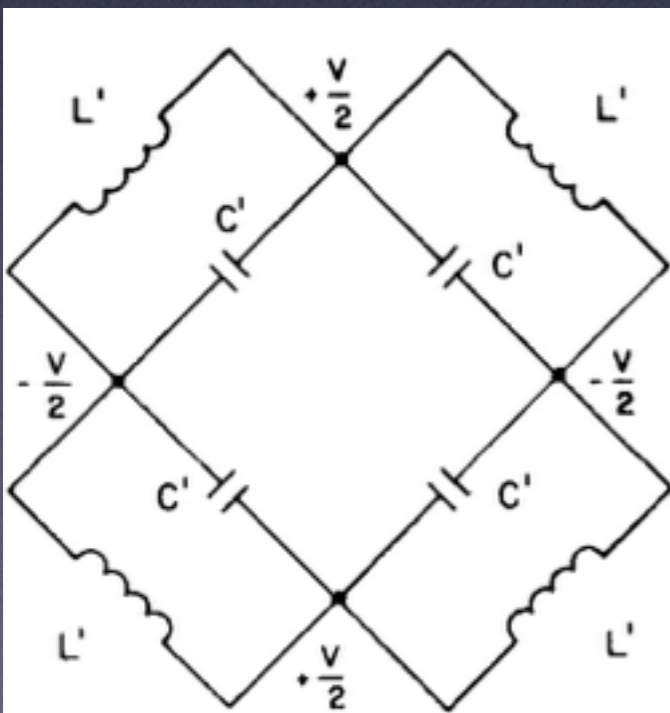
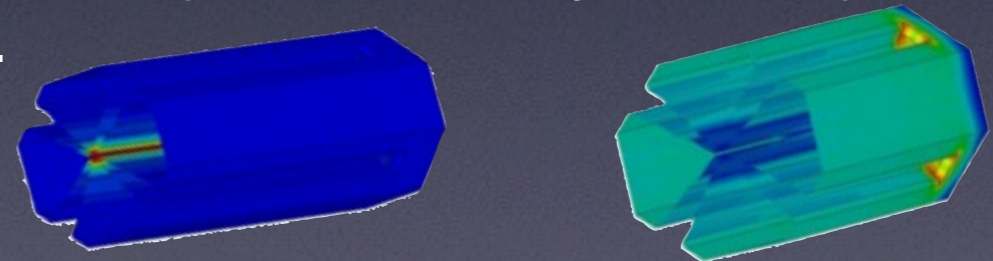
- Kanatları kıvıluç (elektrod) olarak düşünmeliyiz.

- kanat uçları arasını sığa (C) kanat dipleri arasını da (L) olarak düşünebiliriz.

- 4 LC tınlayıcısı elde edilir. Tınlama sıklığından RFQ çapı hesaplanır.

- Bu sayede eşdeğer elektrik devresi bulunabilir.

- elektrik enerji ortada, manyetik enerji kenarlarda birikir.

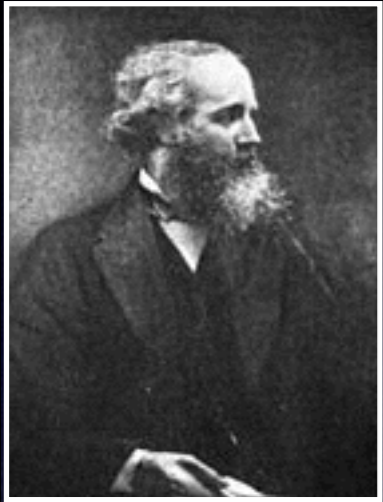


- *Demet yönünde kipleme ikincil etkilerle yine demet yönünde elektrik alan oluşur.*

- Bu sayede hızlanma gerçekleşir.



# Niceliksel olarak



$$\begin{aligned} \left( \nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \mathbf{E} &= 0 \\ \left( \nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \mathbf{B} &= 0 \end{aligned}$$

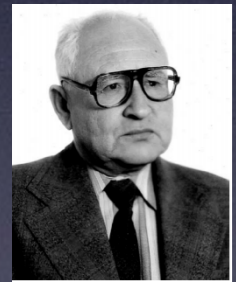
Kaynak içermeyen denklemlerle başlanır

dairesel koordinatlar duruma daha uygun

$$U(r, \theta, z, t) = V(r, \theta, z) \sin(\omega t + \phi)$$

E&B yerine potansiyel ile çalışmak daha uygun

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0$$



$$\begin{aligned} V(r, \theta, z) &= \sum_{s=0}^{\infty} A_s r^{2(2s+1)} \cos(2(2s+1)\theta) \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{s=0}^{\infty} A_{ns} I_{2s}(knr) \cos(2s\theta) \sin(knz) \end{aligned}$$

KT genel çözümü

KT basit çözümü:  $s=0$  &  $n=1$

$$V(r, \theta, z) = A_0 r^2 \cos(2\theta) + A_{10} I_0(kr) \cos(kz)$$



# 2 terimli potansiyel

$$V(r, \theta, z) = A_0 r^2 \cos(2\theta) + A_{10} I_0(kr) \cos(kz),$$

- $A_0, A_{10}$ : kıvrılma yapısından  $\theta=0$  ve  $\pi/2$  de hesaplanan değişmezler.

$$A_0 = \frac{V_0}{2a^2} \frac{I_0(ka) + I_0(kma)}{m^2 I_0(ka) + I_0(kma)}$$

$$A_{10} = \frac{V_0}{2} \frac{m^2 - 1}{m^2 I_0(ka) + I_0(kma)}$$

- Ek tanımlar

- $X$ : odaklama verimi

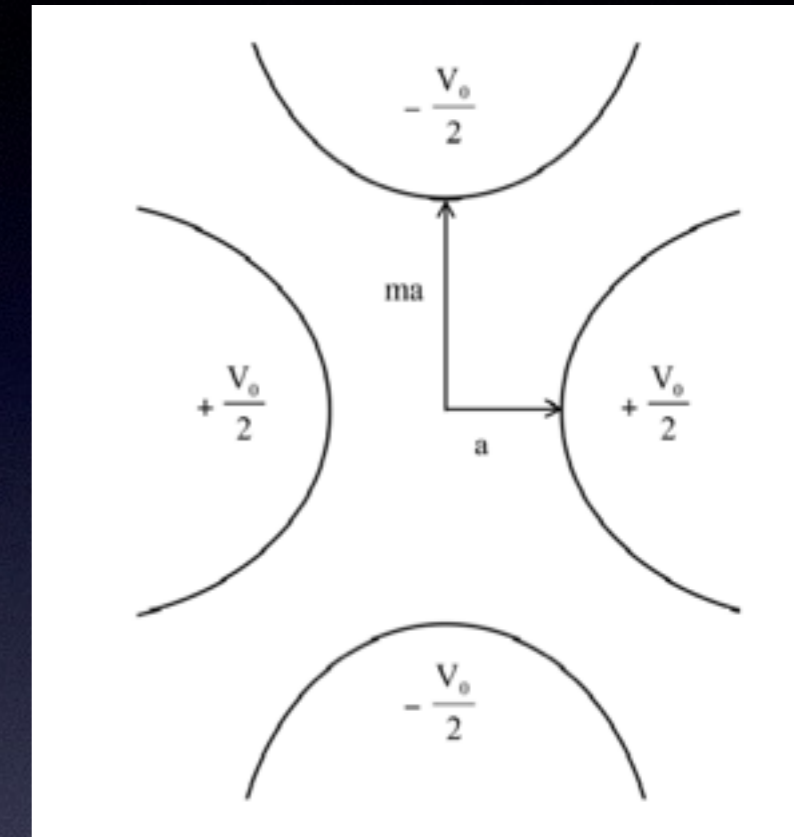
$$A_0 = (V_0/2a^2) X$$

- $A$ : hızlandırma verimi

$$A_{10} = (V_0/2) A$$

- Genel hesaplar 2 terimli işlev ile yapılır.

- En son tasarıma yönelik yazılımlarda çok kutuplu açılımın ilk 8 terimini kullanılır.

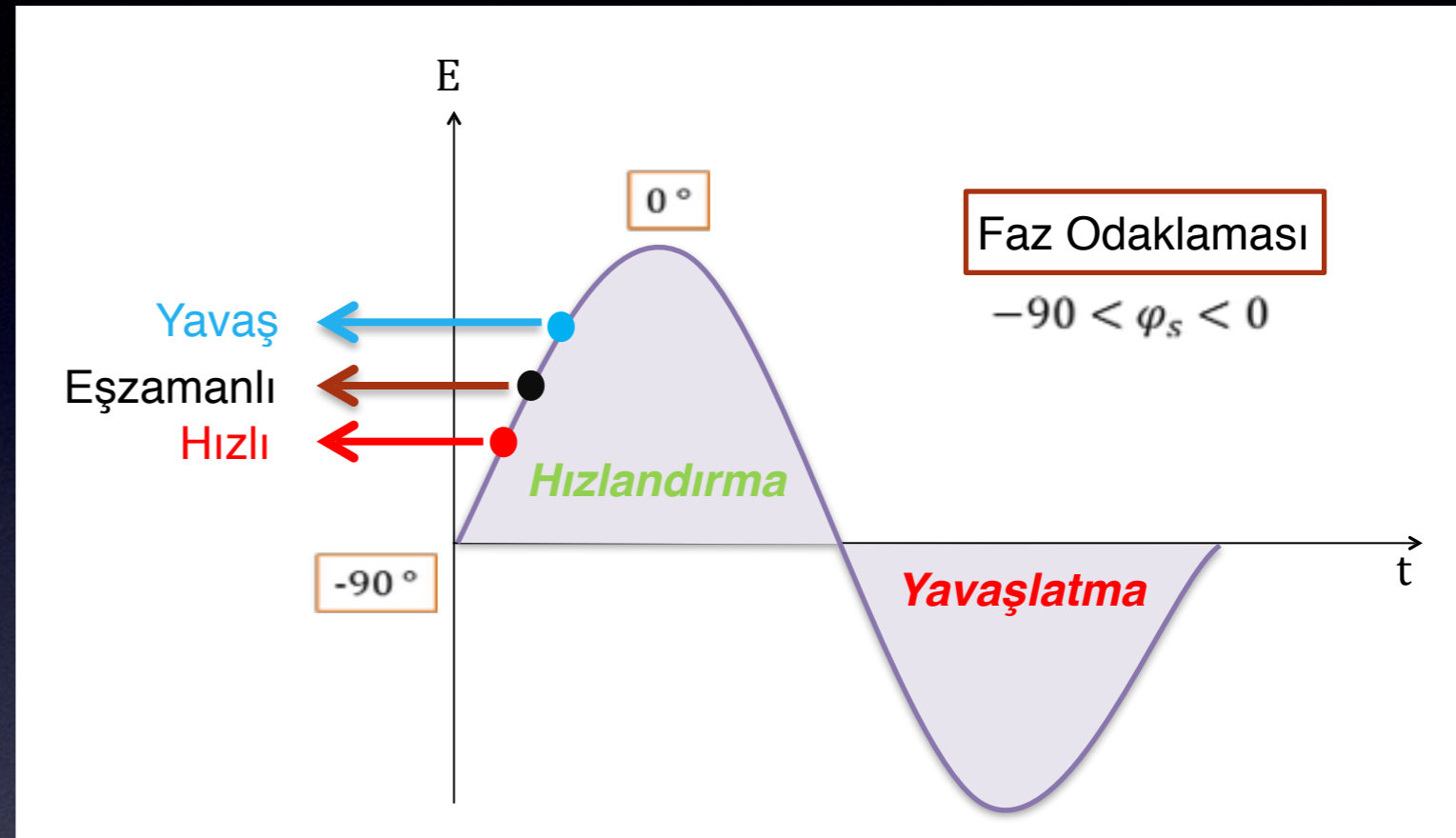
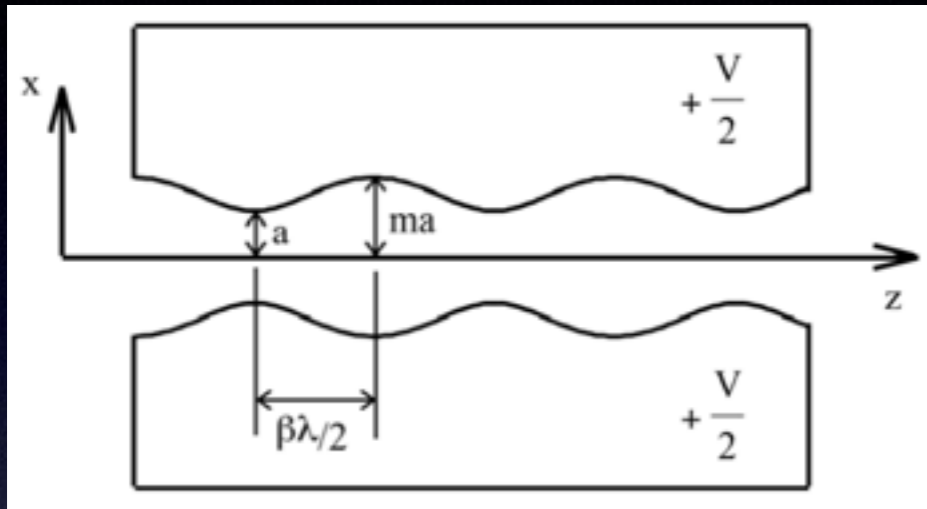


$$X + AI_0(ka) = 1$$

$$U(r, \theta, z) = \frac{V}{2} \left\{ A_{01} \left( \frac{r}{r_0} \right)^2 \cos 2\theta + A_{03} \left( \frac{r}{r_0} \right)^6 \cos 6\theta \right. \\ \left. + A_{10} I_0(kr) \cos kz + A_{30} I_0(3kr) \cos 3kz \right. \\ \left. + [A_{12} I_4(kr) \cos kz + A_{32} I_4(3kr) \cos 3kz] \cos 4\theta \right. \\ \left. + [A_{21} I_2(2kr) \cos 2\theta + A_{23} I_6(2kr) \cos 6\theta] \cos 2kz \right\}$$



# RF ile bohçalamak ve hızlandırmak



- Doğru evrede gelen parçacık istediğimiz gibi hızlanır.
  - Daha önde giden parçacık yavaşlar,
  - Daha geride kalan parçacık daha da hızlanır.
- Bu sayede bohçalama gerçekleşir

- $n$ ci odacığın boyu:  $\beta_n \lambda / 2$
- $n$ ci odacıkta kazanılan kinetik enerji:
  - $E_n = q \Delta V_n = q \int_0^{\beta_n \lambda / 2} E_{zn} dz$
  - $E_n = \frac{1}{4} \pi A_n V_n q \cos(\phi_n)$



# RFQ tasarlamak için

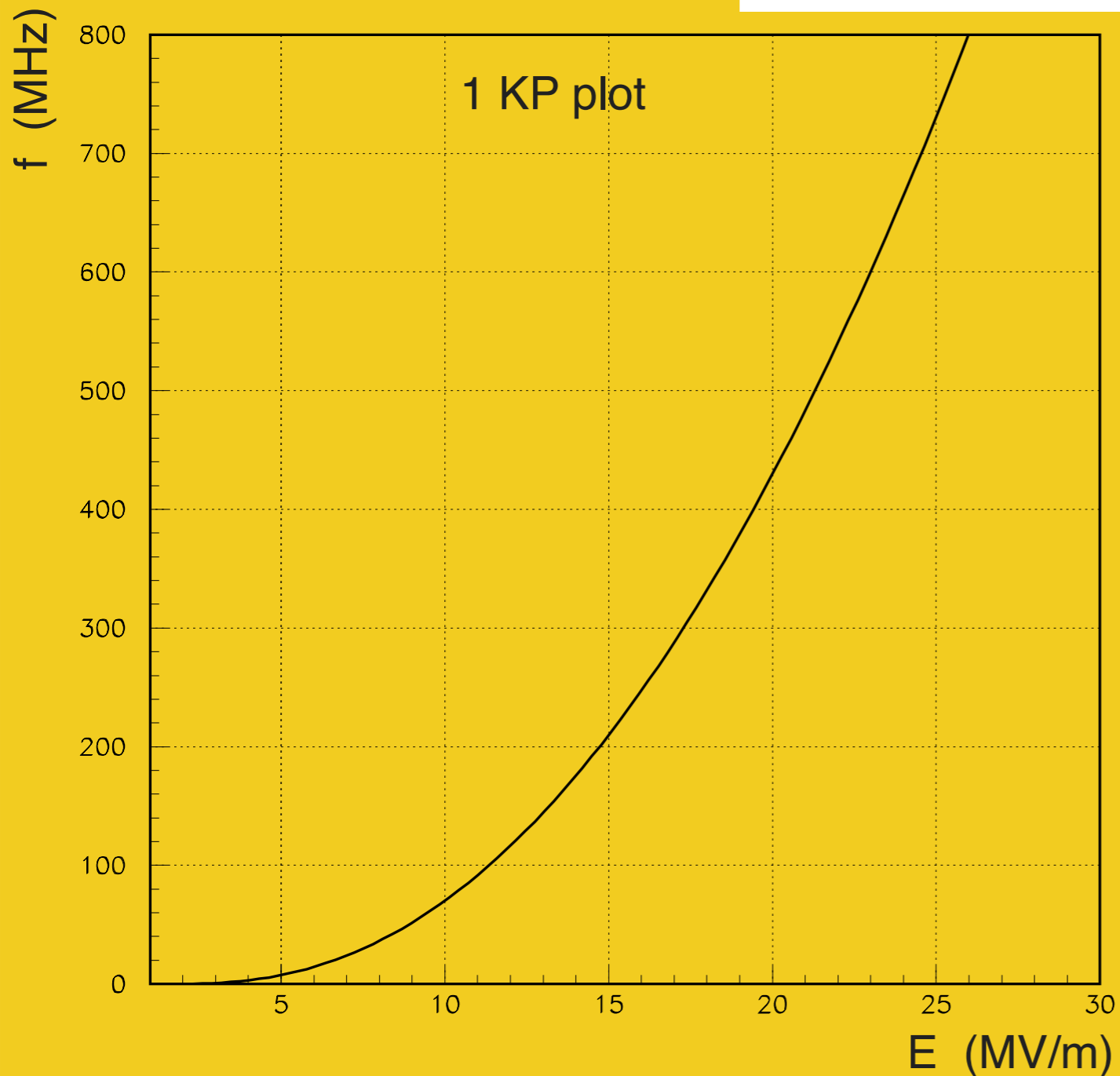
- Ne hızlandırılacak?
  - $H^-$ ,  $p^+$ ,  $D^+$  ?
- Hangi frekansta?
  - Kullanabileceğim RF güç kaynağı var mı?
- Giriş enerjisi ne? Çıkış enerjisi ne?
  - $E_{in}$  ne kadar azsa, o kadar çabuk bohçalarım.
- Giriş yayını ( $\epsilon$ ) ne?
- KP sınırından ne kadar uzaklaşılabilir?
  - Artık 1.8KP 'kolaylıkla' elde edilebiliyor.
- 4 büyükler nasıl olmalı?
  - $\phi$  : eşzamanlı faz
  - $a$  : demete ne kadar yaklaşmalıyım?
  - $m$  : kipleme nasıl olmalı?
  - $V$  : kanatlar arası gerilim, sabit mi? yoksa değişken mi?

KP: hızlandırıcılarda RF sıklığına göre atlama olmadan erişilebilir en yüksek elektrik alan, MV/m olarak kullanılır. 1950 lerde D. Kilpatrik anısına kullanılan kısaltma.



# Kilpatrick

$$f = 1.64 \times E^2 \times e^{-8.5/E}$$



- Denklem: veriye eğri oturtarak elde edilmiş
  - f sıklığındaki RF alan ile atlama olmadan elde edebileceğim en büyük elektrik alan nedir?
- eğer f ↗ o zaman E ↗
- 1950'den kalma veri
  - deneylerde normal Cu kullanılmış
  - Vakum şartları modern değil
- Günümüzde atlama olmadan ~1.8 KP yapılabilir: OFE Cu ve daha iyi vakum buna izin verir.



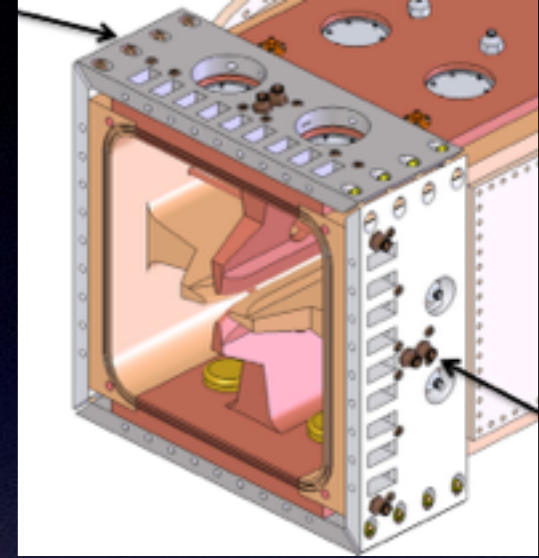
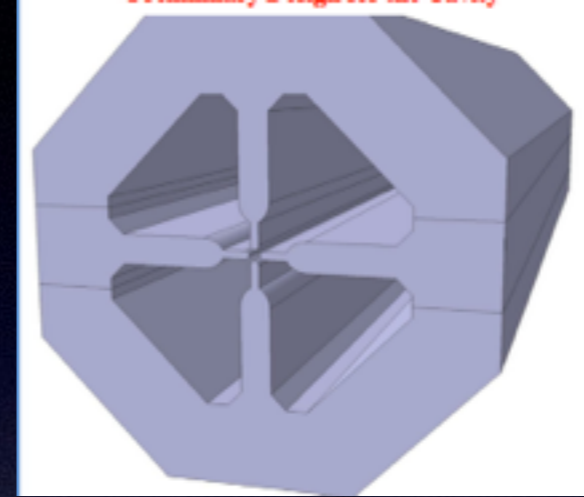
# Diğer Kararlar

- **Gövde Biçimi**

- Silindir, 8gen, Kare

- **Çalışma RF değeri**

- Elinizdeki güç kaynağını kullanmaya bakın...
- İletim hattı: dalga kılavuzu? coax cable?



- **Malzeme seçenekleri**

- OFE Cu veya Al üzeri Cu kaplama?

[http://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen-free\\_copper](http://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen-free_copper)

- **Birleştirme seçenekleri**

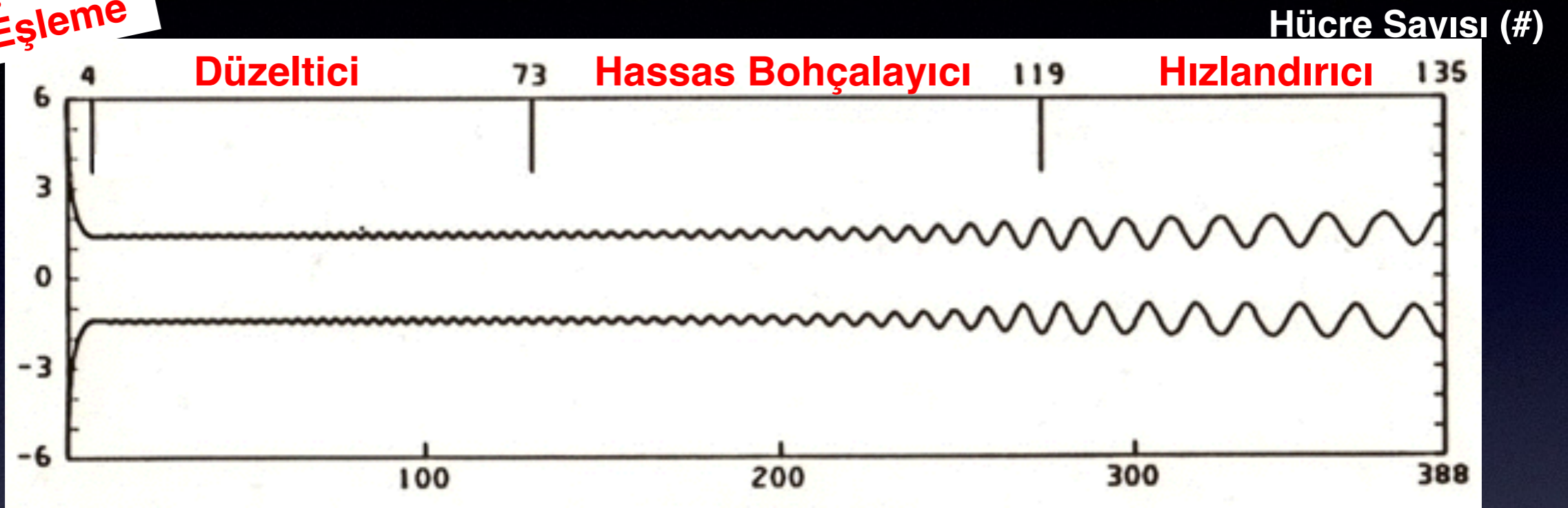
- Fırınlama (brazing)? veya??



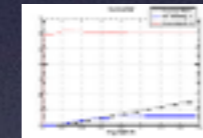
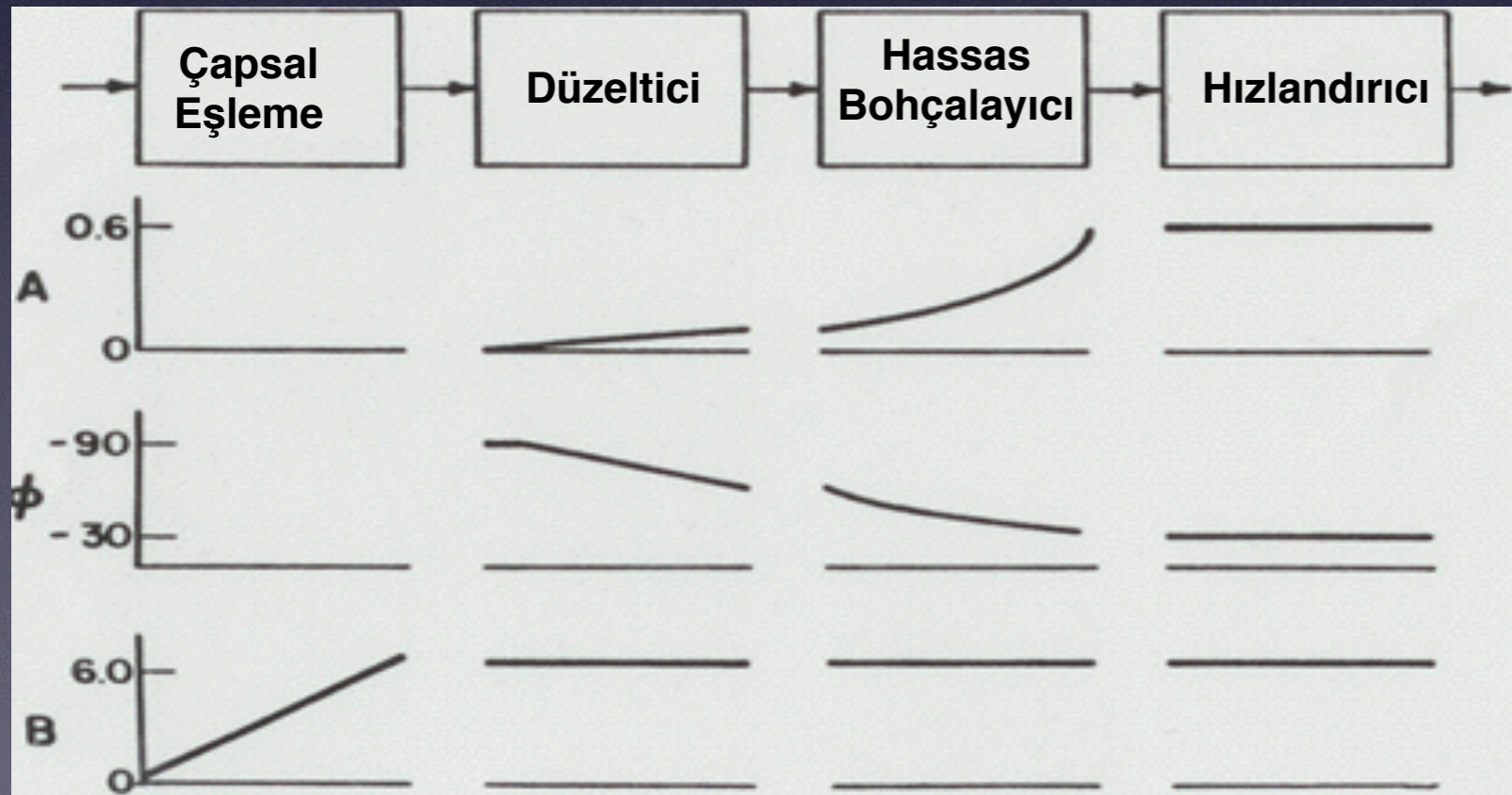
# LANL 4bölge yöntemi

Çapsal Eşleme

Kanat kesiti (cm)



Kanat uzunluğu (cm)



A: hızlanma verimliliği

B: odaklama gücü

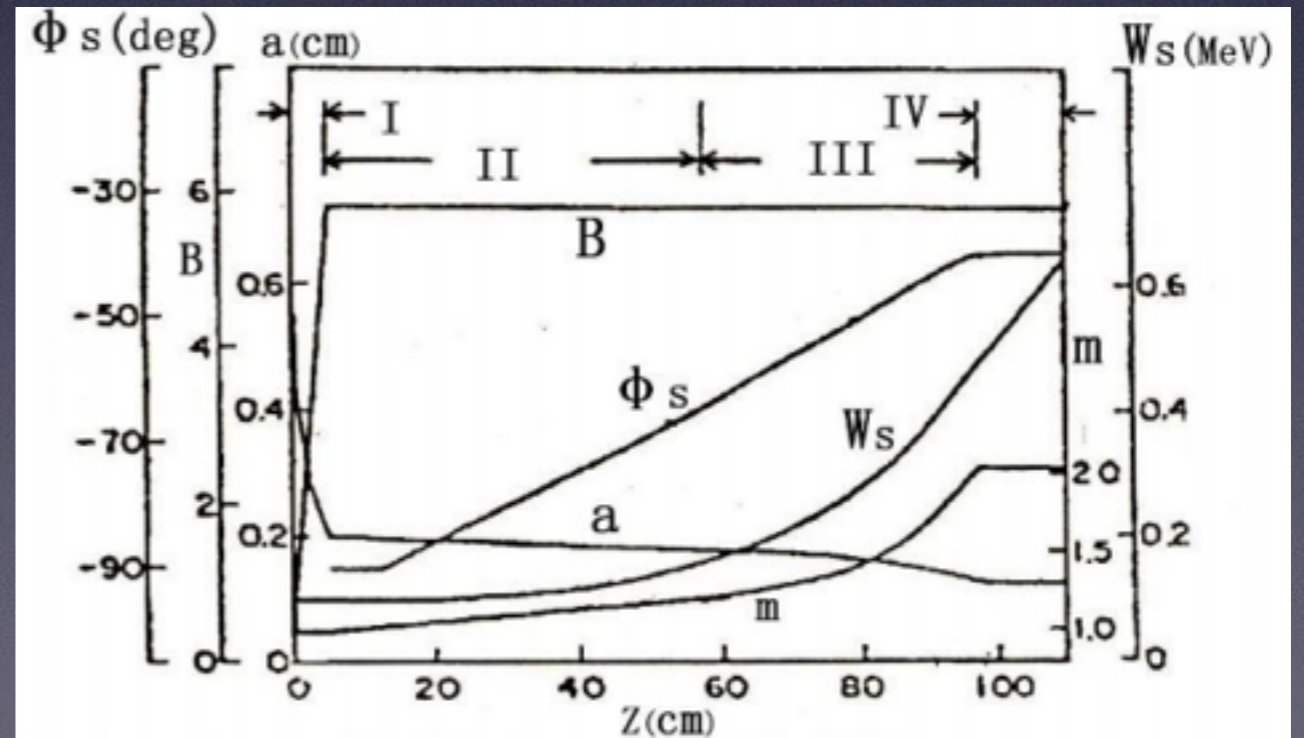
$m, \Phi$  gibi değişkenlerin tasarım sonucu karar verilen değerler, CNC tezgahlarda işlenen kanat yüzeylerince sağlanır



# tasarım

352.2	20	1.8	
RFfreq (MHz)	Ein (kV)	KP	
V(kV)	phi	m	
		a(cm)	
60	-90.00	1.000	1.53
60	-90.00	1.000	0.53
60	-90.00	1.000	0.33
60	-90.00	1.000	0.28
60	-90.00	1.000	0.28
60	-90.00	1.000	0.28
60	-90.00	1.000	0.28
60	-90.00	1.000	0.28
60	-90.00	1.001	0.28
60	-90.00	1.001	0.28
60	-90.00	1.002	0.28
60	-90.00	1.002	0.28
60	-90.00	1.003	0.279
60	-90.00	1.004	0.279
60	-90.00	1.004	0.279
60	-90.00	1.005	0.279
60	-90.00	1.006	0.279
60	-90.00	1.008	0.279
60	-90.00	1.009	0.279
60	-90.00	1.010	0.279
60	-90.00	1.011	0.278
60	-90.00	1.013	0.278
60	-90.00	1.014	0.278
60	-90.00	1.016	0.278
60	-90.00	1.018	0.277
60	-90.00	1.020	0.277
60	-90.00	1.022	0.277
60	-90.00	1.024	0.277
60	-90.00	1.026	0.276
60	-90.00	1.028	0.276
60	-90.00	1.030	0.276
60	-90.00	1.032	0.275
60	-90.00	1.035	0.275
60	-90.00	1.037	0.275
60	-90.00	1.040	0.274
60	-90.00	1.043	0.274
60	-90.00	1.046	0.274
60	-90.00	1.048	0.273
60	-90.00	1.051	0.273
60	-90.00	1.054	0.272
60	-90.00	1.058	0.272
60	-90.00	1.061	0.271
60	-90.00	1.064	0.271

- Tasarım yapmak yandaki gibi bir tablo üretmektir.
  - bazı değerler sabit (freq.)
  - bazı değerler odacık numarasına göre değişir
  - .....
- sonraki adım bu tasarımın demet dinamiği özelliklerine bakmaktır.



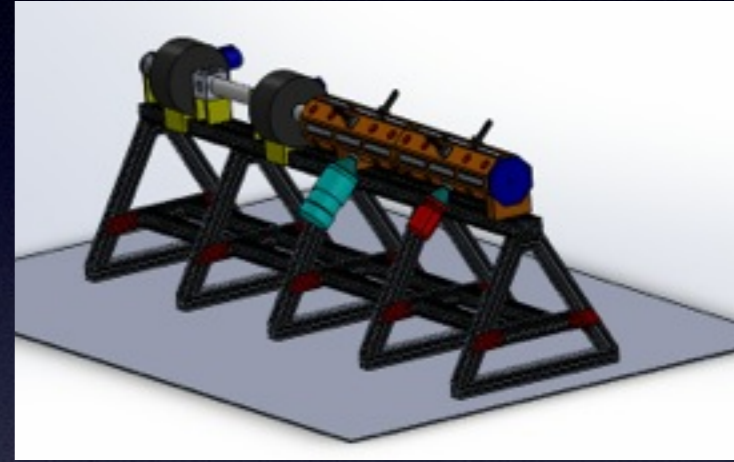




# Sanaem Promete Projesi

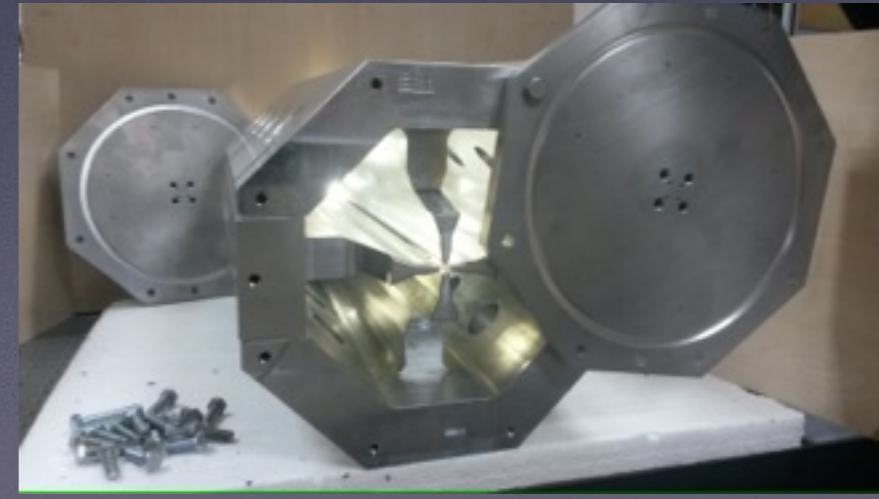
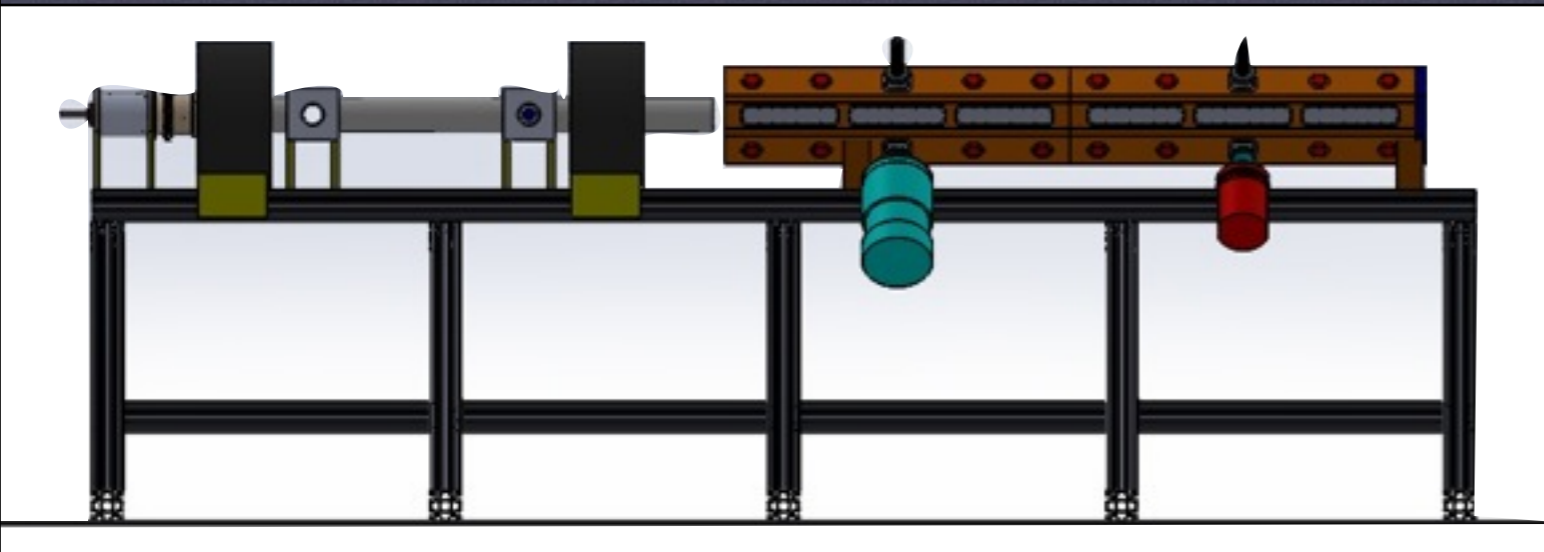
## • Özellikler

- Promete projesi TAEK-SANAEM de bir RFQ yapmak üzerinedir. En az 1 MeV'e ulaşmak amaçlanmıştır.
- Bütün tasarım ve üretim Türkiye'de yapılacaktır.



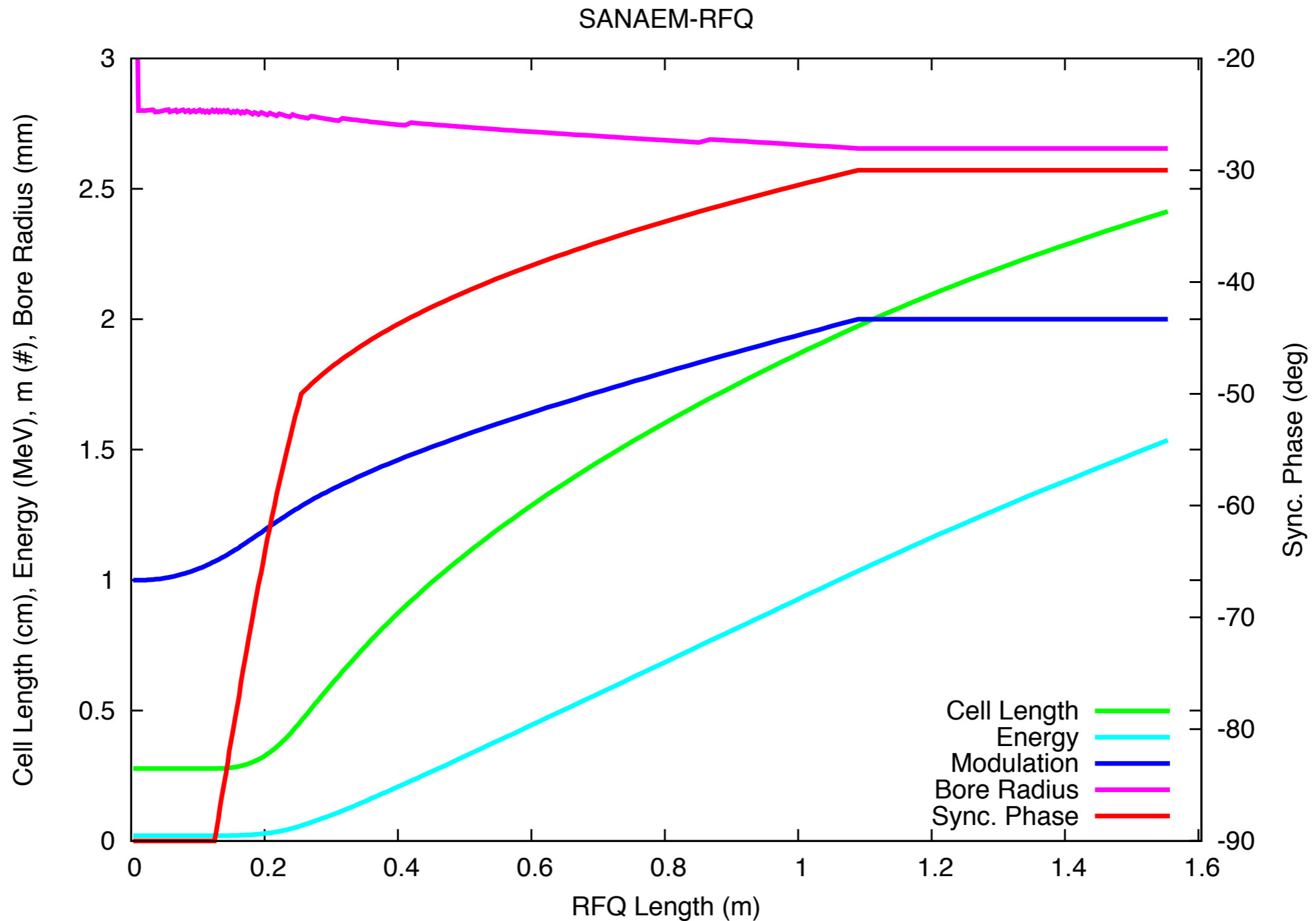
## • Durum

- 3.5 Yıllık bu proje 2012 yazında başlamış olup, kavramsal tasarım bitmiş, mühendislik aşamasına geçilmiştir.
- Üretim ve ölçüm çalışmalarında iş gücüne gereksinim var.

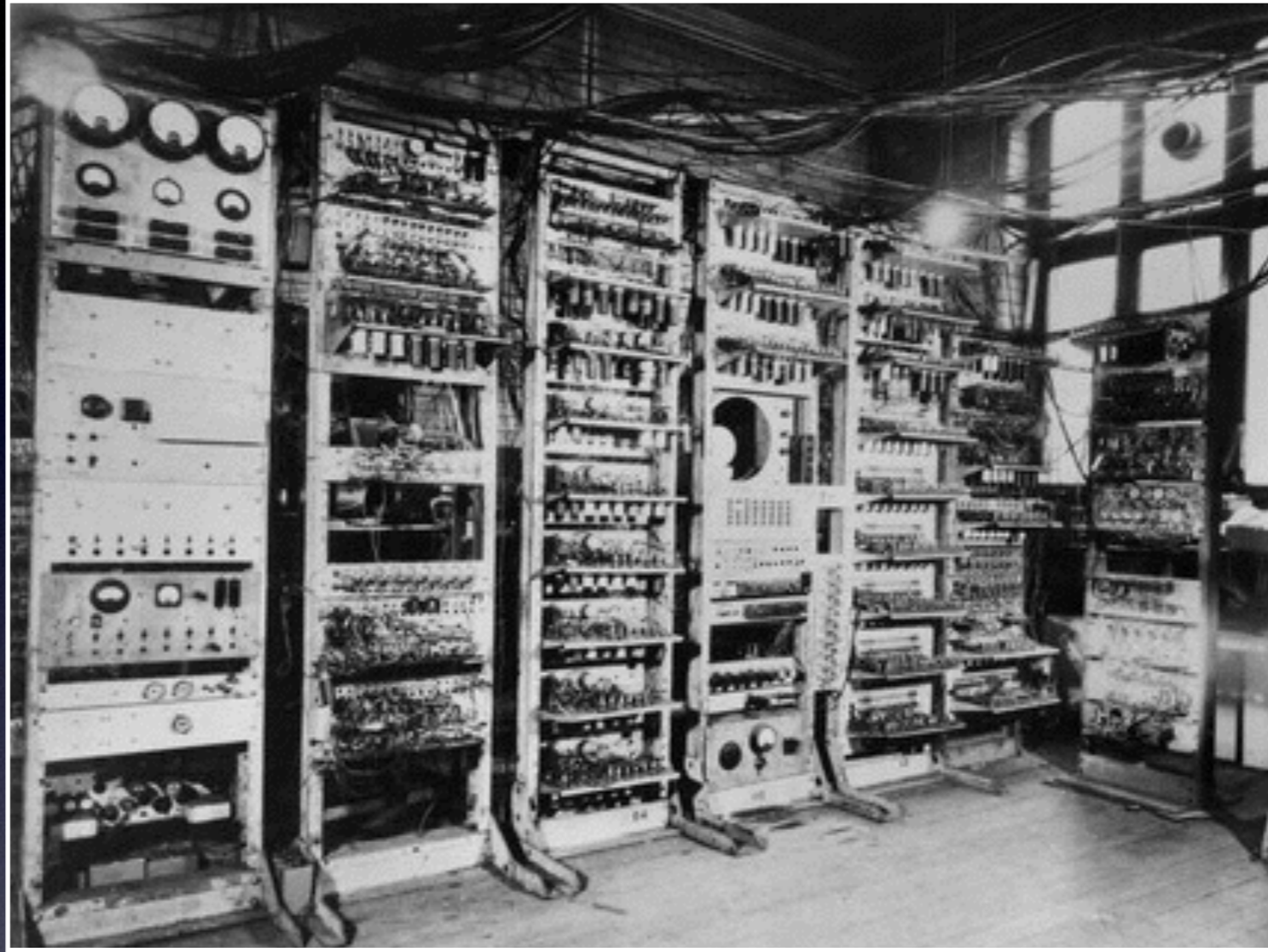




# SPP tasarım.1







Kısım 2: bilgisayar ile



# “alet işler, el övünür”

- RFQ çalışmalarının başladığı yıllardan beri tasarım bilgisayarla yapılıyor. Bu konuda sınırlı sayıda yazılım var.
- RFQ konusunda var olan belli başlı yazılımlar



- **Lidos:** Rusya’da geliştirilmiş yazılım, tasarım ve demet dinamiği benzetimi yapıyor, windows da çalışıyor, satın alınabilir.
- **Parmteq:** ADB’de geliştirilmiş yazılım, tasarım ve demet dinamiği benzetimi yapıyor, windows da çalışıyor, satın alınması sorunlu.



- **Benelos:** Fransa’da CEA’nın yazılımı, tasarım yapıyor(muş), kaybolmuş...

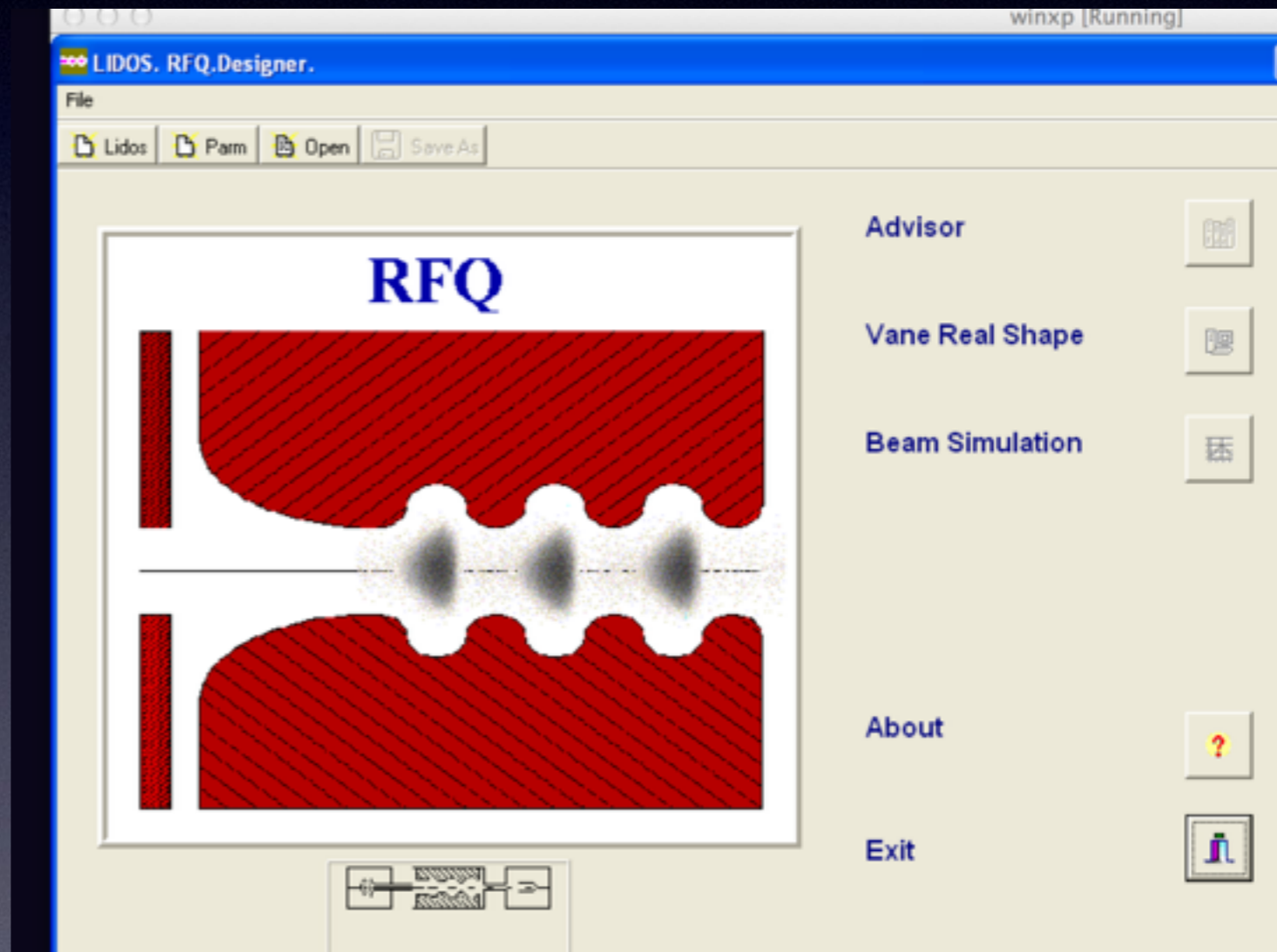


- **Toutatis:** Demet dinamiği benzetimleri yapıyor. Linux, Mac, Windows.
- **Demirci:** Biz yazdık, tasarım yapıyor; Linux ve Mac de çalışıyor.



# Lidos Genel

- 3 ana kısımdan oluşur.  
Sırasıyla:
  - Advisor
    - İlk tasarım (2 terimli potansiyel ile kaba hesap)
  - VaneShape
    - Kanatların üretime uygun şekilde hesaplanması (8 terim)
  - BeamDynamics
    - Giren demetin özelliklerine göre demet dinamiği hesapları





# Lidos.Advisor 1

winxp [running]

Adviser. RFQ

Run Close

Preliminary Calculation Simulation

Linac Parameters

Name	Value
E input, MeV	0.04
E output, MeV	3.0
Frequency, MHz	400.0
E / Ek	1.8

Beam Parameters

Name	Value
Charge Number	1
Mass Number	1
Current, mA	10.0
Emitance, $\pi^*cm^*mrad$	1.0

Intervane Voltage = 57.60 kV

OK

Cavity Parameters

Pcu lim, kW/m 175

r, mm	Roe, kOhm*m
0	0
0.2	12.33
1	20.04
2.5	34.68
5	42.86
10	52.10
20	64.74
40	79.70

Roe (kOhm/m) vs r (mm)

0.00 16.0 32.0 48.0 64.0 80.0

0.00 10.0 20.0 30.0 40.0 50.0

Ok

Adviser. RFQ

Graph Calc Run

Preliminary Calculation Simulation

Linac Parameters

Name	Value
E input, MeV	0.04
E output, MeV	3.0
Frequency, MHz	400.0
E / Ek	1.8

Beam Parameters

Name	Value
Charge Number	1
Mass Number	1
Current, mA	10.0
Emitance, $\pi^*cm^*mrad$	1.0

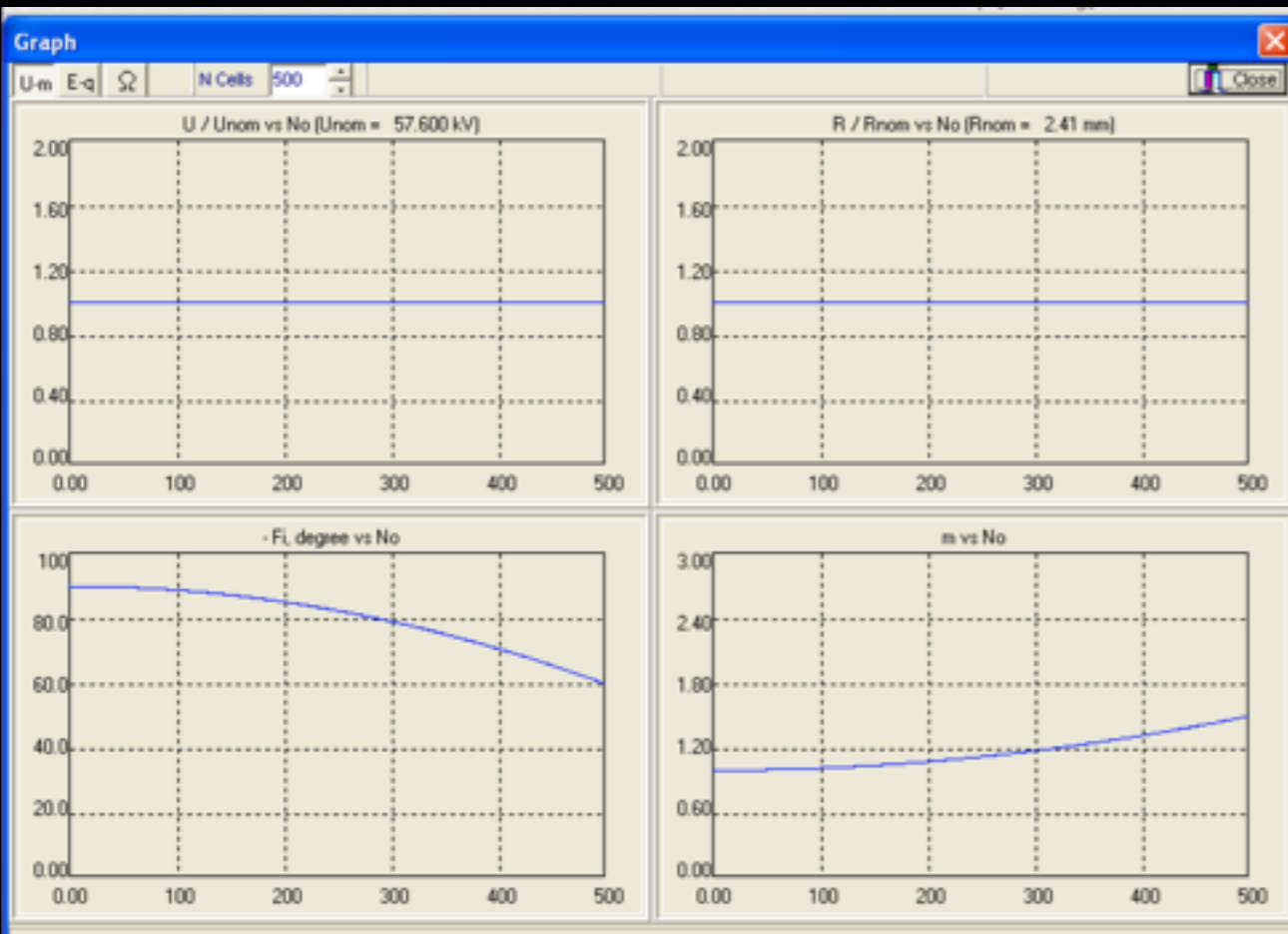
Intervane Voltage = 57.60 kV

OK

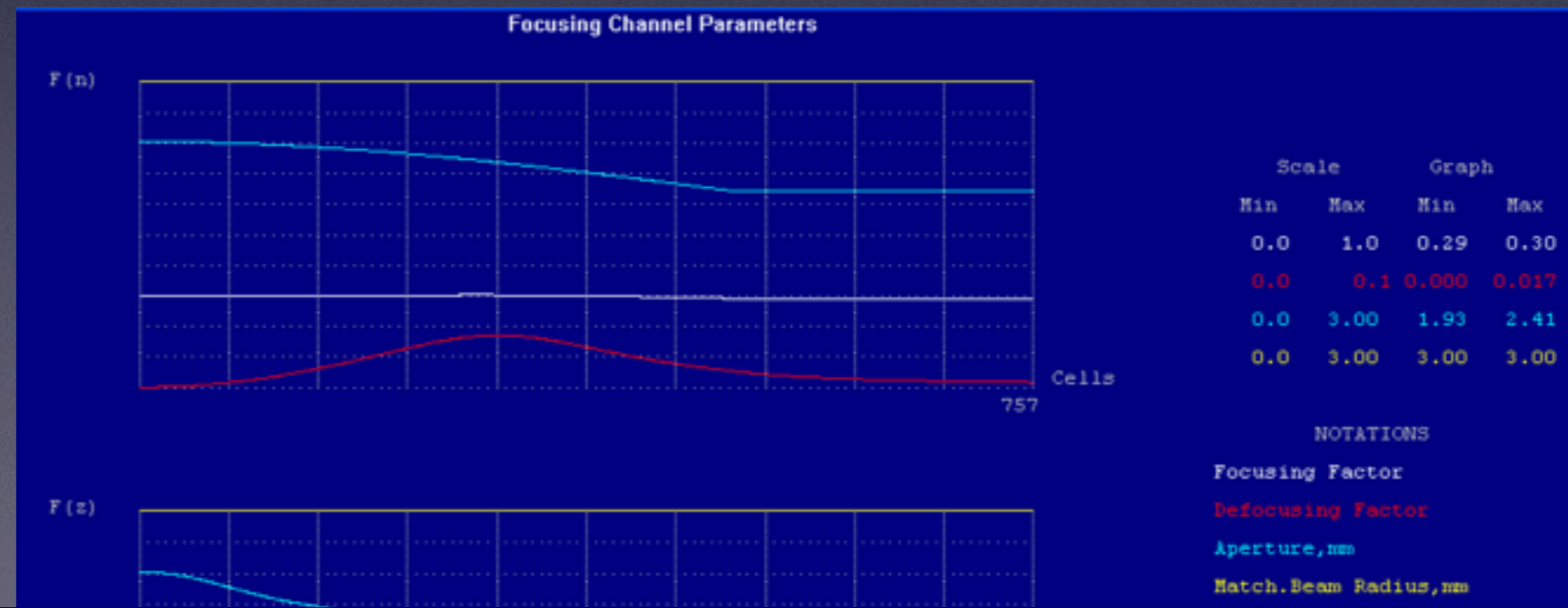
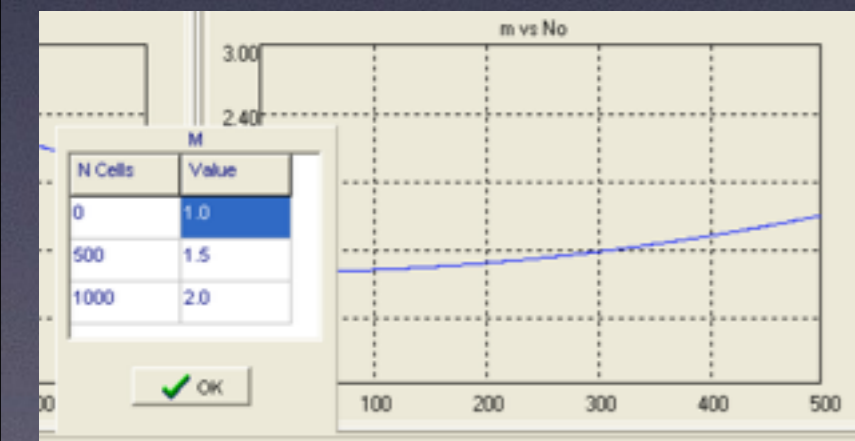
- Genel değişkenlerin belirlenmesi



# Lidos.Advisor 2

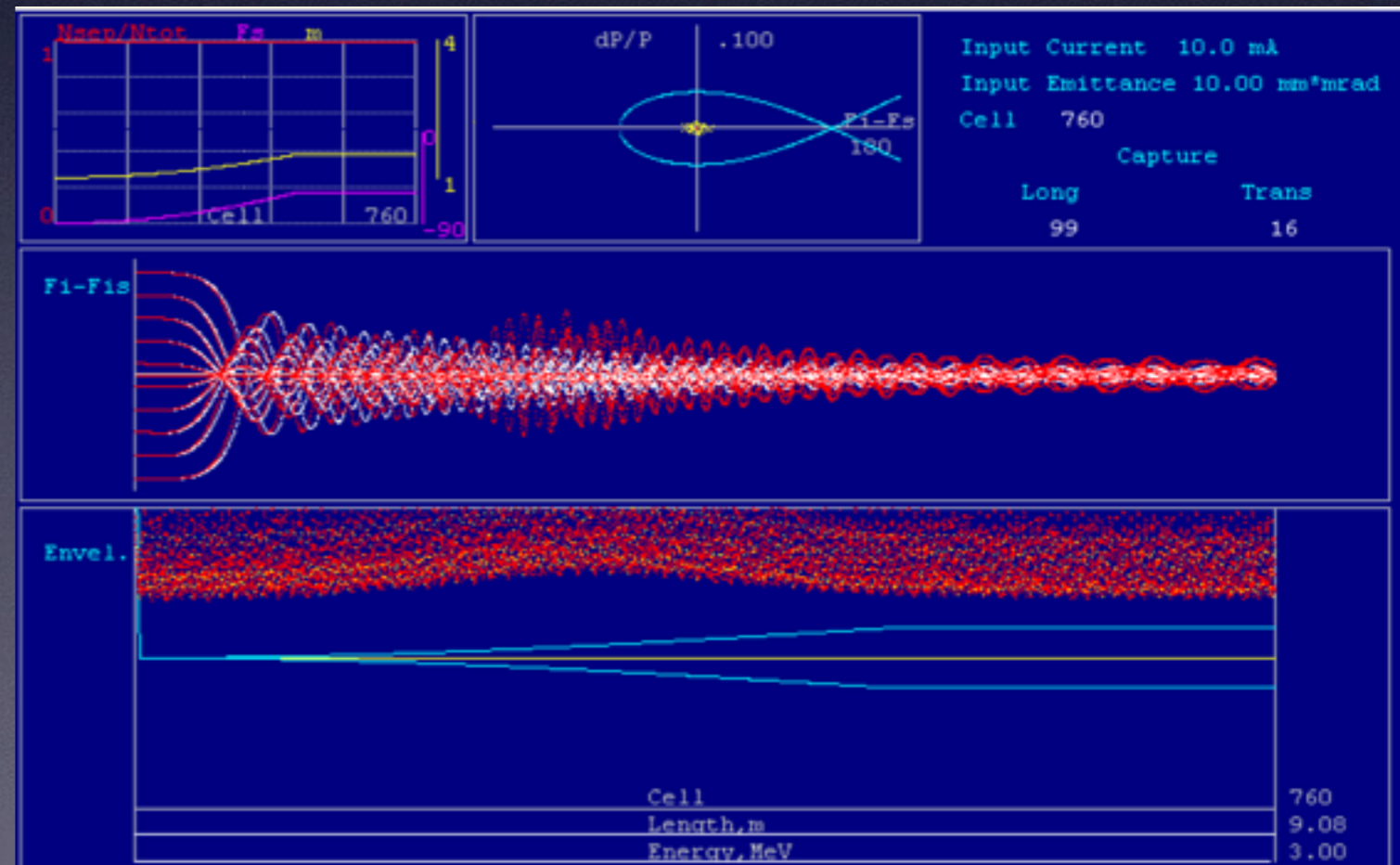
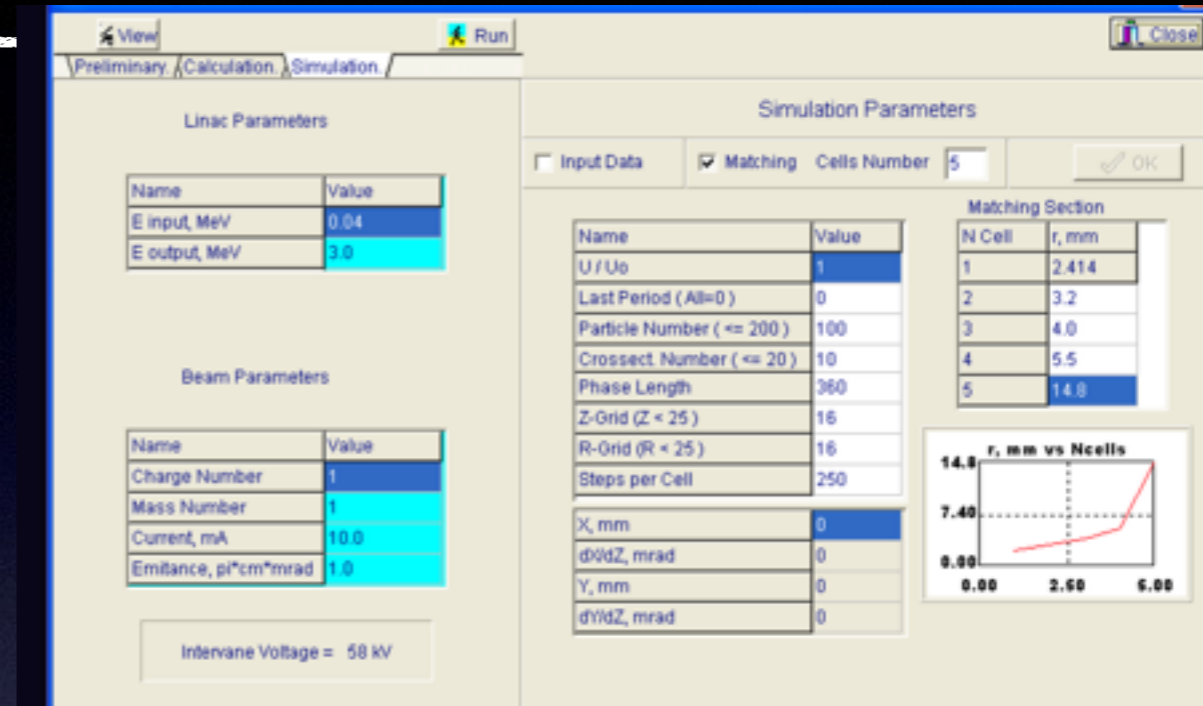
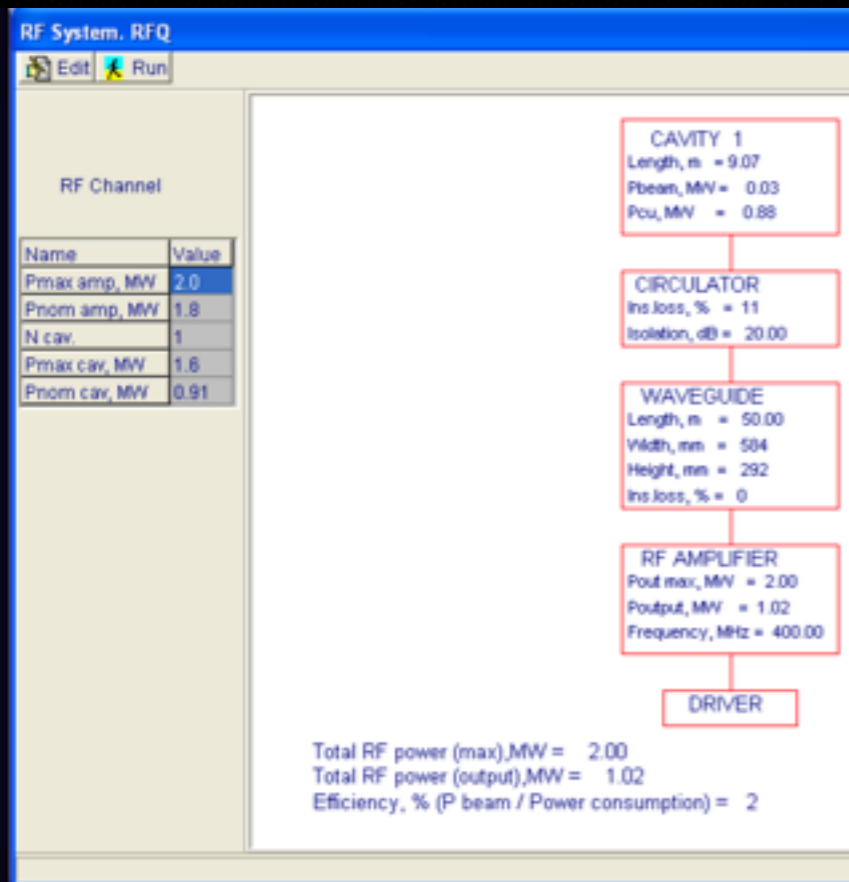


- Tasarım buradan yapılır.
  - Parametrelerin nasıl değişeceği buradan verilir.
- Tasarımda sonunda RFQ özelliklerinin z boyunca nasıl değiştiği görülebilir.





# Lidos Advisor 3

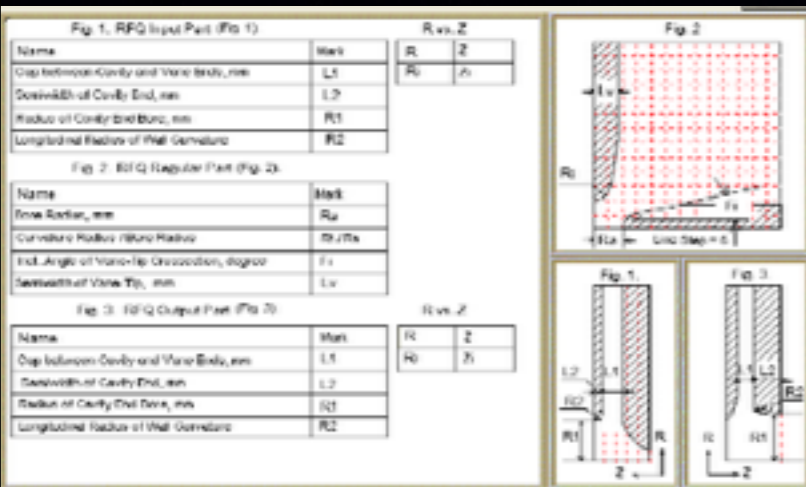


- Güç gereksinimi
- Basit demek dinamiği hesapları

•2. aşamaya geçiş...



# Lidos.VaneShape



Tools

Input Part  Output Part Number of Gaps: 0 Show Run ? Notation Close

**RFQ Input Part**

Name	Value	Z, mm	R, mm
Gap between Cavity and Vane Ends, mm	3	0.0	2.414
Semiwidth of Cavity End, mm	3.928	3.464	3.2
Radius of Cavity End Bore, mm	1.0	6.929	4.0
Longitudinal Radius of Wall Curvature, mm	2	10.393	5.5

**RFQ Regular Part**

Name	Value
Bore Radius, mm	2.414000
Curvature Radius / Bore Radius	0.7
Incl. Angle of Vane-Tip Crosssection, degree	35
Vane-Tip Semiwidth, mm	2.2

**RFQ Output Part**

Name	Value	Z, mm	R, mm
Gap between Cavity and Vane Ends, mm		0	2.414000
Semiwidth of Cavity End, mm			
Radius of Cavity End Bore, mm			
Longitudinal Radius of Wall Curvature, mm			

**Fragment of the Cavity Cross-section**

Lines Step = 6

**R vs Z (Input)**

OK

- 8 terimli işlev ile kanatların ayrıntılı tasarımı



# Lidos.BeamDynamics

HPFBU-2014

The screenshot shows the Lidos.BeamDynamics software interface. The 'Input Data' table is as follows:

Name	Calc	Sim
E input, MeV	0.04	0.04
Frequency, MHz	400.0	400.0
Charge Number	1	1
Mass Number	1	1
Current, mA (Io)	10.0	10.0
Emitance X, pi*cm*mrad	1.0	1.0
Emitance Y, pi*cm*mrad	1.0	1.0
U / Unom	1	1
Accel. Length, m	9.09	9.09
Particle Number (Main Ion)	50000	50000
Calculation Step, degree	5	5
Ext. Grid Step X,Y, mm	0.362	0.362
Ext. Grid Step Z, mm	0.577	0.577
Nz in Coulomb Grid	30	30
Nx,y in Coulomb Grid	30	30
dP / P	0	0
X, mm	6.171	6.171
Y, mm	6.171	6.171
dX / dZ, mrad	-234.147	-234.147

The 'Distribution' section has radio buttons for Uniform (selected), Gauss, and Waterbag. The 'Field' section has radio buttons for Ideal and Real (selected).

The 'Graph Parameters' section has input fields for X, Ymax, mm (7.2), dX,Y/dZ max, mrad (200), and dP/P, max (0.1).

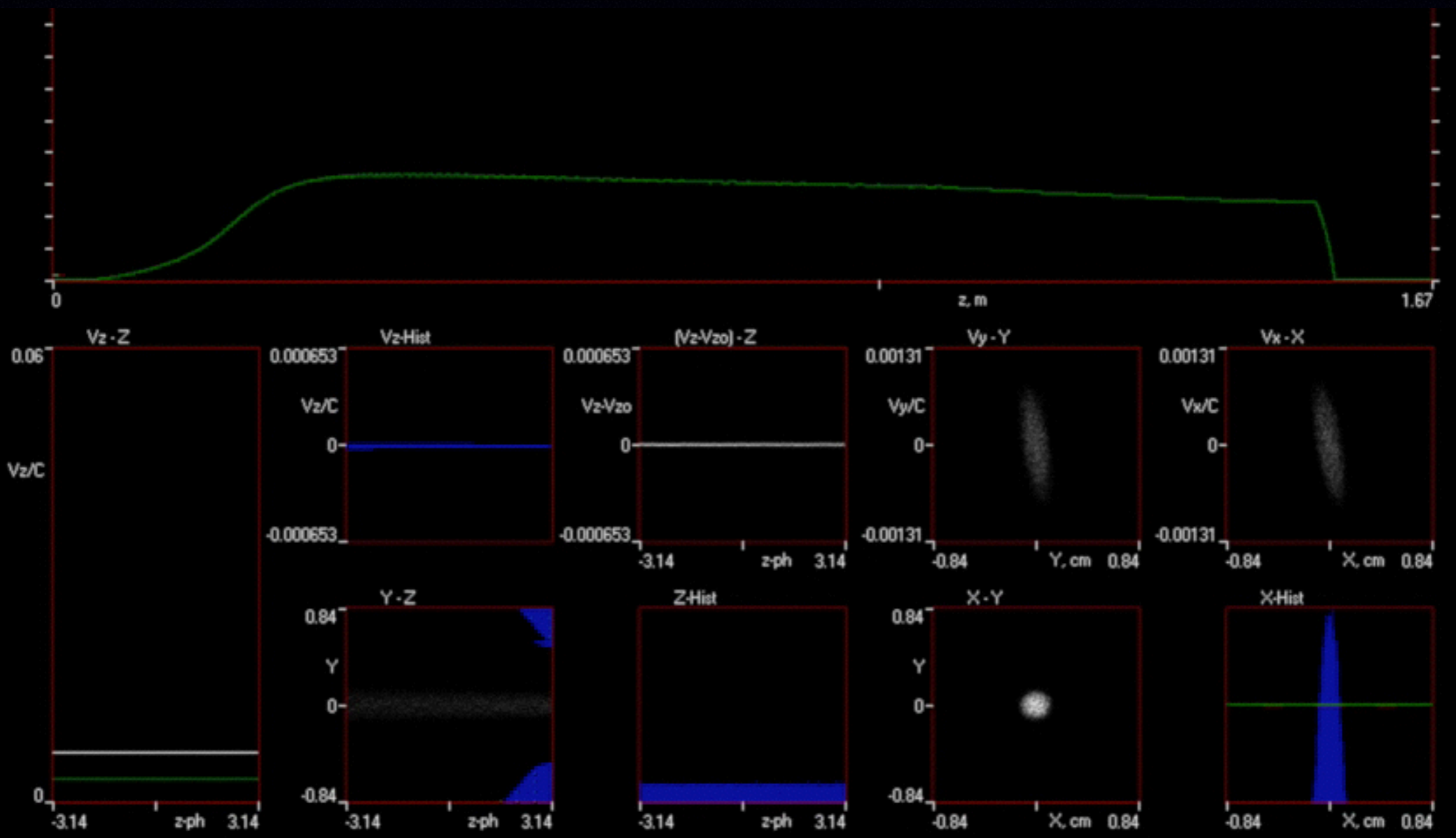
The 'Calculated Parameters' section has checkboxes and input fields for Transmission (0), Rms Emit. X, cm\*mrad (0), Rms Emit. Y, cm\*mrad (0), Rms Tr, keV (0), Rms Tz, keV (0), and Coulomb Energy, keV (0).

Buttons: Load, Run, Close, OK.

- Genel demet özelliklerine göre hesaplamalar



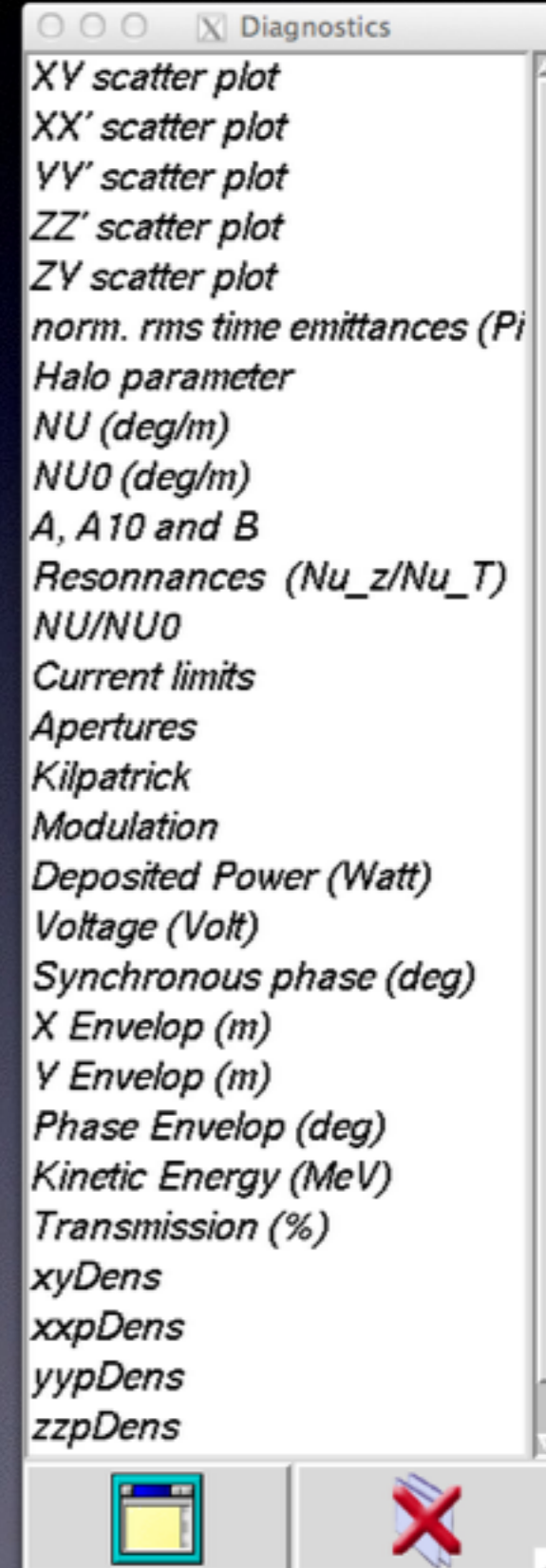
# Lidos Video





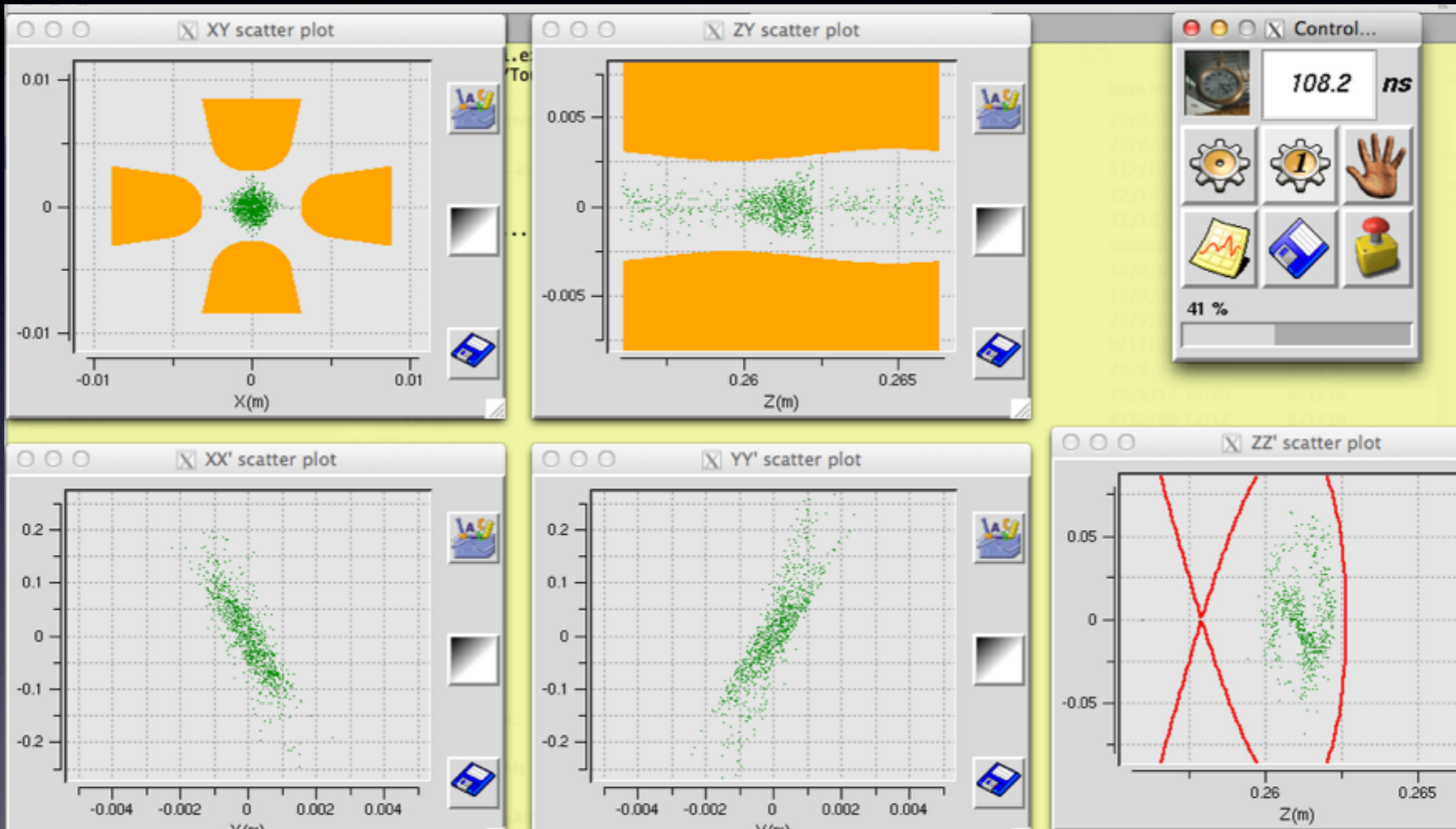
# Toutatis Hakkında

- **Deneme sürümü bedava indirilebilir.**
  - <http://irfu.cea.fr/Sacm/logiciels/index4.php>
  - kayıt olmak gerekli.
  - Linux, Mac, Windows
- **RFQ tanımlama kısmı PARMTEQm uyumlu girdi kütüğü ile çalışır.**
- **Demet dinamiği hesapları yapar. Tasarım yapmaz.**
  - 3 değişik parçacık çeşidini aynı anda izleyebilir.
- **Komut satırından çalıştırılır:**
  - `toutatis -i myRFQ.inp`





# Toutatis (devam)



- film



# Bizden: *Demirci*

- Daha iyi anlamak için kendimiz yapmalıyız.
  - “duyarım unuturum, görürüm hatırlarım, yaparım anlarım...”
- Demirci'nin sağladıkları
  - c++ kitaplık
  - Komut satırı arayüzü
  - Grafik arayüzü
  - Parmteq, Lidos ve Toutatis ile etkileşme
  - Sonuçların grafik gösterimi (gnuplot ve ROOT)
- Başarıyla denenen işletim sistemleri:
  - OSX, Scientific Linux, Ubuntu Linux
  - gerekenler: c++, GSL, ROOT, gnuplot





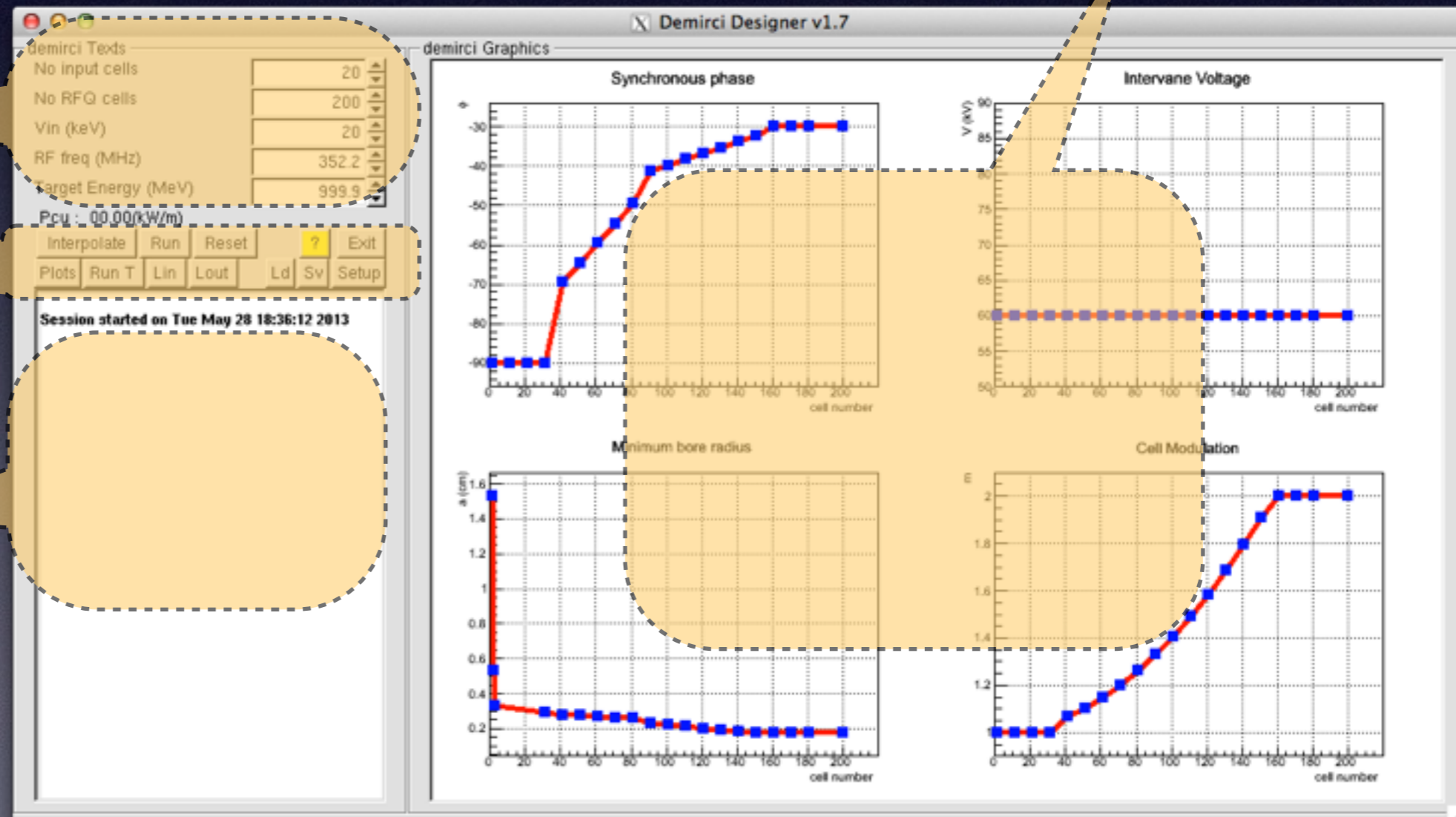
# Demirci Grafik Arayüzü

- ROOT ile bütünleşik olarak çalışan bir arayüz var.
- demirciGui.exe

Çizimlerle Tasarım

Genel  
Değişkenler  
Komutlar

Çıktılar

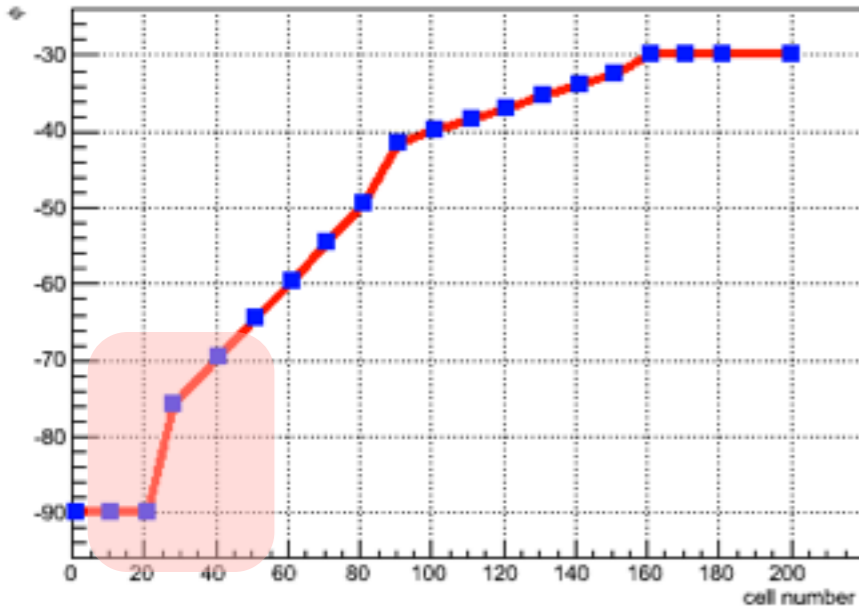




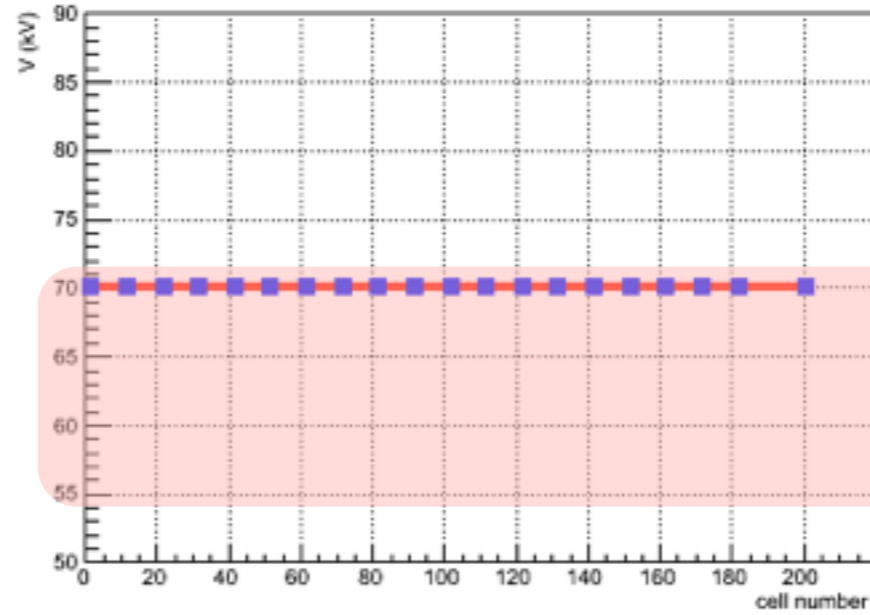
# Çizimlerle Tasarım

emirci Graphics

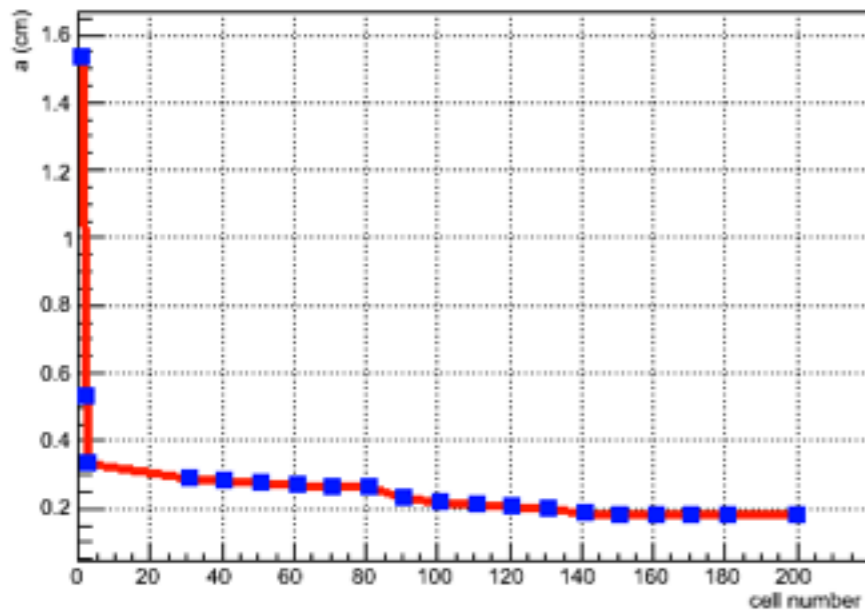
Synchronous phase



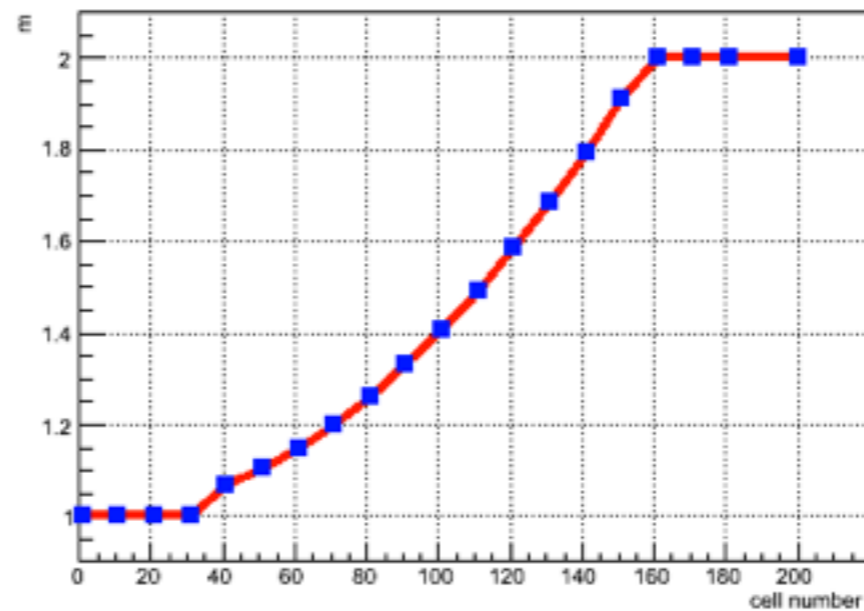
Intervane Voltage



Minimum bore radius



Cell Modulation



•Başlangıçta görülen tasarım fare ile değiştirilir

• bütün eğri oynatılabilir

• tek bir nokta oynatılabilir

•200 odalı bir yapı 20 nokta ile gösterildi



# Genel Değişkenler

Parameter	Value
No input cells	20
No RFQ cells	200
Vin (keV)	20
RF freq (MHz)	352.2
Target Energy (MeV)	999.9
Pcu : 00.00(kW/m)	

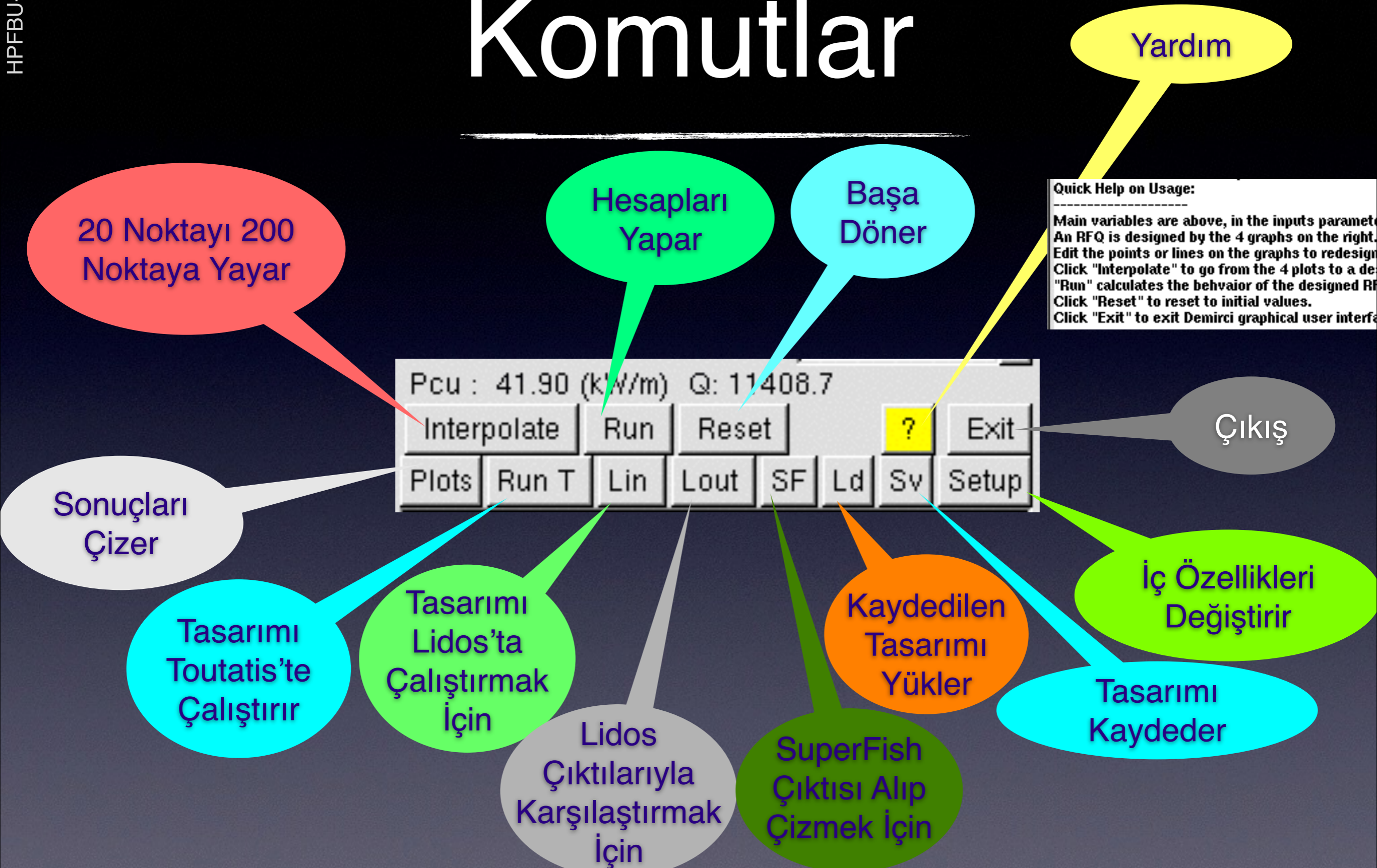
Callout boxes and their corresponding values:

- Tasarımdaki Nokta Sayısı: 20
- Varsayılan Oda Sayısı: 200
- Giriş Enerjisi: 20 keV
- Çalışma Frekansı: 352.2 MHz
- Hedeflenen Enerji: 999.9 MeV

- Ya varsayılan oda sayısında ne kadar enerji alındığına,
- Ya da hedeflenen enerjiye kaç odada ulaşıldığına bakılır.



# Komutlar

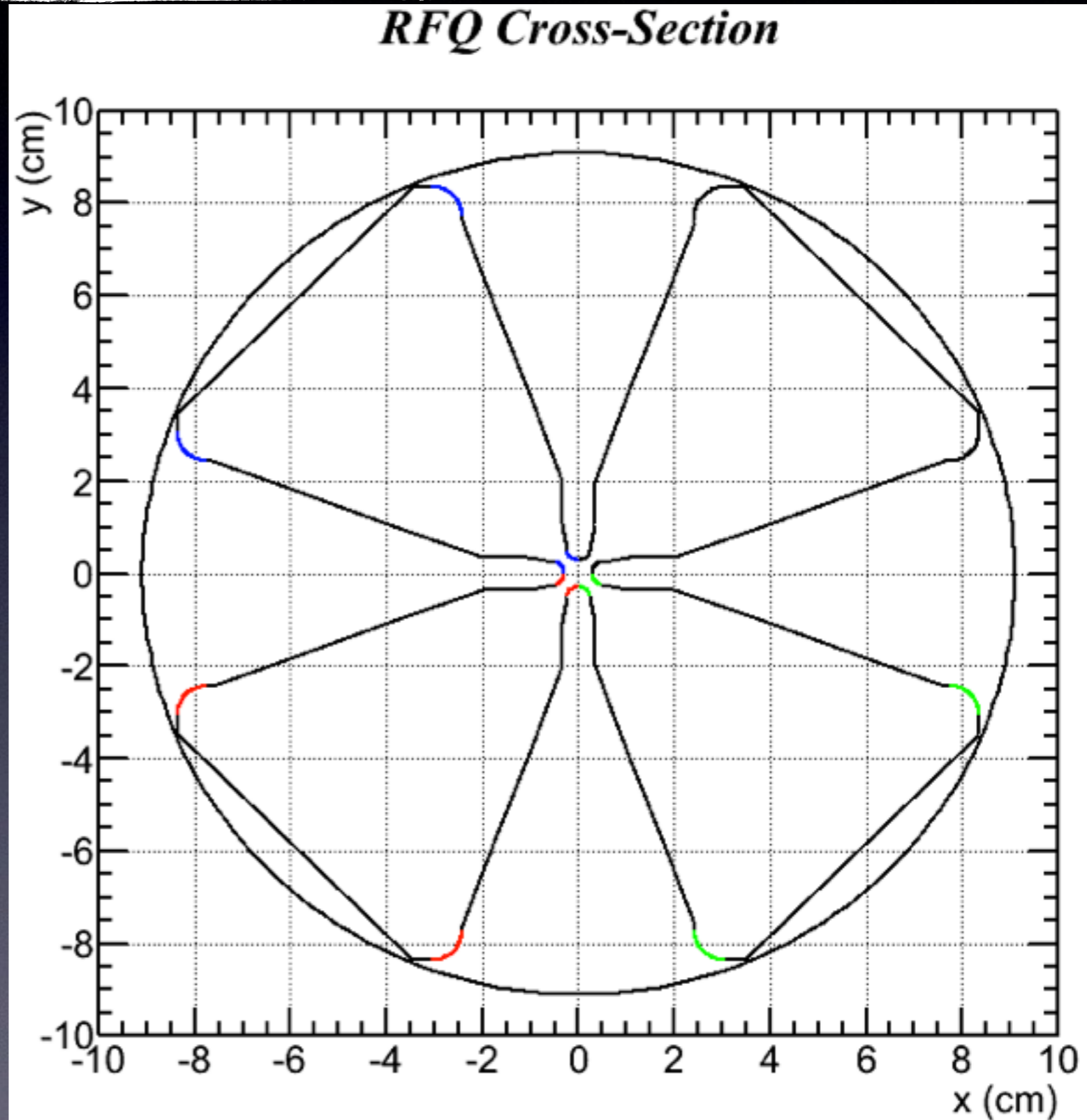


- Ok bir düğmenin üzerinde tutulunca o düğmenin yaptığı iş konusunda açıklama gösterir.



# SuperFish etkileşimi

- SuperFish 2boyutlu hesaplar yapar
- demirci SF girdisi olan kütüğü yazar.
- demirci kesit görünümünü gösterir.
- yuvarlak gövde varsayılır





# İç Özellikler

Toutatis'te benzetim yapmak için kullanılacak demet özellikleri

**Plotables**

- Cell Length(cm)
- Cell Position(cm)
- beta
- K. Energy(MeV)
- Modulation
- Vane Voltage(MV)
- time(ns)
- S.Phase (o)
- Min.Aperture(mm)
- Max.Aperture(mm)
- Bore Radius(mm)
- Acc. efficiency, A
- A10, A10
- A0, A0
- Focus efficiency, X
- Focus strength, B
- Tip Radius, rho (cm)
- Ave. Axial Field (MV/m)
- Ave. Surface Field (MV/m)

**Internals**

- WaterBag
- Uniform
- Gaussian
- #SimuParticles: 5000
- Eps [pi.mm.mrad]: 1
- X'max [mrad]: 135.1
- Xmax [mm]: 1.4
- Y'@Xmax [mrad]: -69.4
- Charge [q]: 1
- mass [amu]: 1
- MaxE [Kp]: 1.8
- #Gaps: 0

Toutatis Path: \$HOME/Toutatis.app/Contents/MacOS

Design Name: RIFKI

Reject Accept

İstlenen birkaçı veya hepsi çizdirilebilir

Diğer demet ve RFQ özellikleri

Toutatis'in kurulu olduğu yer

Tasarımın adı



# Örnek

2 Genel parametreleri ayarla

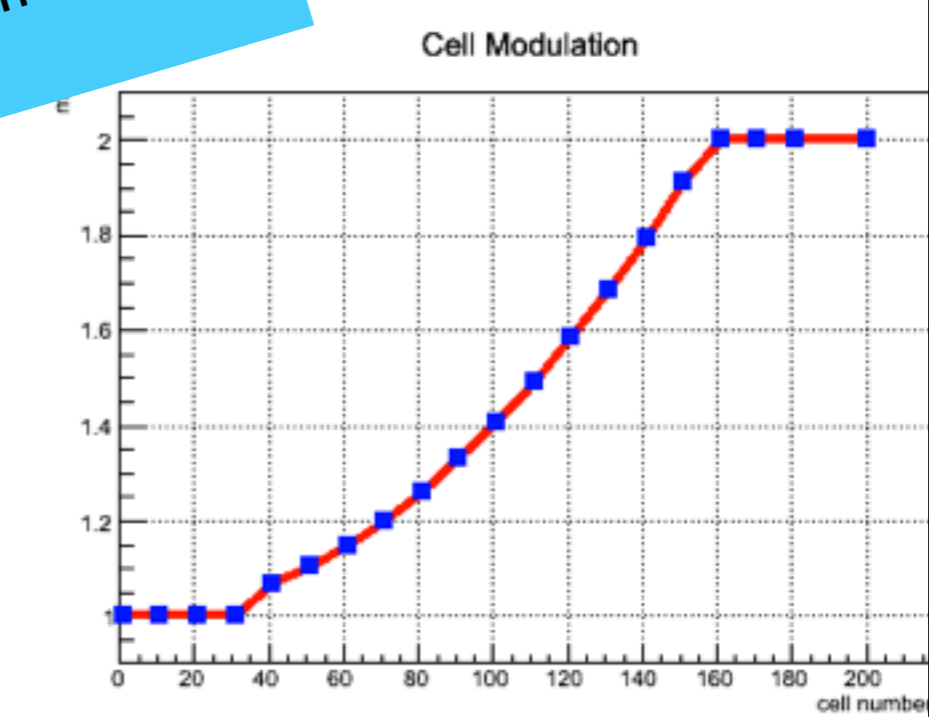
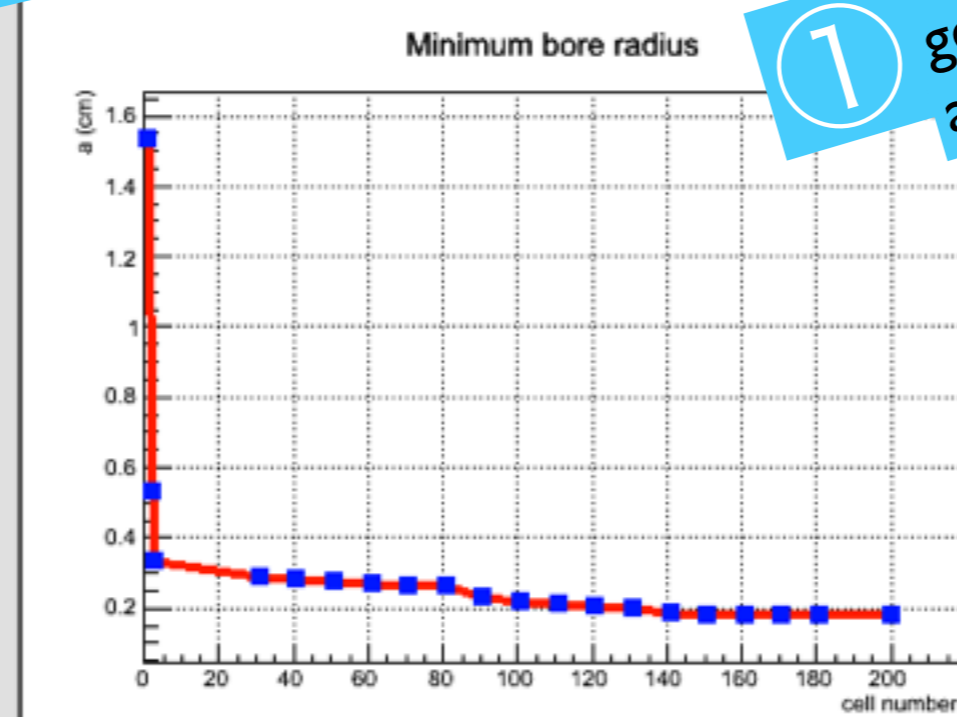
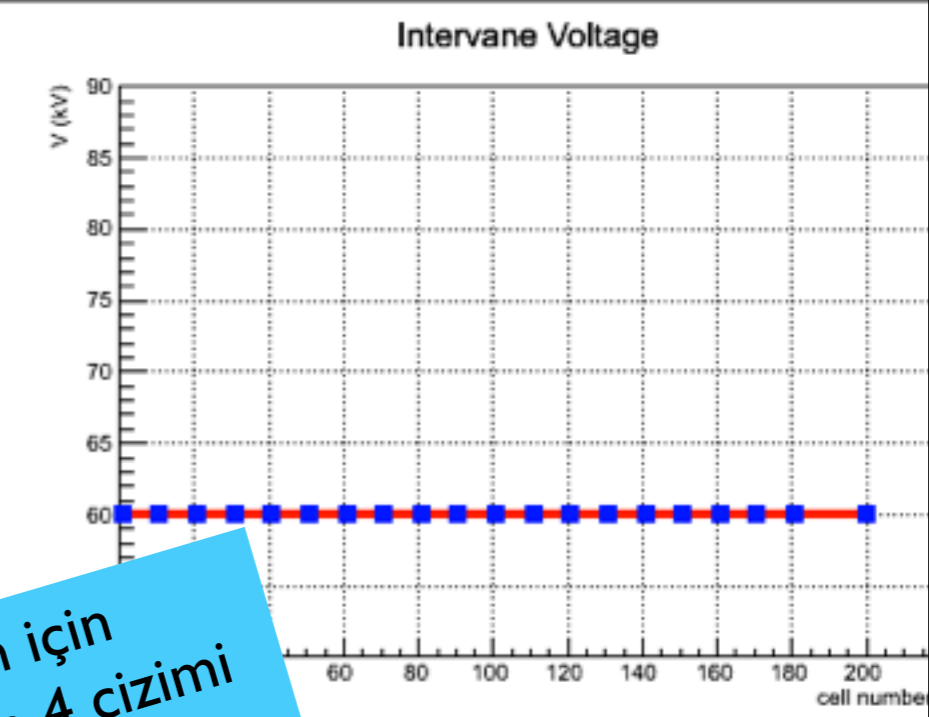
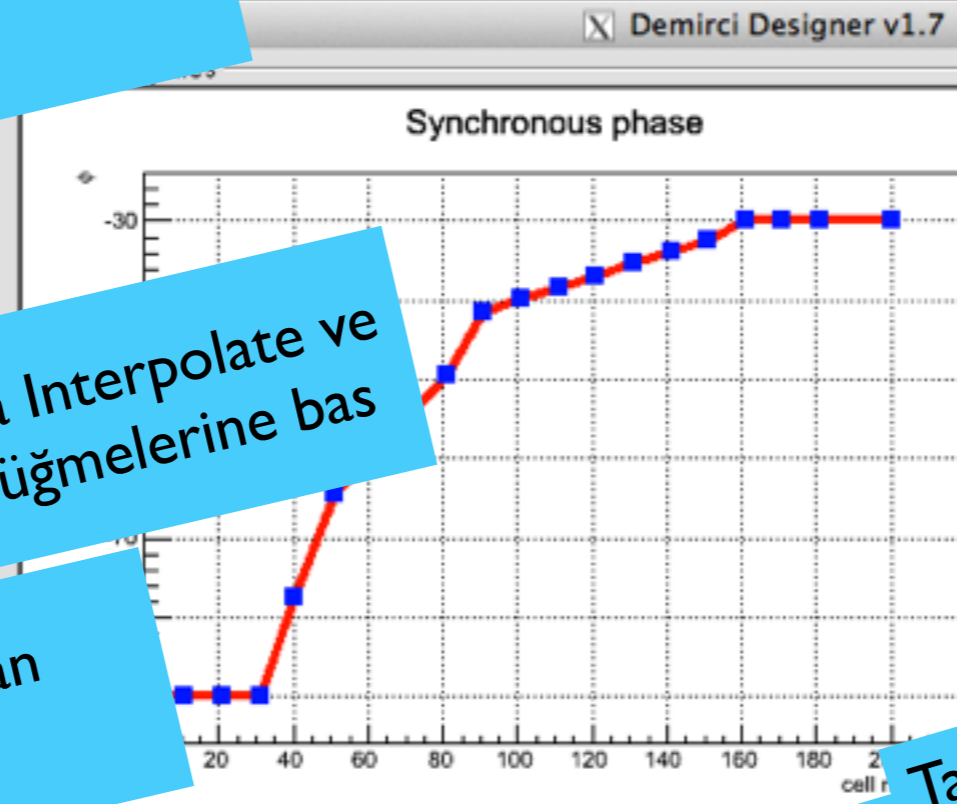
3 Sırayla Interpolate ve Run düğmelerine bas

4 Sonuçları buradan oku

1 Tasarım için gereken 4 çizimi ayarla

demirci Te  
No input c  
No RFQ ce  
Vin (keV) 200  
20  
RF freq (MHz) 352.2  
Target Energy (MeV) 1.2  
Pcu : 41.90 (kW/m) Q: 11408.7  
Interpolate Run Reset  
Plots Run T Lin Lo

Finalizing the design.  
E:1.20MeV L:1.272m t:227.1



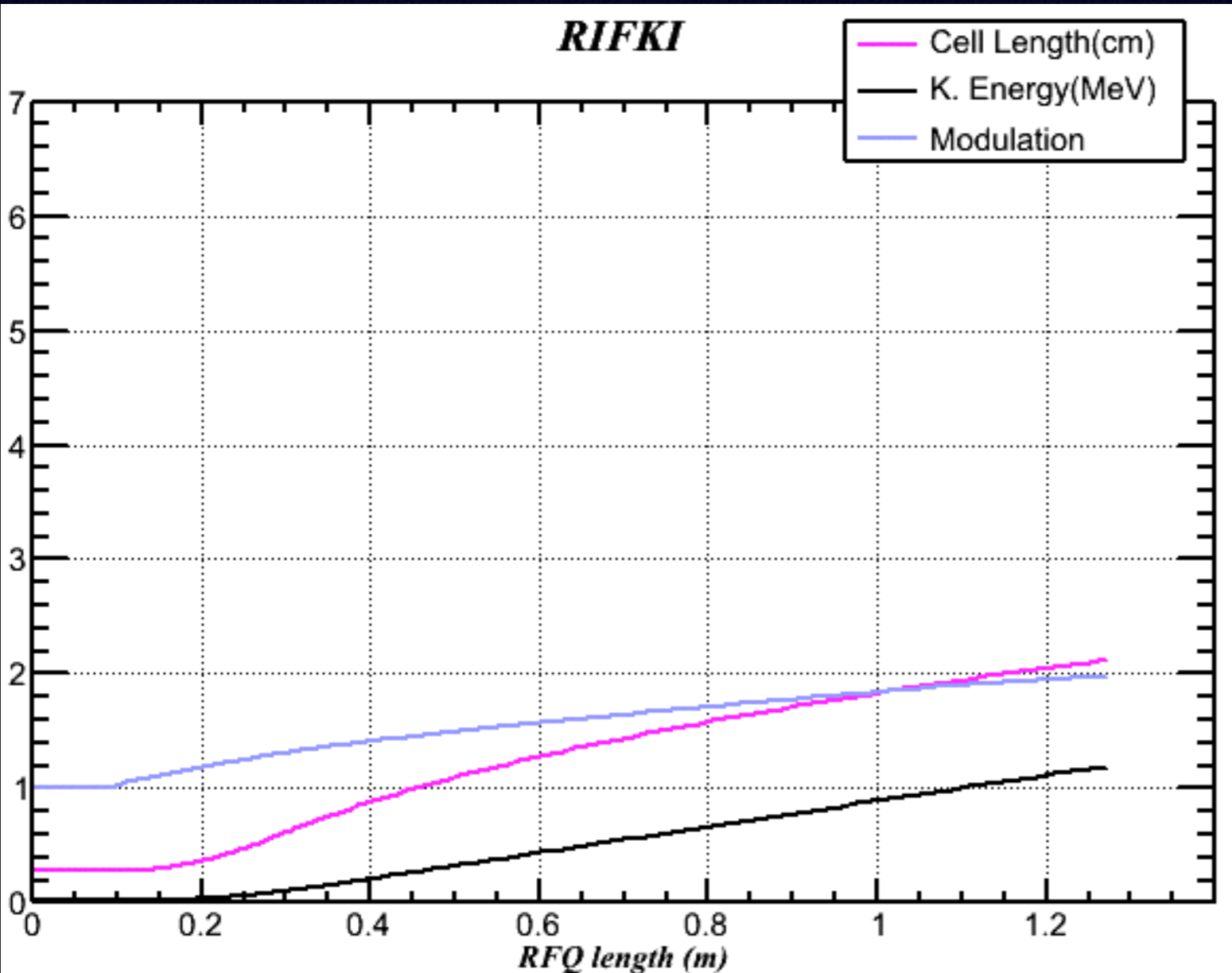


# Çizimler

Plot as a function of cell number(Yes) or position in Z(No) ?

Yes

No



- İlgilenilen değerler oda numarasına göre veya RFQ uzunluğuna göre çizdirilebilir.

- Alta çalışan ROOT olduğu için resimde değişiklik veya ekleme (yorum, ok,...) yapmak çok kolay: tıklayarak menülerden ulaşılabilir.



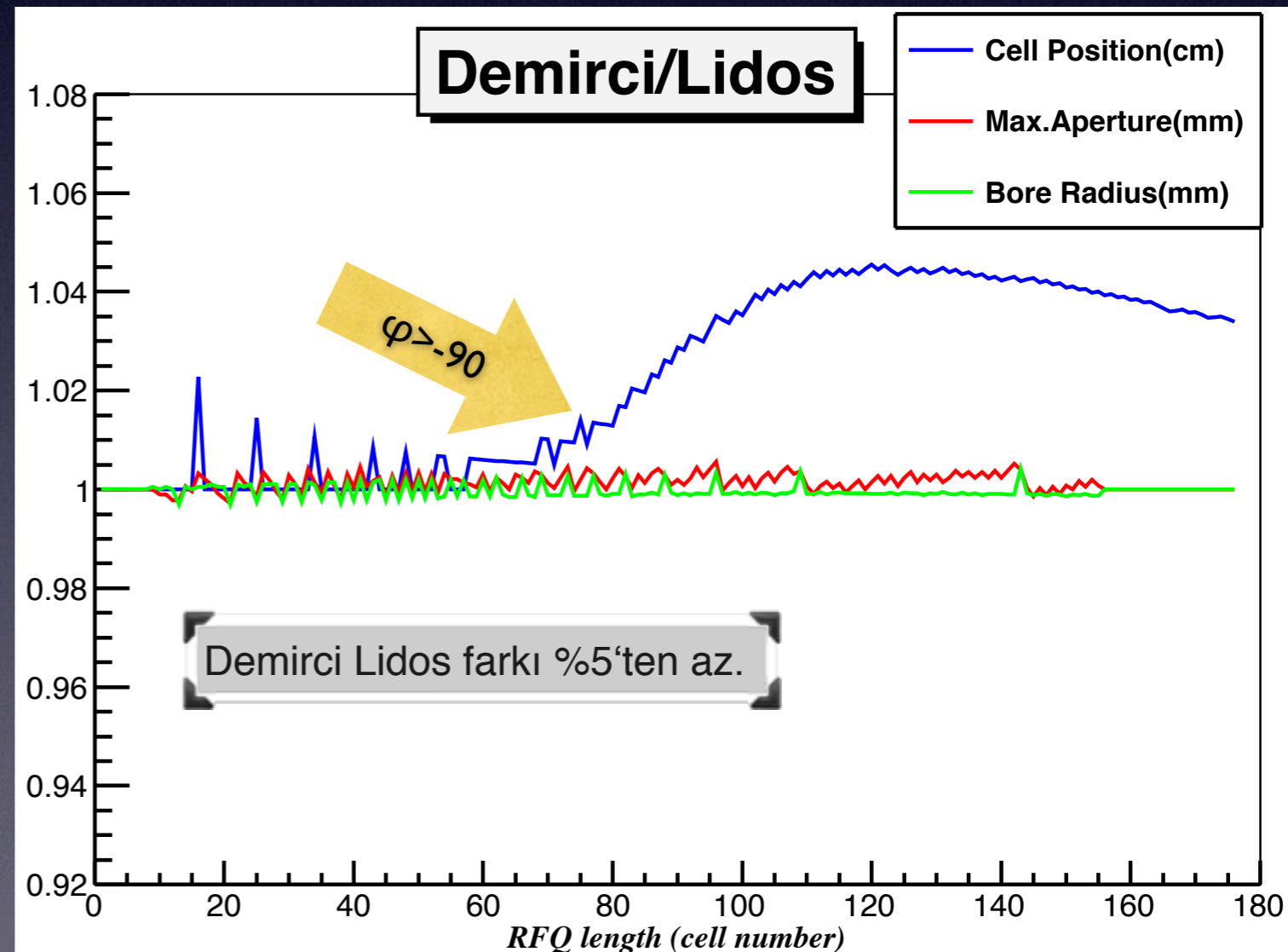
# karşılaştırma 1

- RFQ tasarımında girdi olarak kabul ettiğimiz 4 değişken var.
  - V: kanatlar arası gerilim; a: en dar aralık; m: kipleme;  $\phi$ : eş zamanlı faz.
  - yani bu 4 değişken her iki yazılımda da tamamen aynı, geri kalanlar hesaplanıyor.
- Aynı başlangıç verileri için Demirci ve Lidos sonuçları karşılaştırıldı.

Karşılaştırmalar 352.2 MHz'de çalışan ve 20 keV giriş enerjili protonları hızlandıran 176 hücreli RFQ için yapıldı.

	Demirci	Lidos*	Toutatis
Boy (m)	1.5545	1.585	1.54914
Enerji (MeV)	1.536	1.5194	1.49
Zaman (ns)	249.858	265.81	243.8

\*Advisor sonuçları, burada  $c=300\text{km/s}$  alınmış.





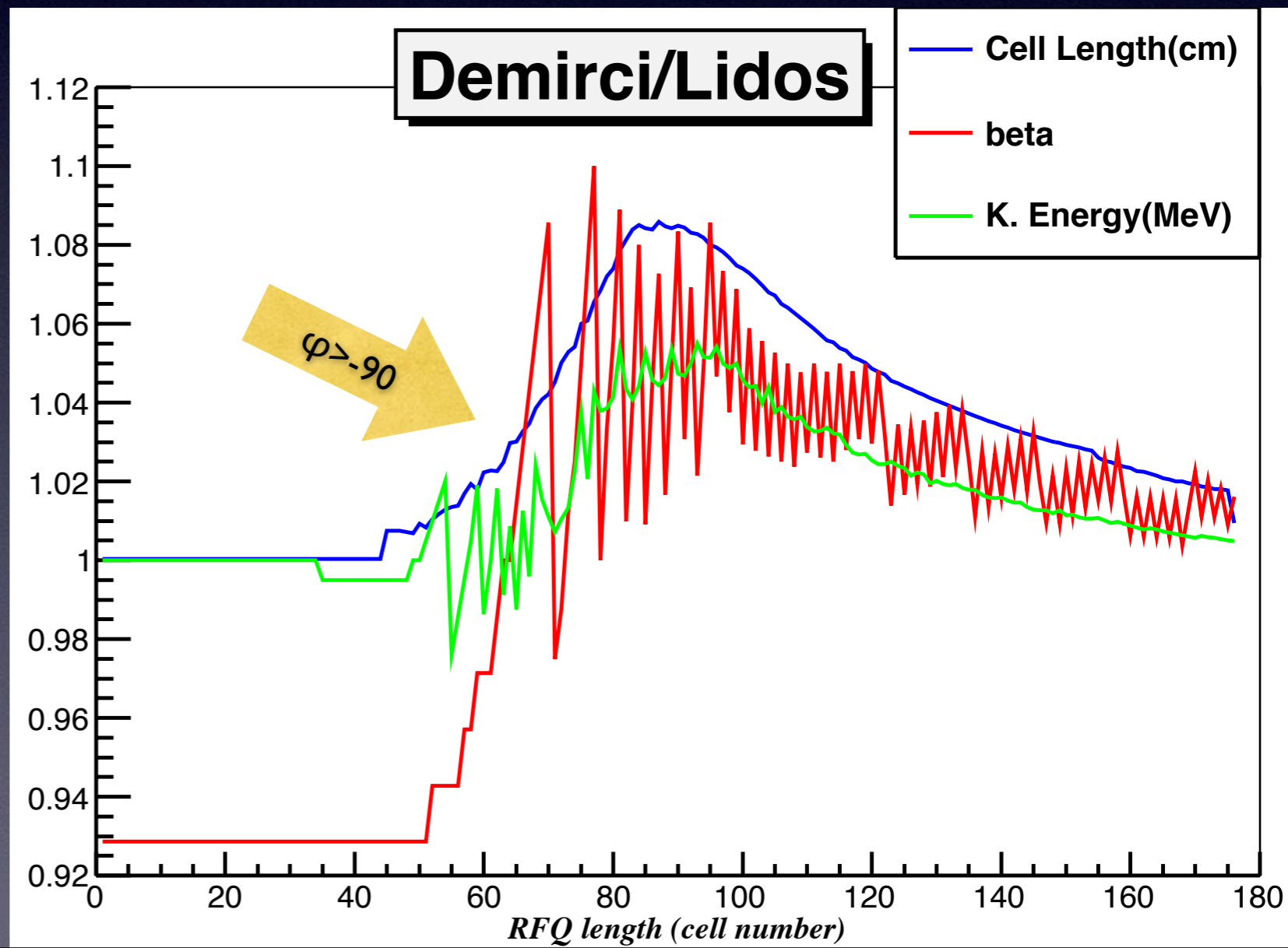
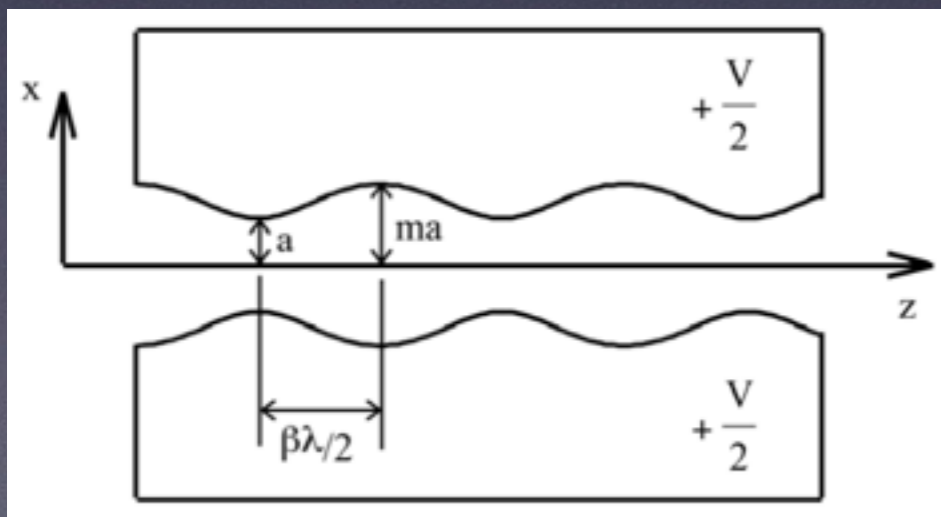
# karşılaştırma 2

- Beta(= $v/c$ ) ile hücre boyu doğrudan ilgili

- $L = \beta \lambda / 2$

- En çok  $\sim 10\%$  fark

- faz farkının hızla değiştiği yerde en çok fark var.





# gece eğlencesi

- **Niteliksel sayfasından yola çıkarak (5")**
  - Odaklama ve Hızlandırma verimlilikleri arasındaki ilişkiyi kağıt kalem ile gösterin:  $X+A.I(ka) = 1$
- **işlem dizini ile (örnek: Excel ) (10")**
  - elektron ve protonlar için Kinetik enerji vs Beta çizdirin.
- **Demirci ile öntanımlı tasarımı kullanarak (15")**
  - Son enerji değeri 2.5 MeV olan bir RFQ için giriş enerjisini 20, 30, 40 ve 50 keV olarak tarayın, her durumdaki RFQ uzunluğunu elde edin.
    - en kısa RFQ hangi giriş enerjisi durumunda elde ediliyor?



# son

---

- **KAYNAKÇA**

- RFQ's- AN INTRODUCTION

- John W. Staples

- RF LINER ACCELERATORS

- Thomas Wangler

- LIDOS RFQ DESIGNER

- Accelsoft Inc
- <http://www.ghga.com/accelsoft/lidosrfq.html>

- TOUTATIS: A 3D RFQ CODE

- Romuald Duperrier
- <http://irfu.cea.fr/Sacm/logiciels/index4.php>

*dikkatiniz için teşekkürler*