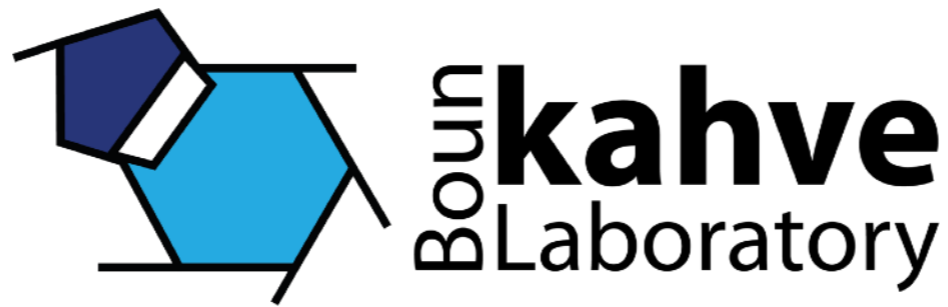




İSÜ | İSTİNYE  
ÜNİVERSİTESİ  
I S T A N B U L

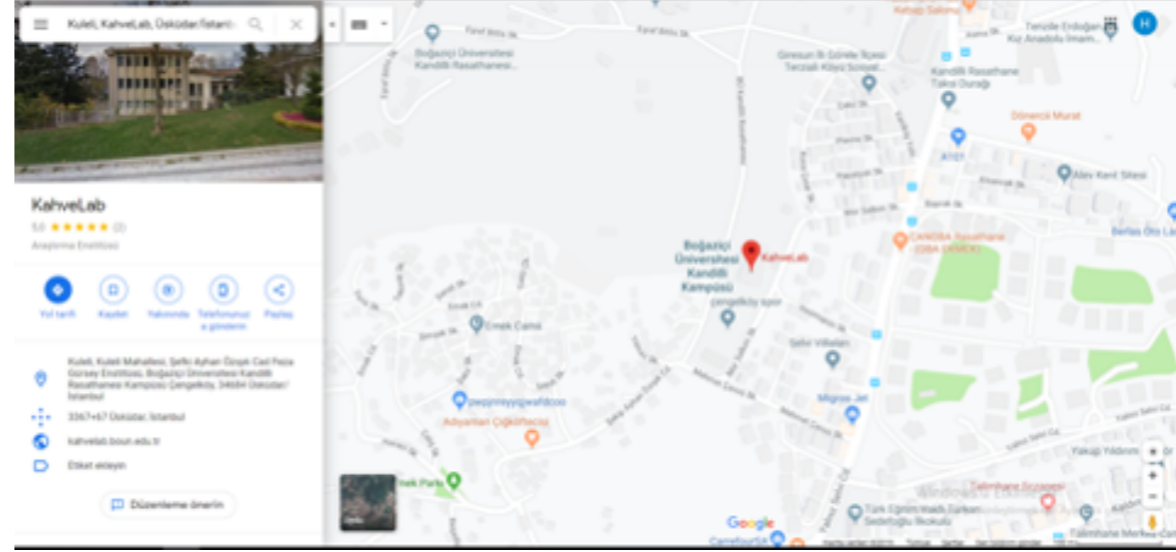
# KAHVE Laboratuvarı Çalışmaları ve Planları

Ümit Kaya, KAHVELab adına



24-25 Eylül, 2022; İstanbul Yüksek Enerji Fiziği Çalıştayı

# KAHVE LABORATUVARI



- **KAHVELab** (Kandilli Algıç, Hızlandırıcı ve Enstrümantasyon Laboratuvarı) Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Kampüsü'ndeki Feza Gürsey Enstitüsü binasında yer alan bir **parçacık algıç, hızlandırıcı ve enstrümantasyon araştırma laboratuvarıdır**.
- KAHVELab, Boğaziçi Üniversitesi ev sahipliğinde Türkiye'deki çeşitli üniversitelerden araştırmacıların yer aldığı geniş bir ekiple yakın bir işbirliği içerisinde çalışmalarını yürütmektedir.
- Yerli imkanlarla bir çok parçacık algıç, keV ve MeV enerjilerinde elektron ve proton makineleri inşa edilmektedir.
- ATLAS deneyi çerçevesinde deneysel parçacık fiziği analizleri de yapılmaktadır.

# İÇERİK



Kandilli  
Algıç  
Hızlandırıcı  
Ve  
Enstrümantasyon

## \* Algıç

- ✓ GETO - (DWC)
- ✓ Sintilasyon Sayaçları
  - ✓ Yerli & 3D baskı
- ✓ Demet Ölçümleri
- ✓ SEM

## \* Enstrümantasyon

- ✓ Otomasyon & Kontrol
  - ✓ ED Litografi
- ✓ Okuma & Sayısallaştırma
- ✓ Yazılım

## \* Hızlandırıcı

- ✓ PROTON
  - ✓ 2 MeV Linac
    - ✓ 20 keV MD İyon Kaynağı
    - ✓ DEDA
      - ✓ Ölçüm Kutusu
  - ✓ RFQ
- ✓ ELEKTRON
  - ✓ 50 keV : Elektron Tabancası
    - ✓ ED Kaynak
    - ✓ ED Sertleştirme
  - ✓ 1 MeV : Rhodotoron
- ✓ RF
  - ✓ FM band
    - ✓ Güç Kaynakları
    - ✓ RF İletim Hattı
  - ✓ UHF band
    - ✓ Güç Kaynakları
    - ✓ RF İletim Hattı

# EKİP

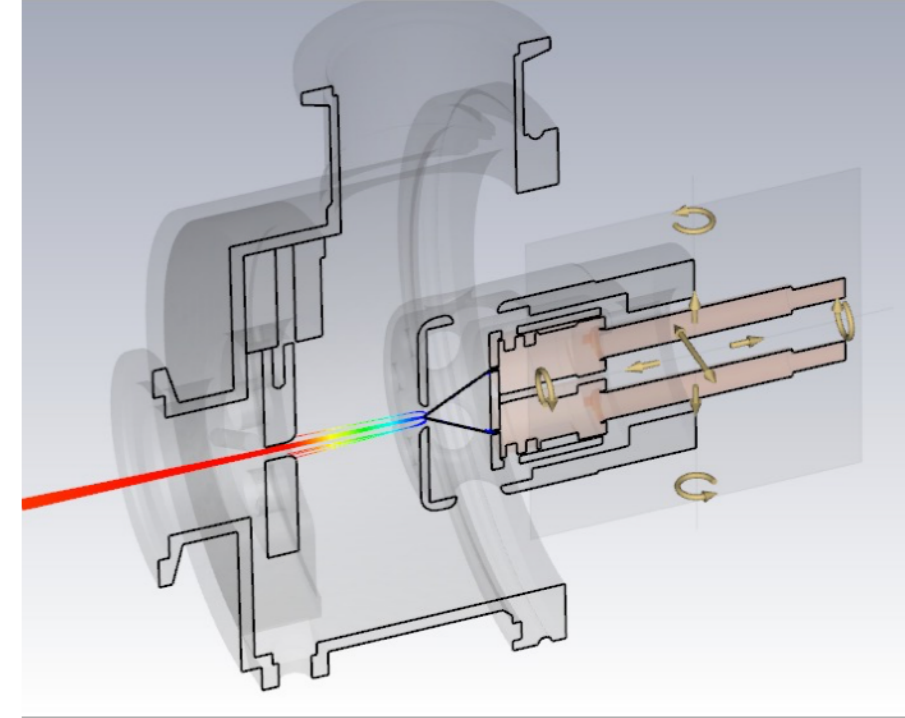


# Hızlandırıcı : Elektron

- ELEKTRON
  - 50 keV : Elektron Tabancası
    - ED Kaynak
    - ED Sertleştirme
  - 1 MeV : Rhodotoron

# 50 keV E-Tabanca

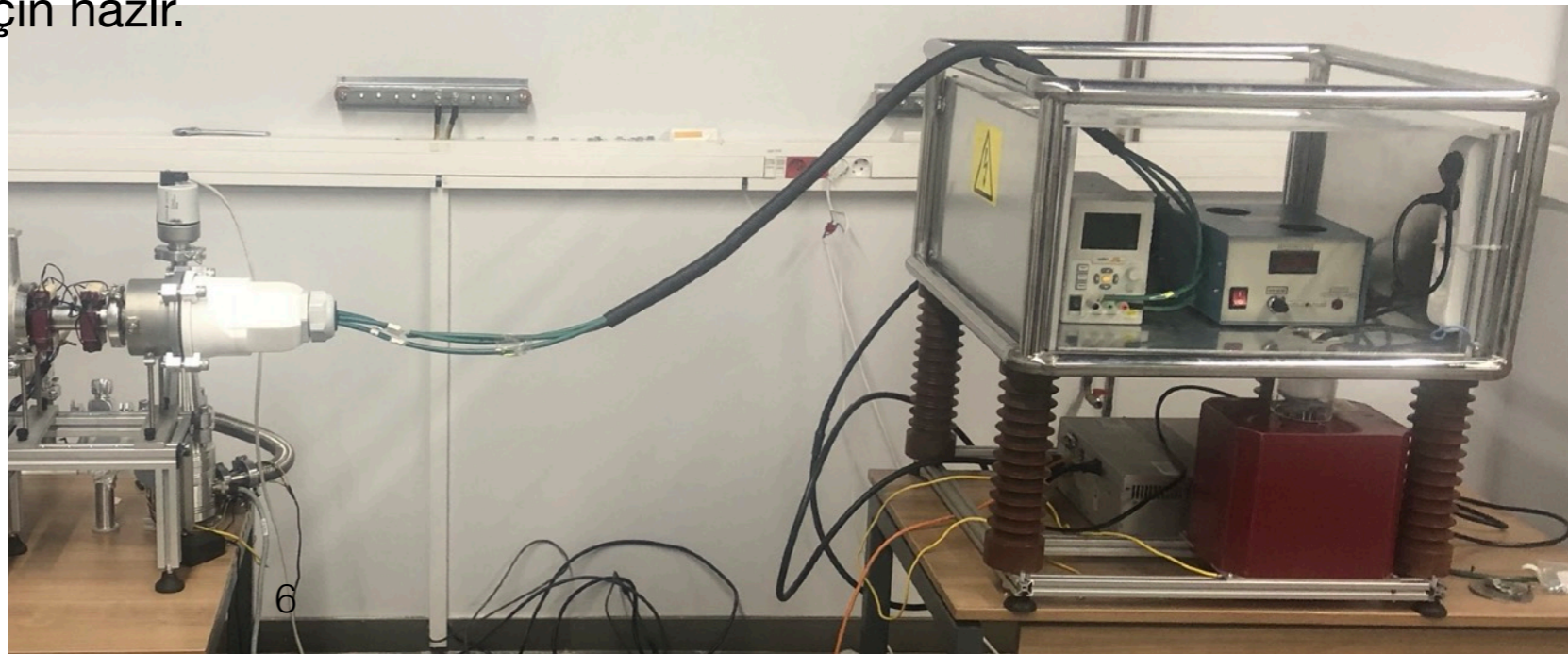
- Yerli tasarım & üretim
  - Sıçrama tahtası
- Bir çok fikir test edildi
  - W, W(Th), LaB6, Disp katod
  - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, PEEK, Teflon yalıtkanlar
  - HV güverte yazılımı, koruma
  - Uzaktan kontrol & görüntüleme BT & WiFi
  - Mıknatıs üretimi: yönlendirici & odaklayıcı
  - Otomatik demet kontrolü: PID kontrol
  - PLC, Labview
  - ...
- ✓ Kararlı çalıştırma
  - Birçok topraklama çalışması
  - Diğer projeler için hazır.



**CST benzetimi**



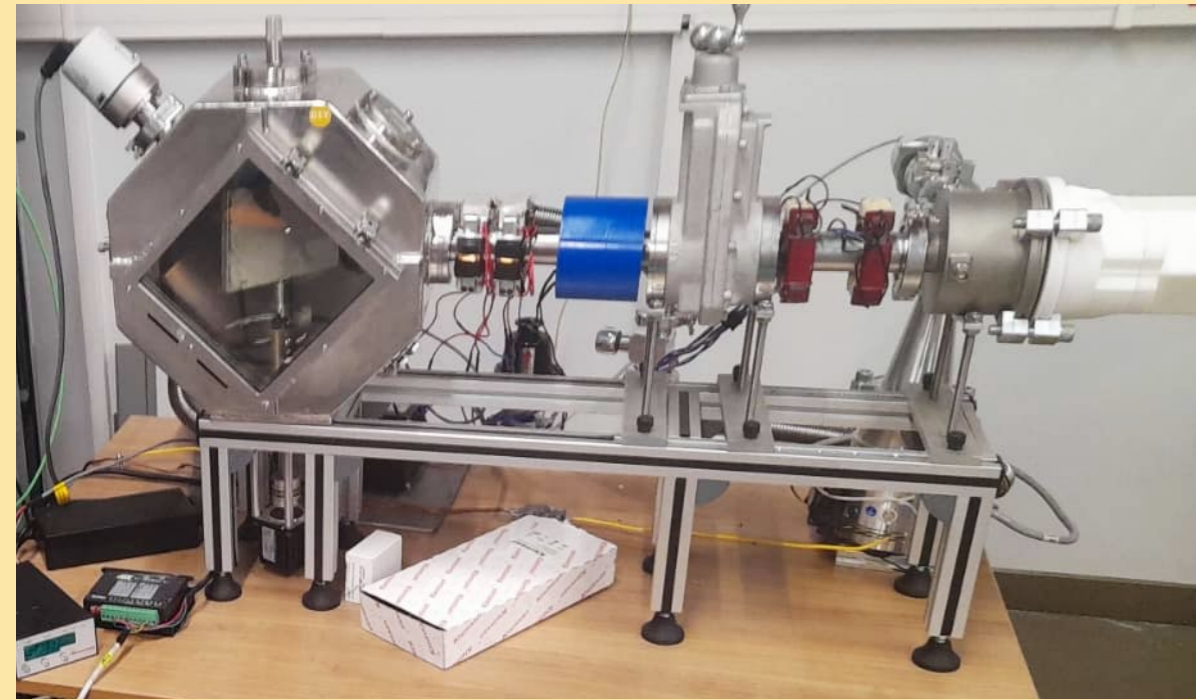
**Güç Kaynağı & Vakum Rack**



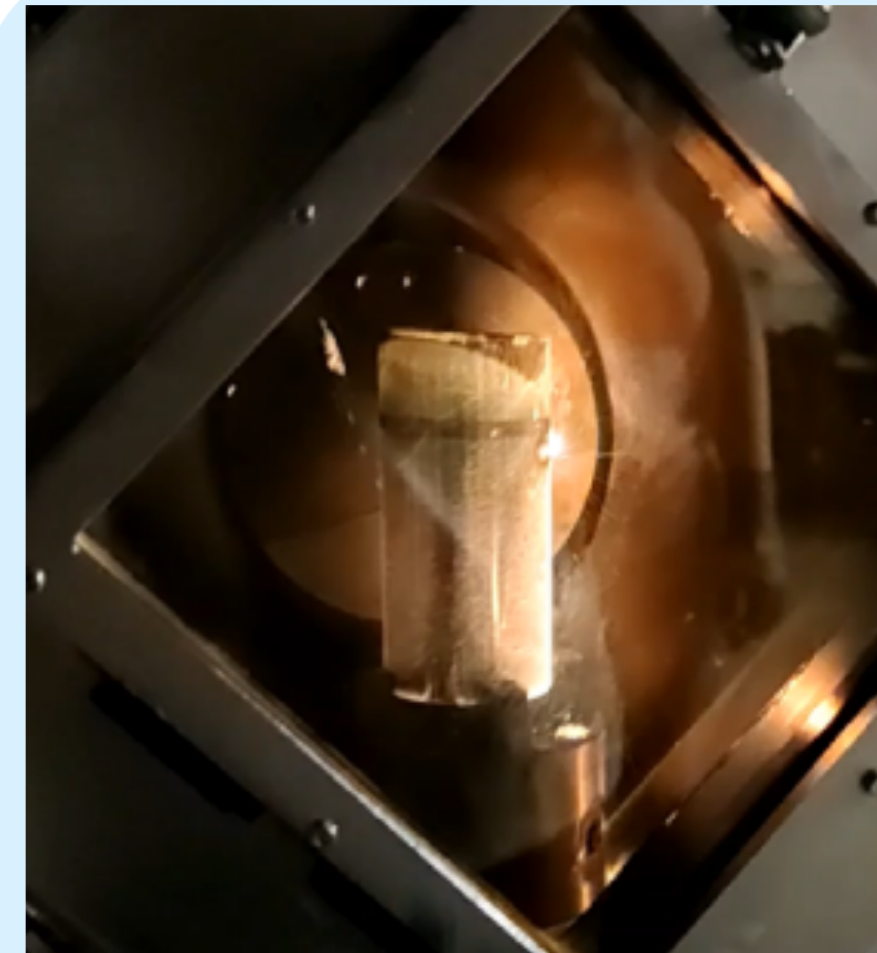
# e-Tabanca uygulamaları

EDKaynak

EDSertleştirme



50 kV 40 mA  
 $\phi$  100 x 200 mm  
 $10^{-7}$  mbar  
 2 dof  
 < mm spot size



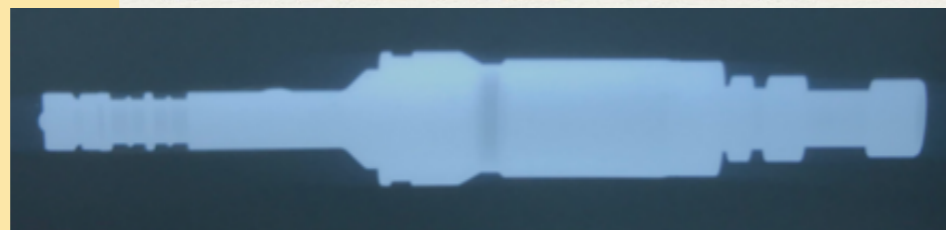
LASER



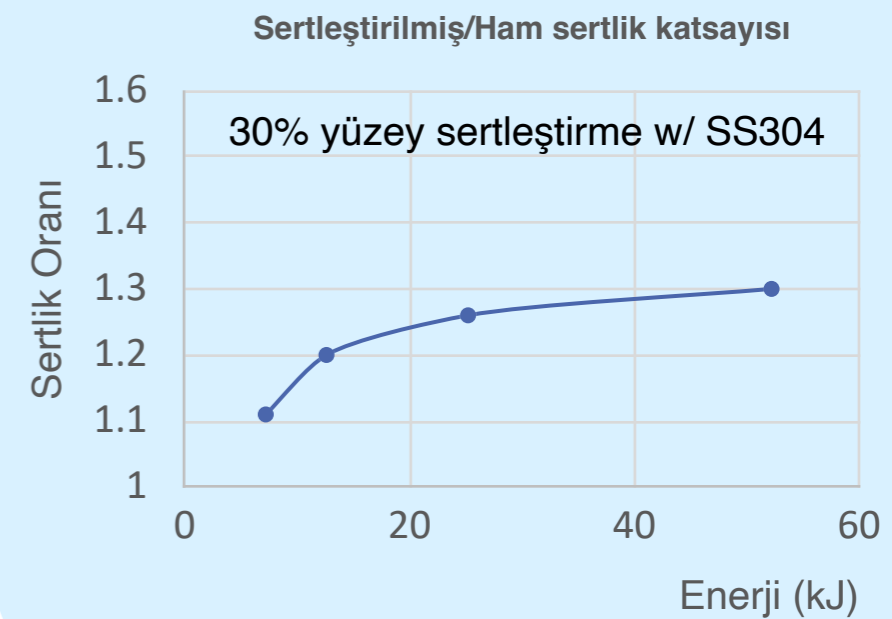
TIG



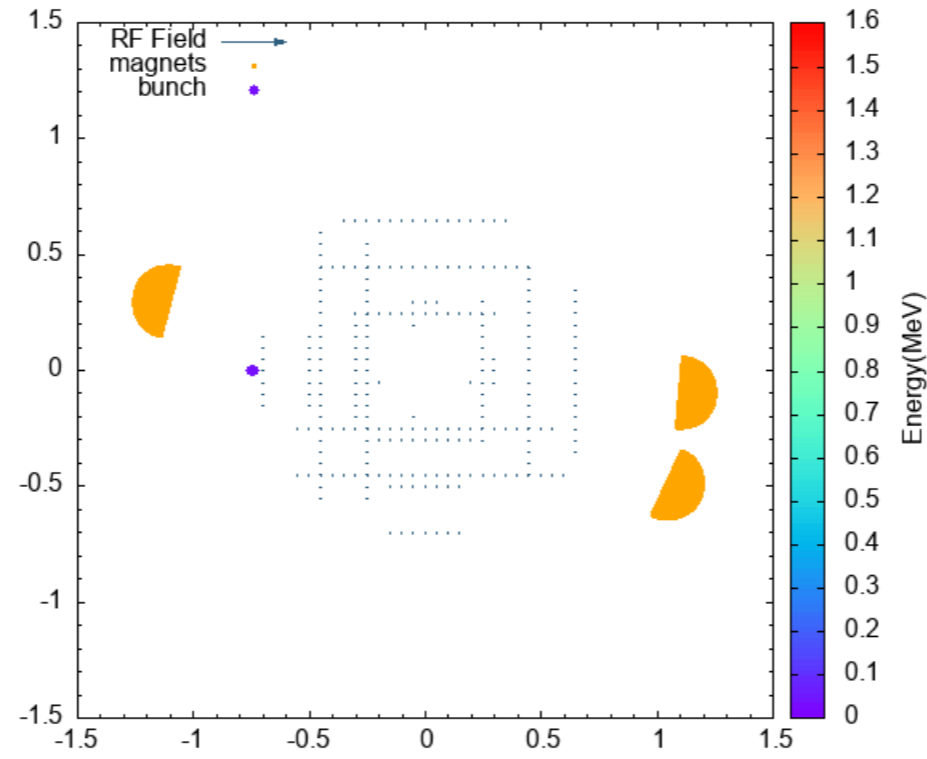
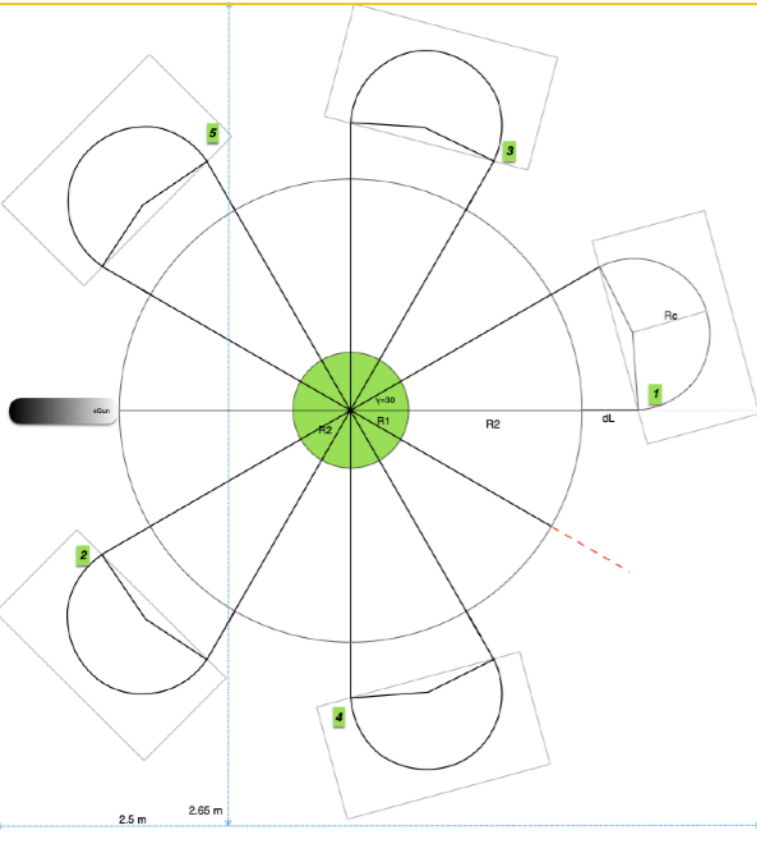
Elektron



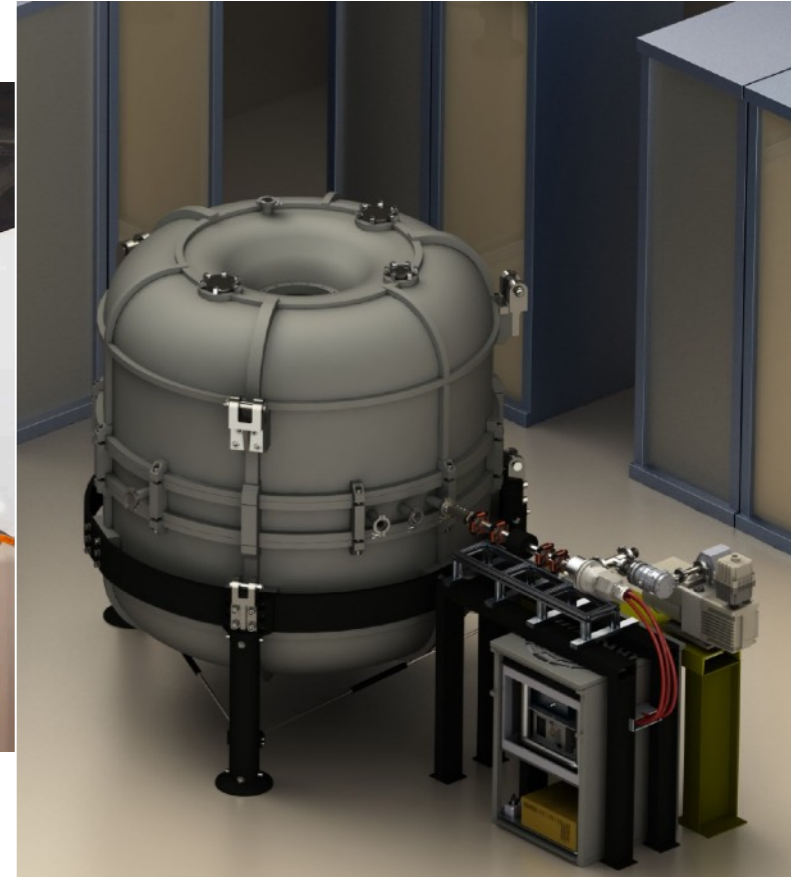
Radiographic Inspection



# 1 MeV Rhodotron



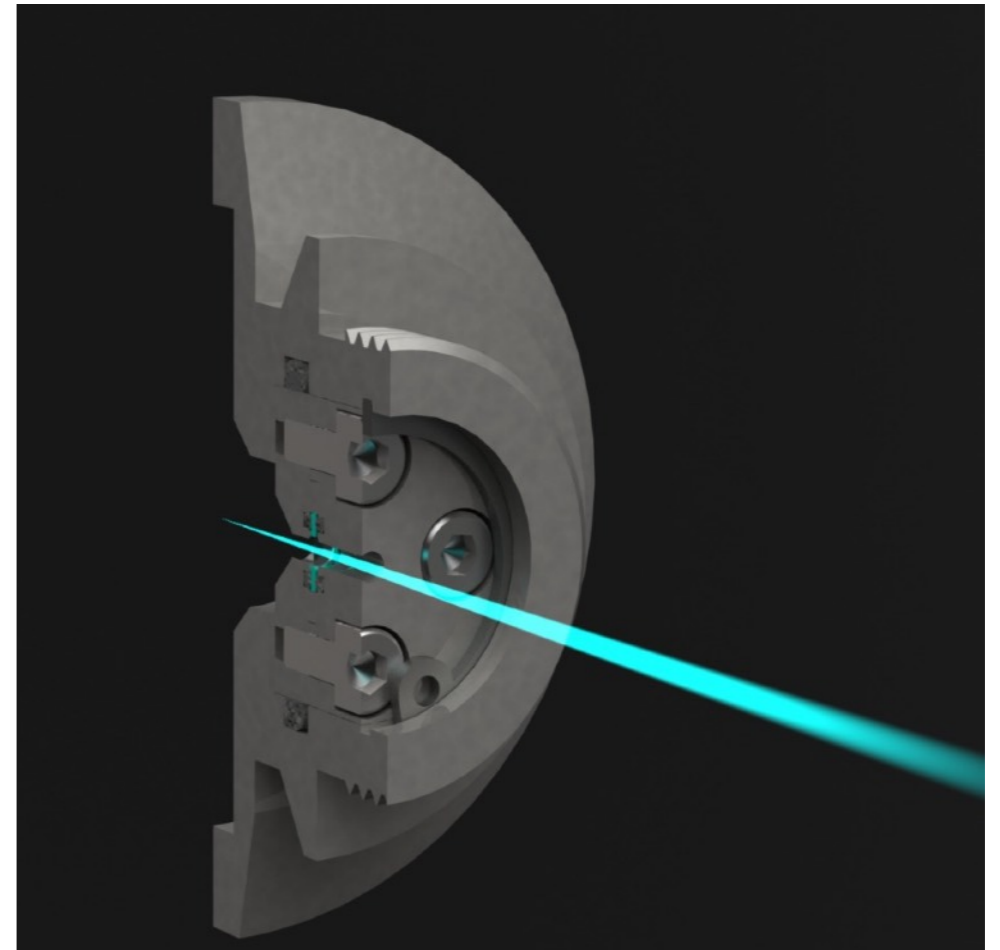
- Rhodotron e-Tabanca ile besleniyor
  - RF fazı ile senkronize elektronlar
  - Çok geçişli makine
- 1 MeV makine tasarımı tamamlandı
  - Bu iş için benzetim yazılımı projesi (TÜBİTAK 1001) kabul edildi, çalışmalar devam ...
- Üretim devam ediyor
  - Bazı üretim zorlukları
  - Vakum testlerinin bu yıl tamamlanması planlanıyor
- İlk demet 2023'te





# Sırada...

- Rhodotron'u tamamlamak
- Elektron mikroskobu
- E-demeti havaya çıkarmak
- X-ray üretimi



# Hızlandırıcı : Proton

PROTON

2 MeV Linac

20 keV MD İyon Kaynağı

DEDA

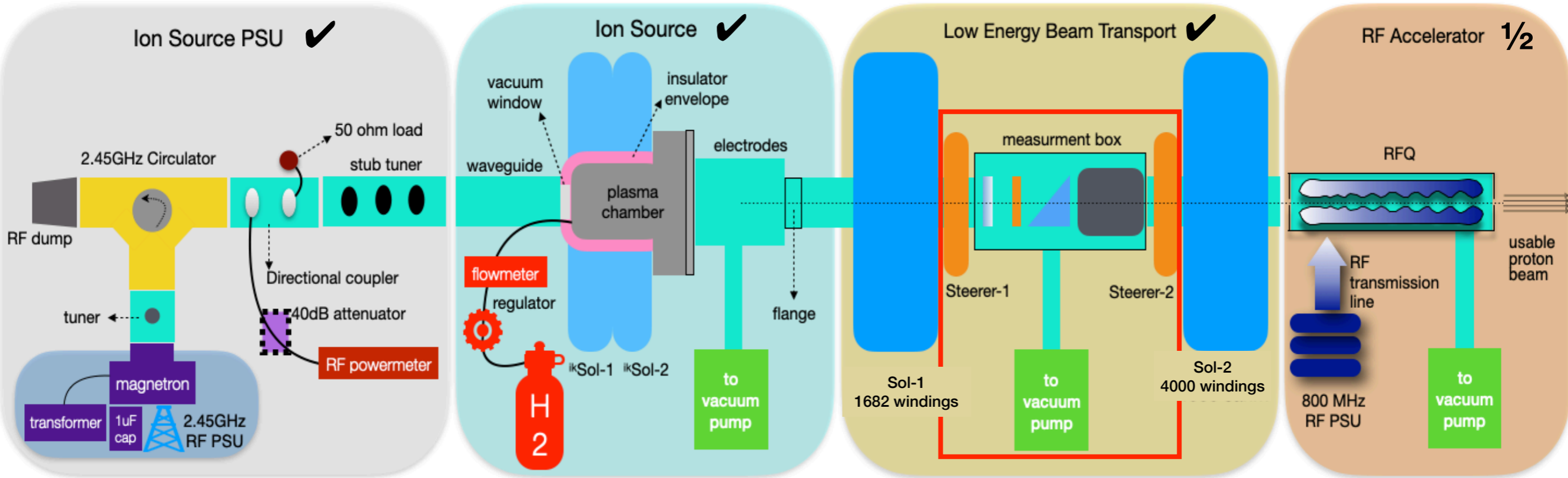
Ölçüm Kutusu

RFQ

# PROTON TESTBEAM at KANDİLLİ (PTAK)

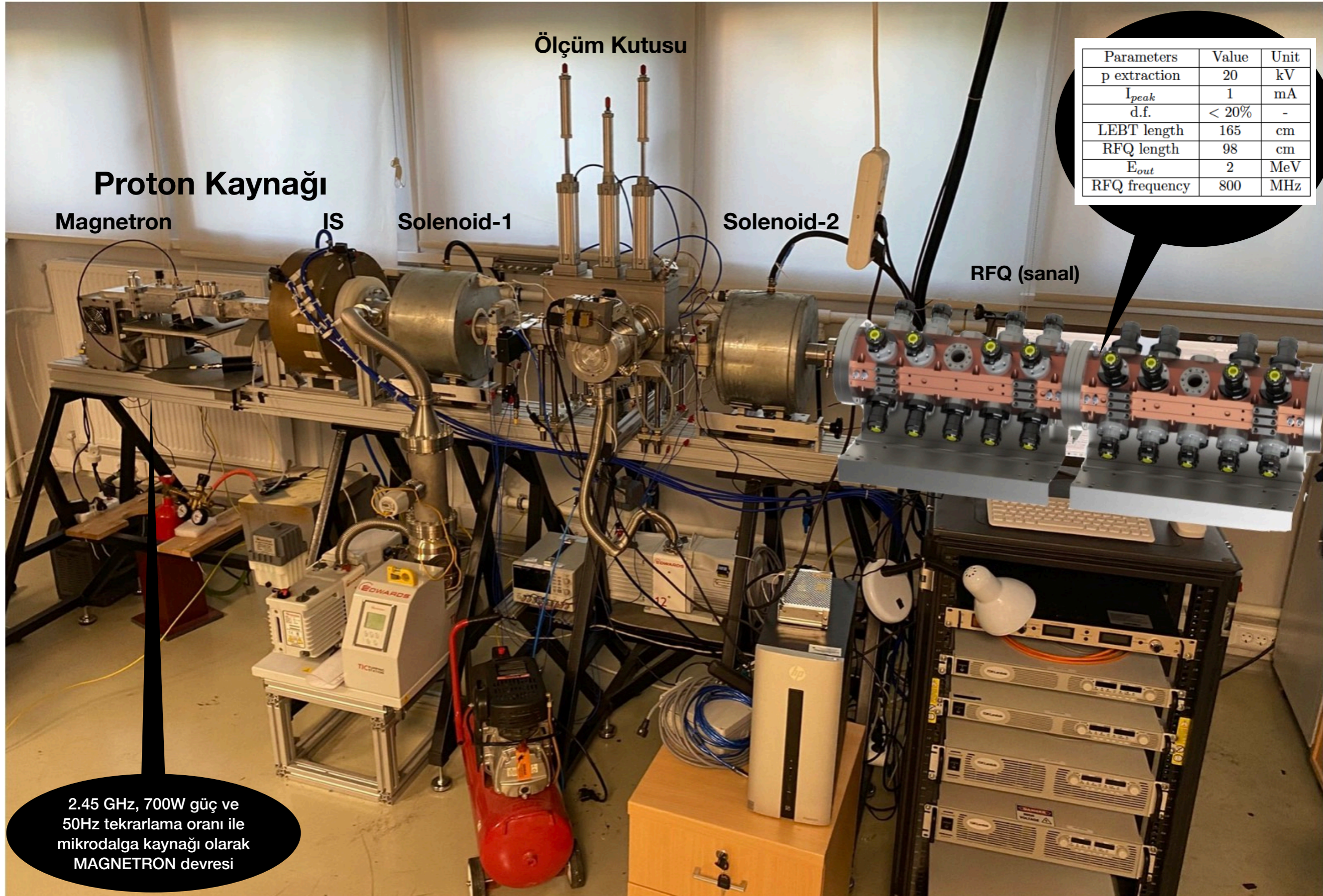
- ✱ 800 MHz frekanslı bir RFQ, 1 mA, 20 keV enerjili protonları 2 MeV'ye hızlandıracak.

## 2MeV Linac



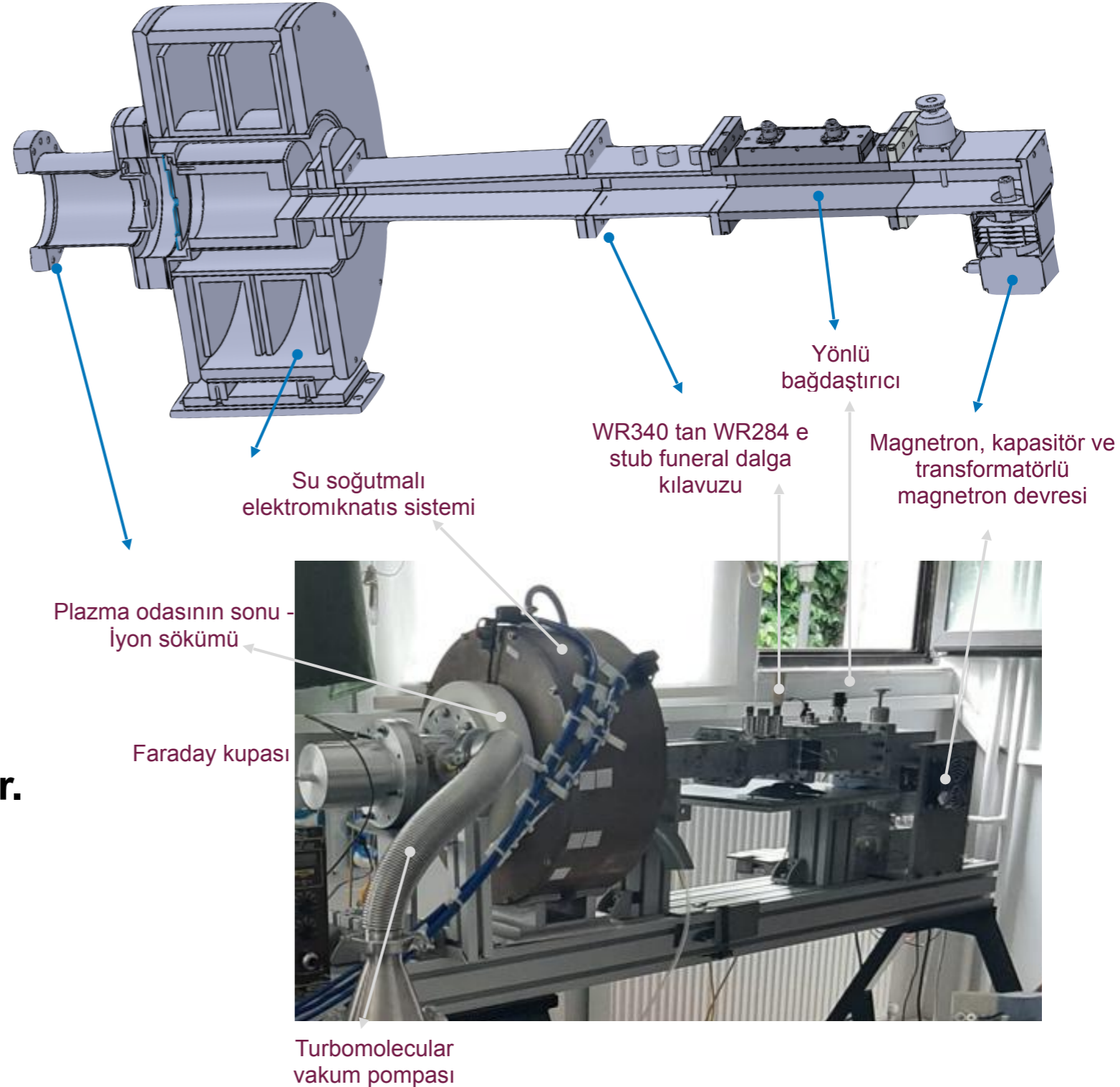
- Proje Hedefleri:
  - Gelecek hızlandırıcı fizikçilerini ve mühendislerini yetiştirmek
  - Çalıştırma, kontrol etme bilgisini toplamak
- Bileşenler yerli olarak tasarlandı ve Türkiye'deki firmalarda üretildi.
- İkinci amaç PIXE gibi parçacık hızlandırıcı teknolojileri test düzeneklerini kurmak

# Proton Testbeam At Kandilli (PTAK)



# PTAK İyon Kaynağı 1 - EM MDIS

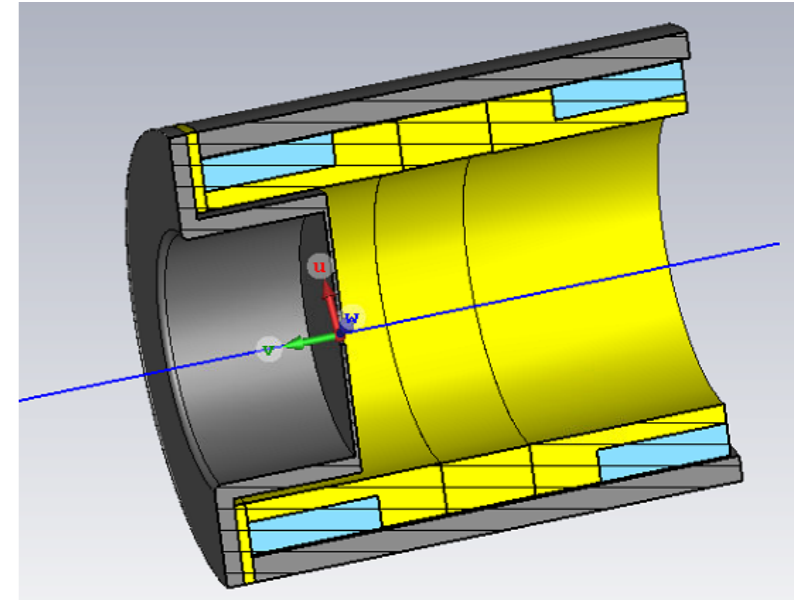
- IBsimu tasarlandı
- Yerli üretim
- 20 kV çıkış gerilimi
- Teflon & Delrin ile yüksek gerilim izolasyonu
- Vacuum  $\sim 10^{-7}$  (demetsiz)
- Mikrodalga gücünü magnetron güç kontrolü ile kontrol etmek mümkün
- İletilen ve yansıyan gücü izlemek mümkün (aynı anda değil)
- IS sol: akım kaynağı + su soğutma
- Benzetimler @1.3 mA akımda RMS yayılım  $0.0254 \pi$ .mm.mrad gösteriyor.
- Kararlı çalıştırma Q4 2021 ... Q1 2022
- Permanent mıknatıslı MDIS geçiş...



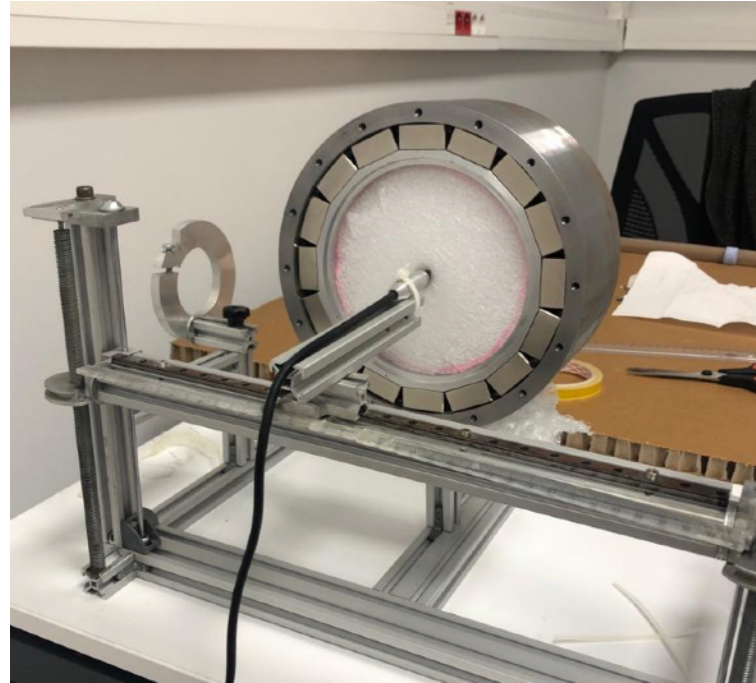
# PTAK İyon Kaynağı 2 - PM MDIS

- Elektromıknatıslar iyi fakat..
  - Solenoidler ve plazma odası arasında ara sıra sparklar
  - Soğutma ihtiyacı (ohmic kayıplar & plazma odasının ısınması)
- Permanent mıknatıslar daha iyi:
  - Yüksek gerilimde tutulabilirler
  - Ek güç kaynağına ihtiyaç duymazlar
- 32 N40 tipi neodymium mıknatıs

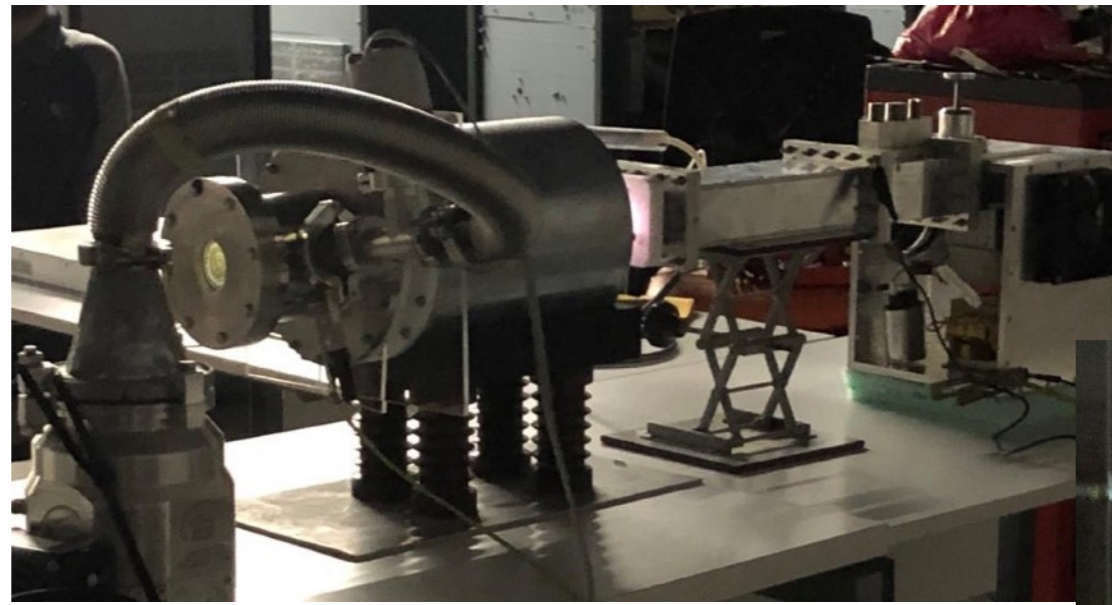
$H_2$  : 0.01 sccm  
 $V_E$  : 20 kV  
 $P$  :  $4 \times 10^{-5}$  mbar  
 $I_{ave}$  : 0.4 ... 1.5 mA



Sökücü elektrot ve plazma odalı PM-MDIS tasarımı

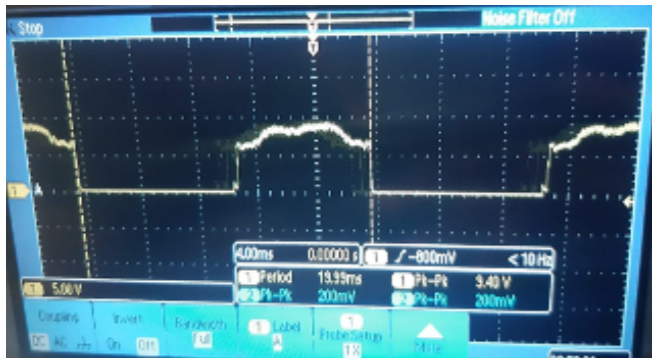


Deneme üretiminde manyetik alan ölçüm düzeneği



Magnetron devresi ve mikrodalga iletim dalga kılavuzu sistemi, dalga kılavuzu hattının sonunda pembe renkte görünen hidrojen plazması ve 20kV gerilim altında çalışan PM-MDIS.

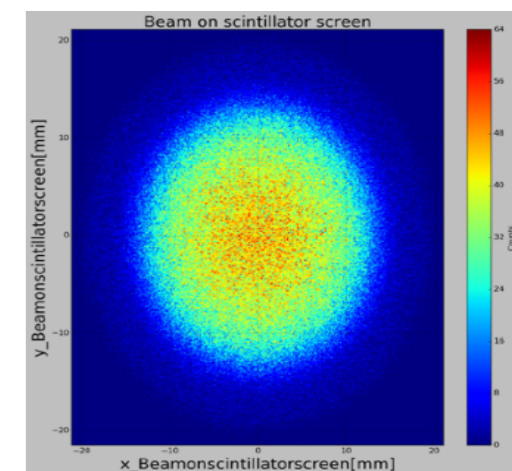
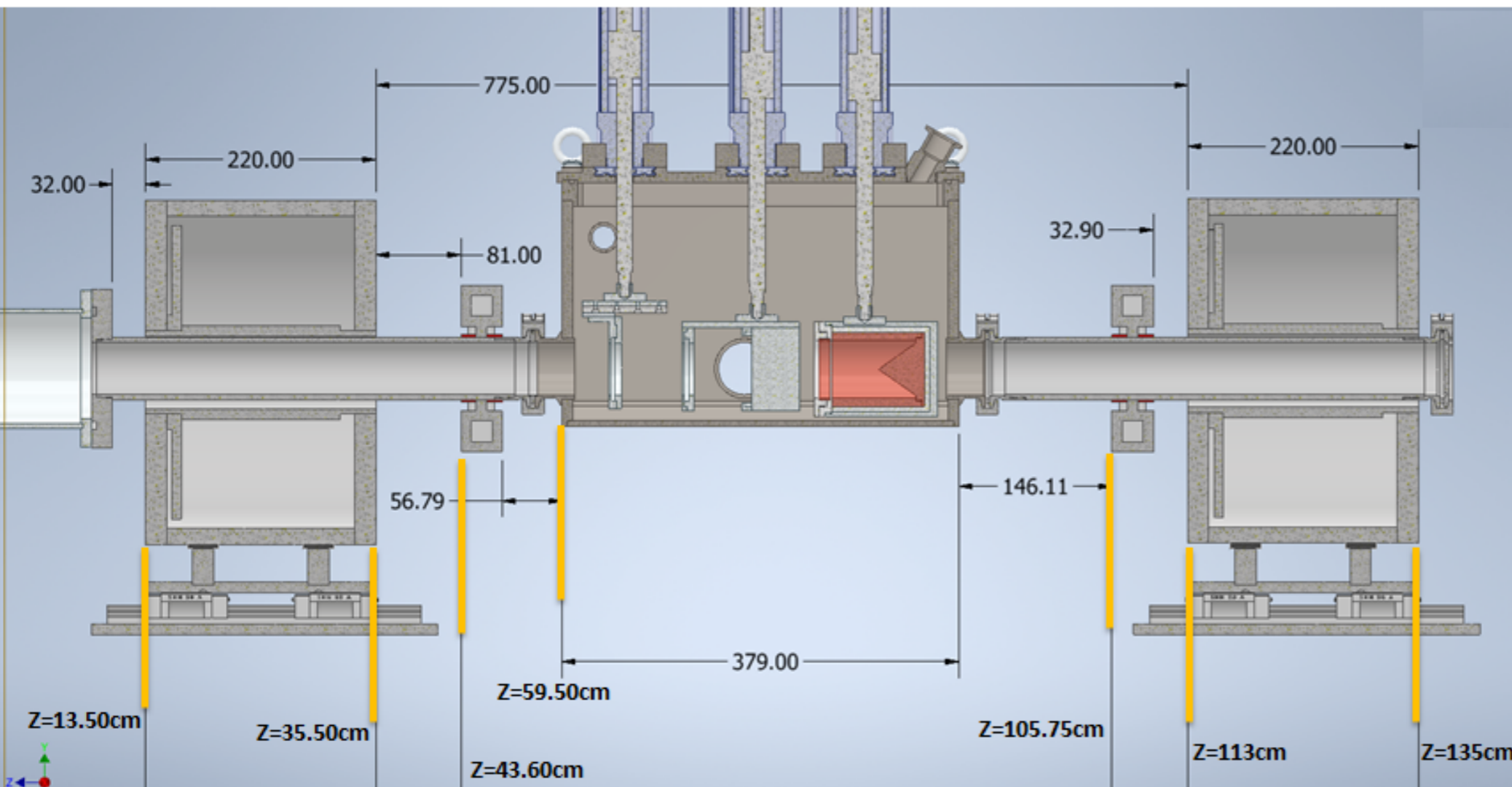
PM-MDIS sisteminin sonunda floresan ekrandan alınan demet görüntüsü



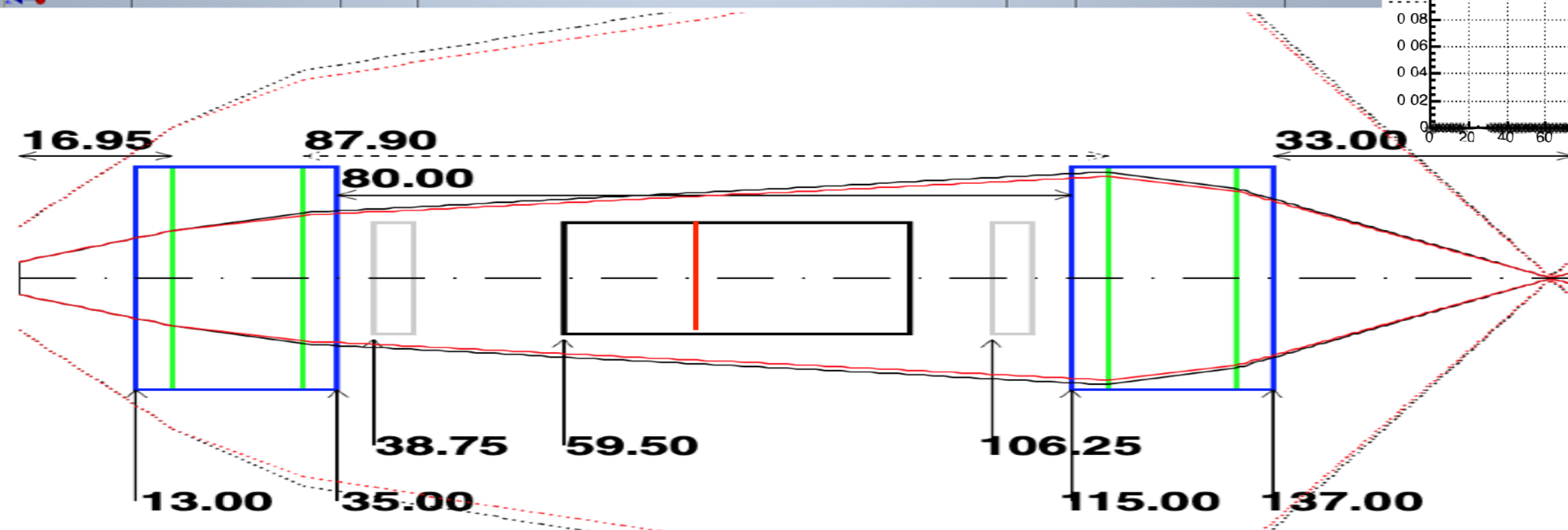
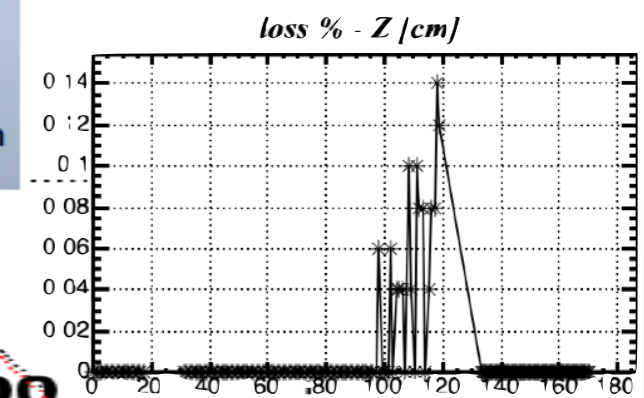
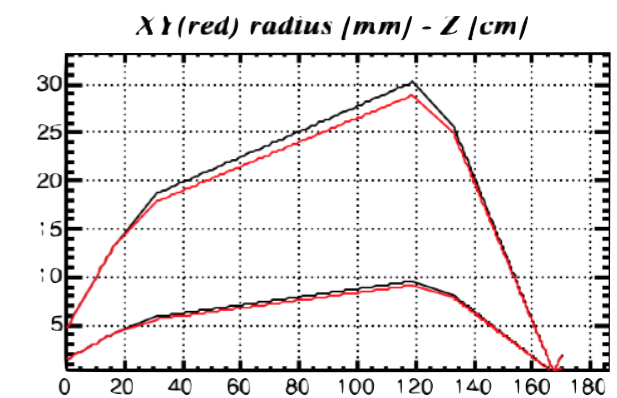
Faraday kupası ile osiloskoptan 0.38mA akım okundu. Yüksek gerilim kaynağı ile arasındaki fark %8



# PTAK -Düşük Enerjili Demet Aktarımı



DemirciPRO simulations:  
 $1\sigma \sim 16\text{mm}$  @ $z=70\text{ cm}$

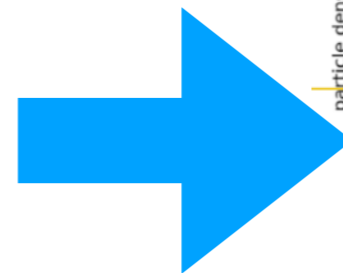
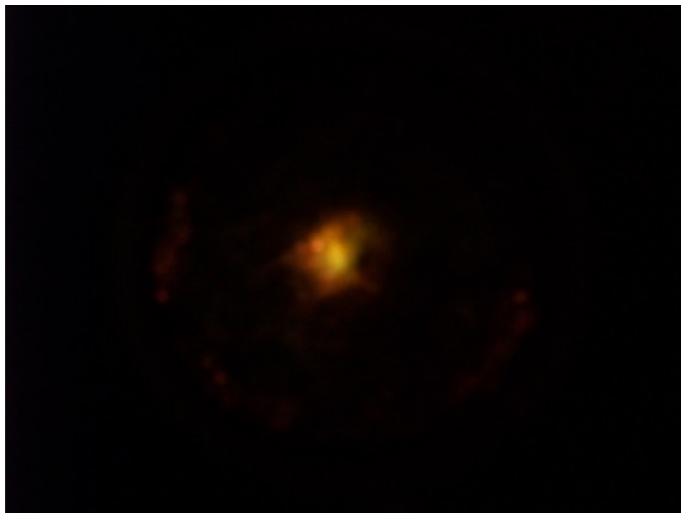


# PTAK - LEBT - MBOX

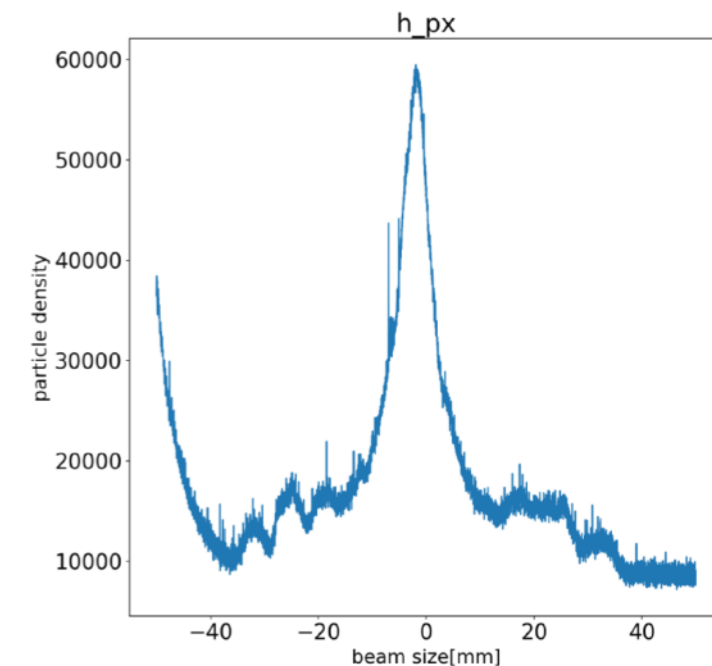
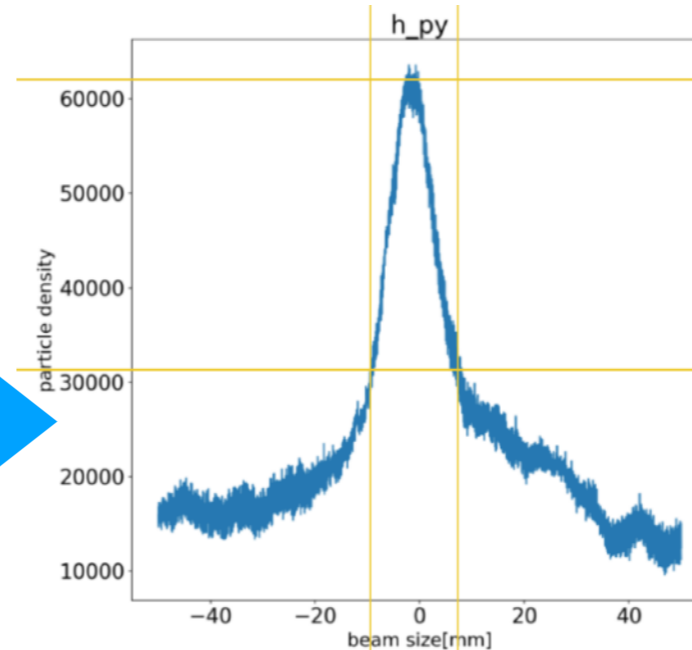


Demet Tanılama:  
1 & 2 : emittance  
2 : profile  
3 : current

- LEBT hattında mıknatıslar arasına yerleştirildi
- Demet ölçümleri için kullanılıyor:
  - ✓ demet yayını (Tuzluk (pepper-pot))
  - ✓ demet profili (Scintillator Ekran)
  - ✓ demet akımı (Faraday Cup)



demet çapı (FWHM) : ~16 mm in x & y

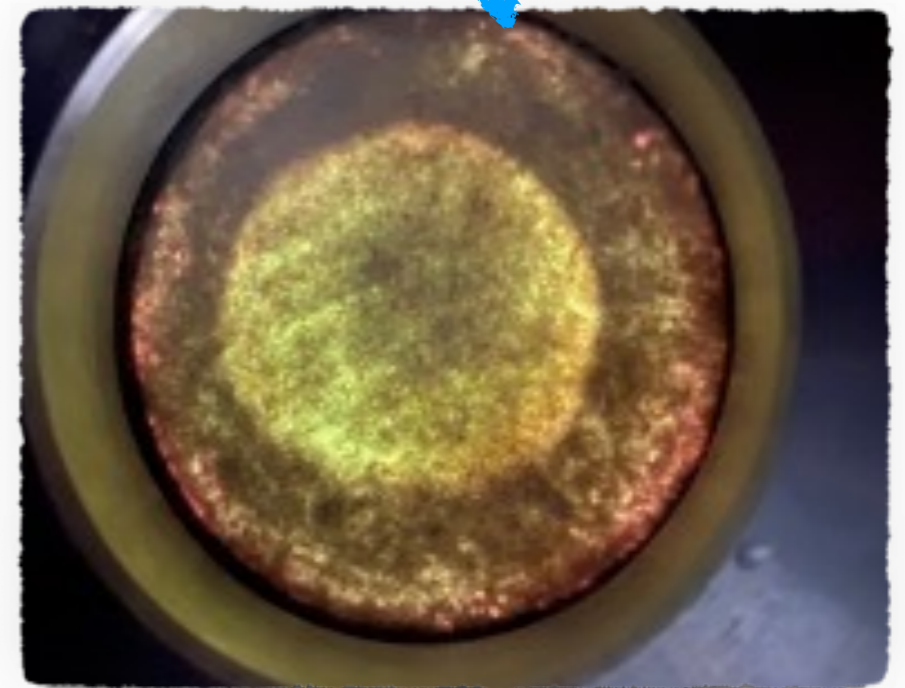
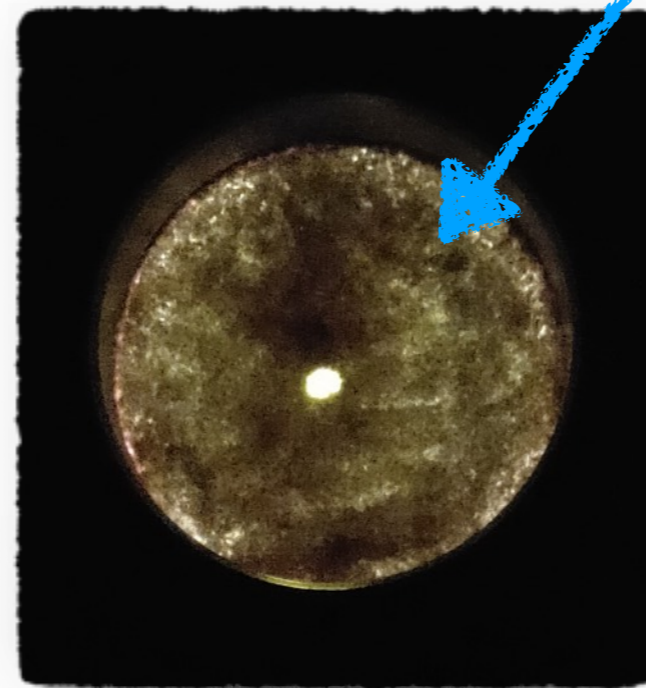
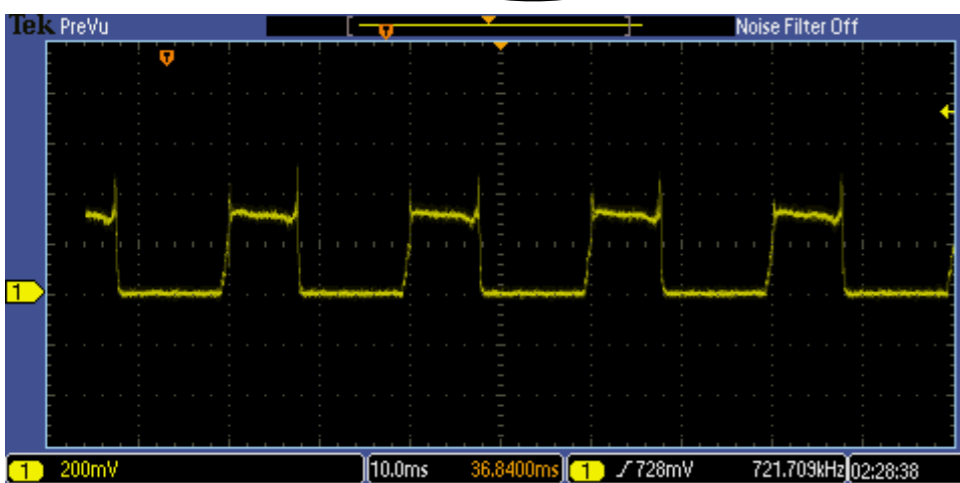
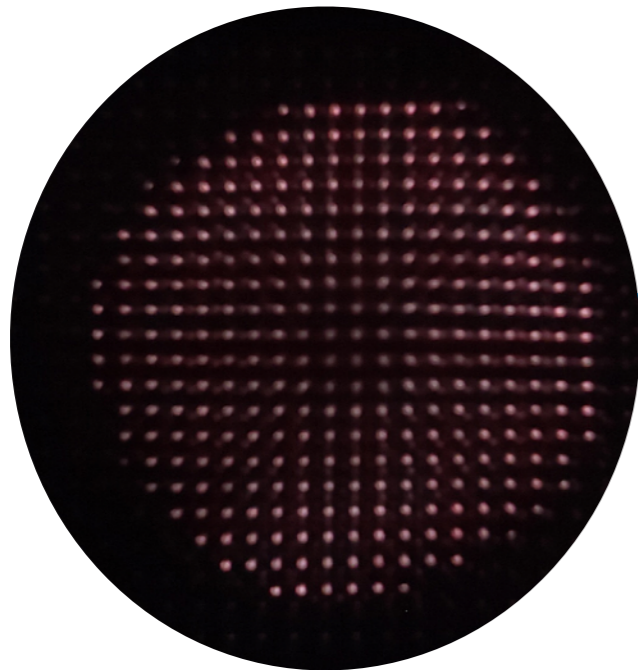
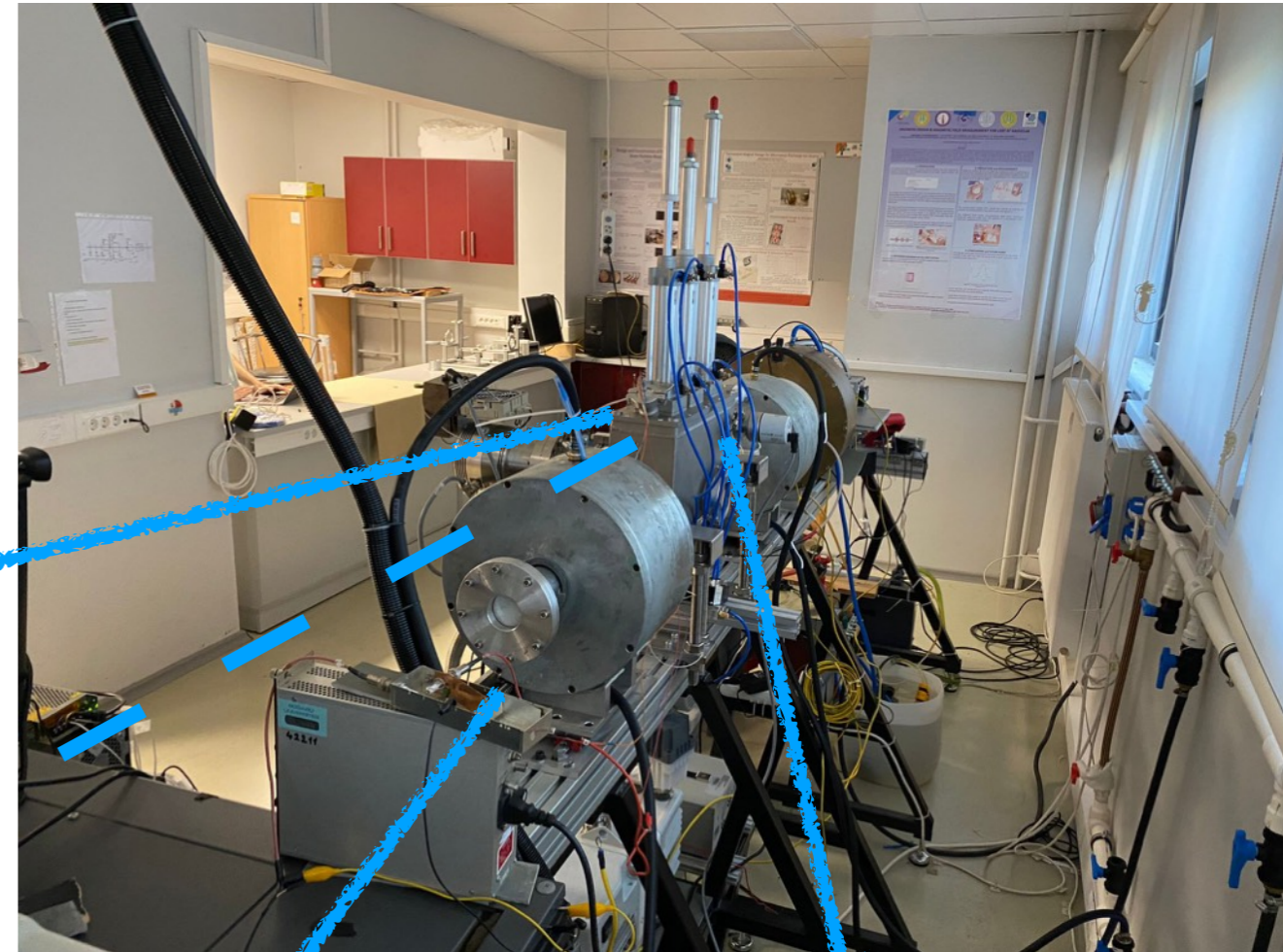




# PTAK - LEBT - Sonuçları

Sim. Measure

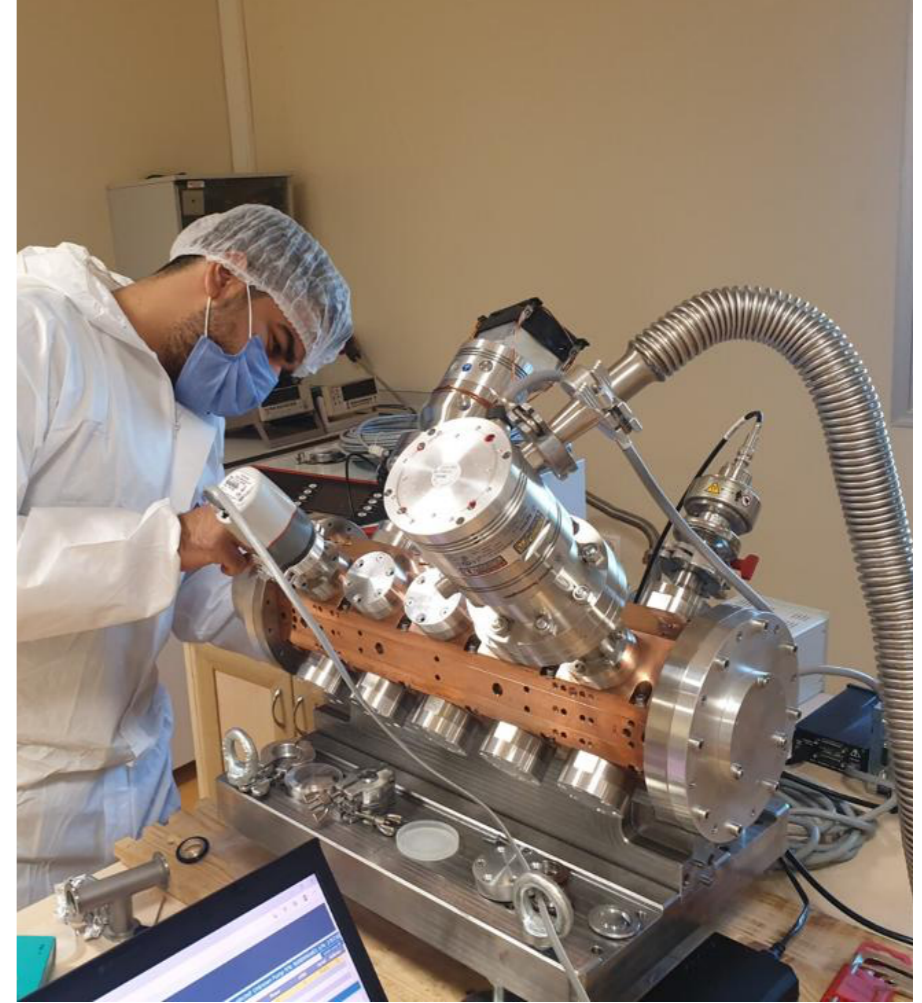
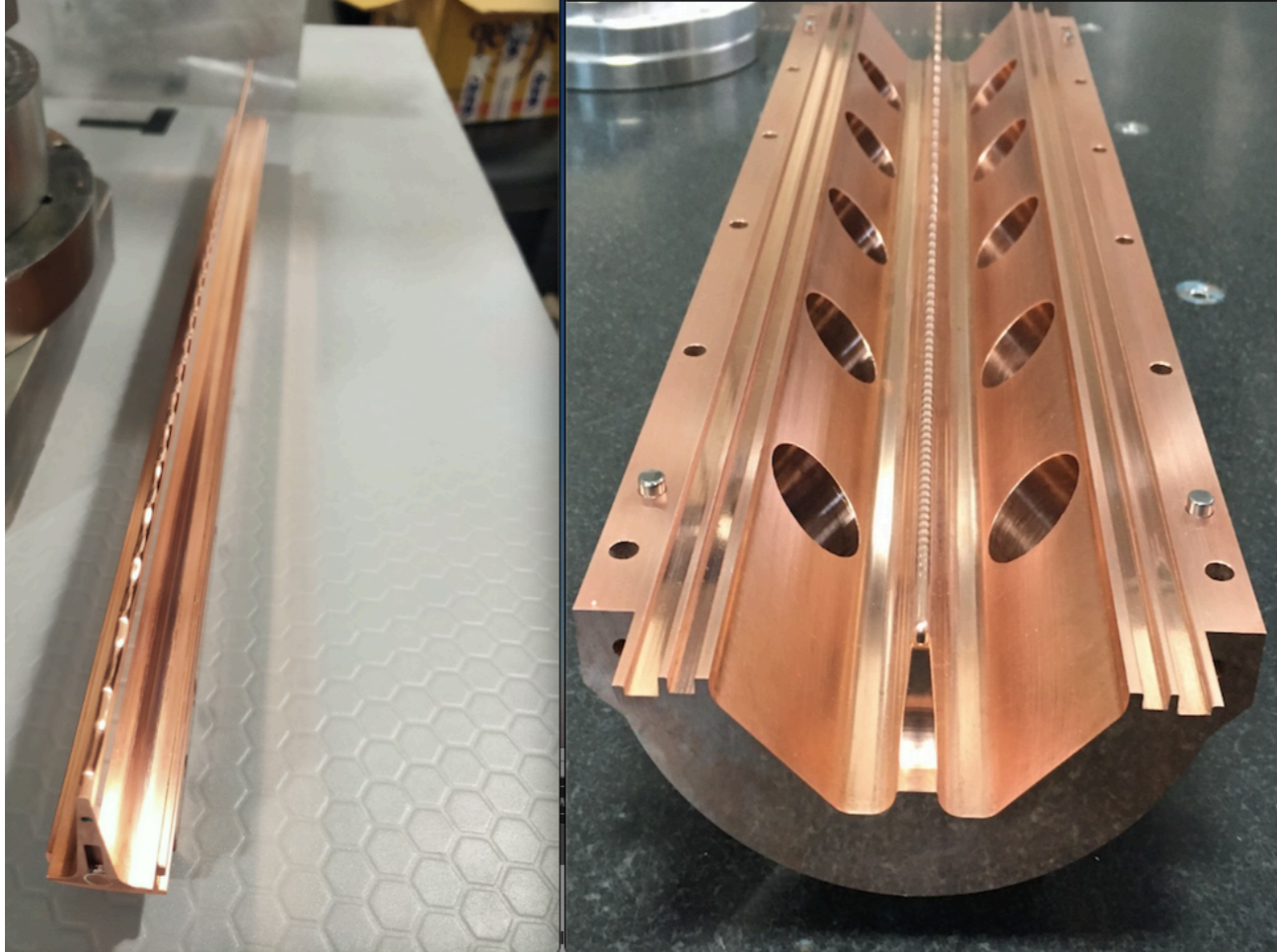
	Sim.	Measure
$\epsilon$ -norm [ $\pi$ mm.mrad]	0.031	0.029
$\alpha$	-4.5	-18.9
$\beta$ [mm/ $\pi$ .mrad]	1.33	2.13
beam size(mbox) [mm]	14.8	15
beam size after s2 [mm]	1.9	2



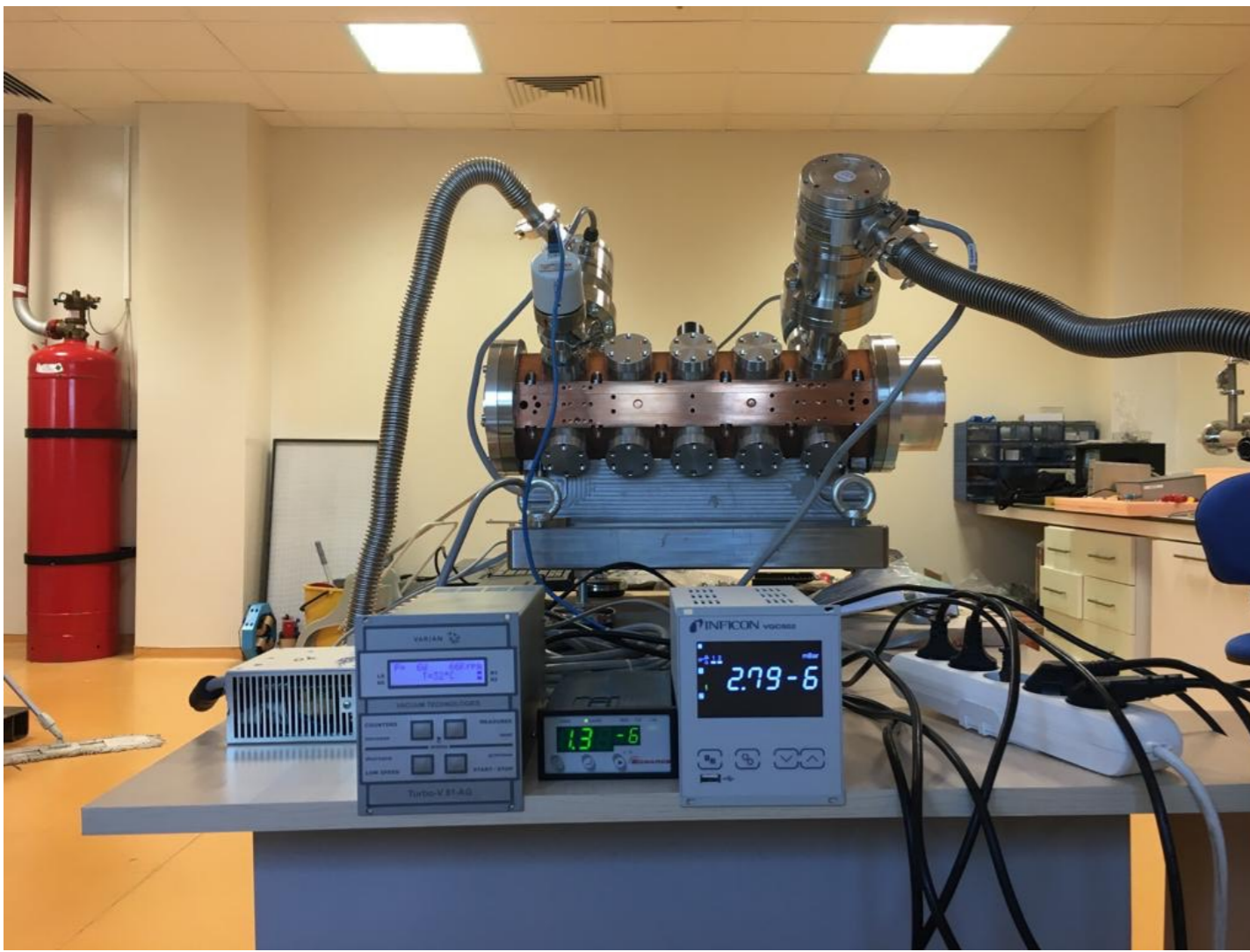
df = 0.4  
rep. rate: 50 Hz  
I = 0.03mA

# PTAK RFQ

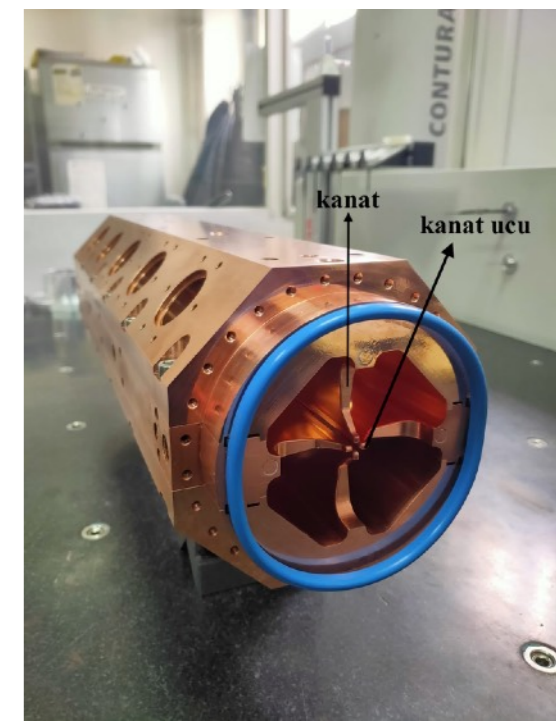
	$f_{res}$ (MHz)	$E_{in}$ (MeV)	$E_{out}$ (MeV)	$L_v$ (cm)	$T_{total/acc}$ (%)	$P_{RF}$ (kW)	$V_v$ (kV)	$S_f$ (Kp)	max d.f.	Q	vanetip r(mm)	bore radius r0(mm)
PTAK	800	0.02	2.0	98	90/30	48.6	33	1.39	%2	7036	1.392	1.392



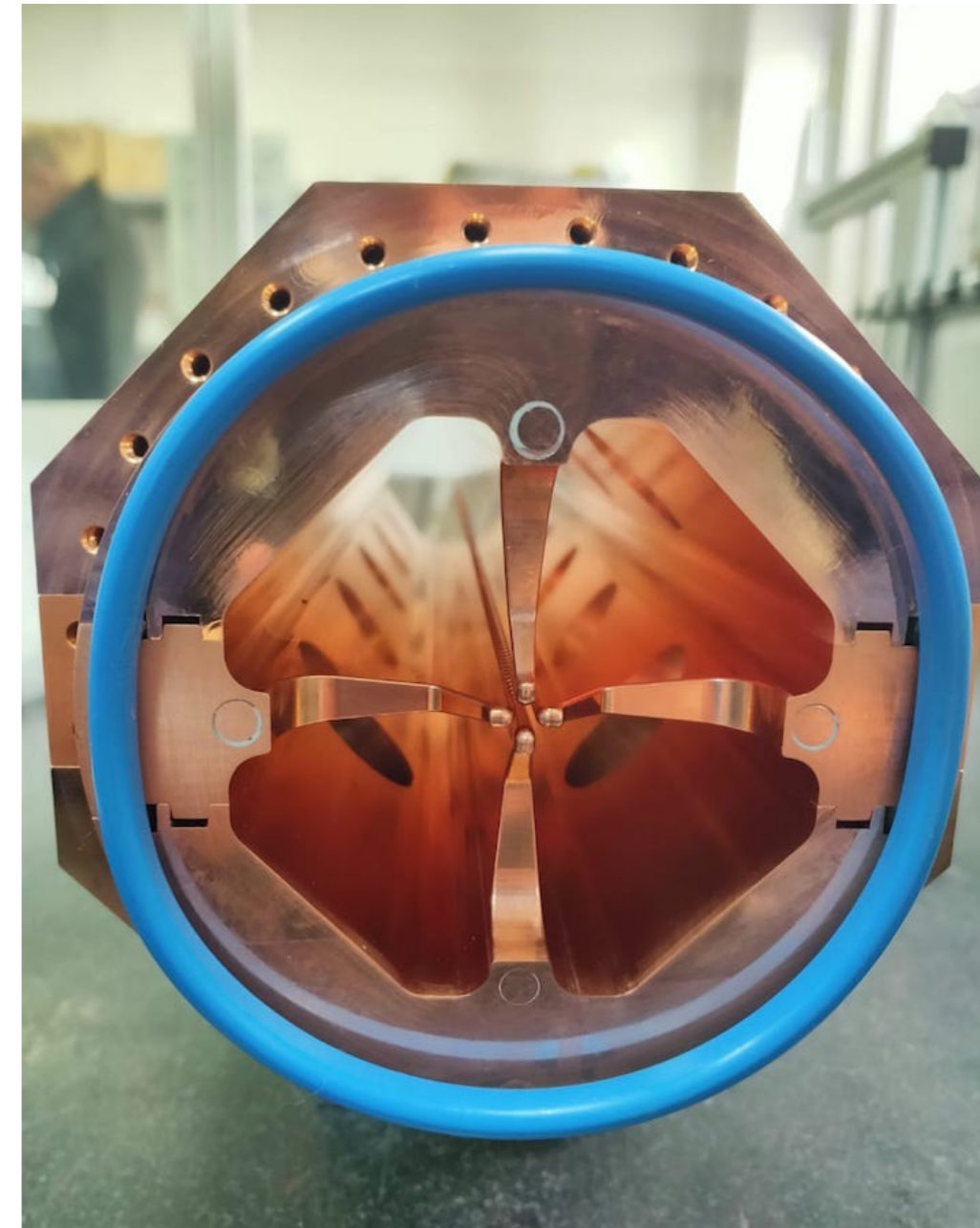
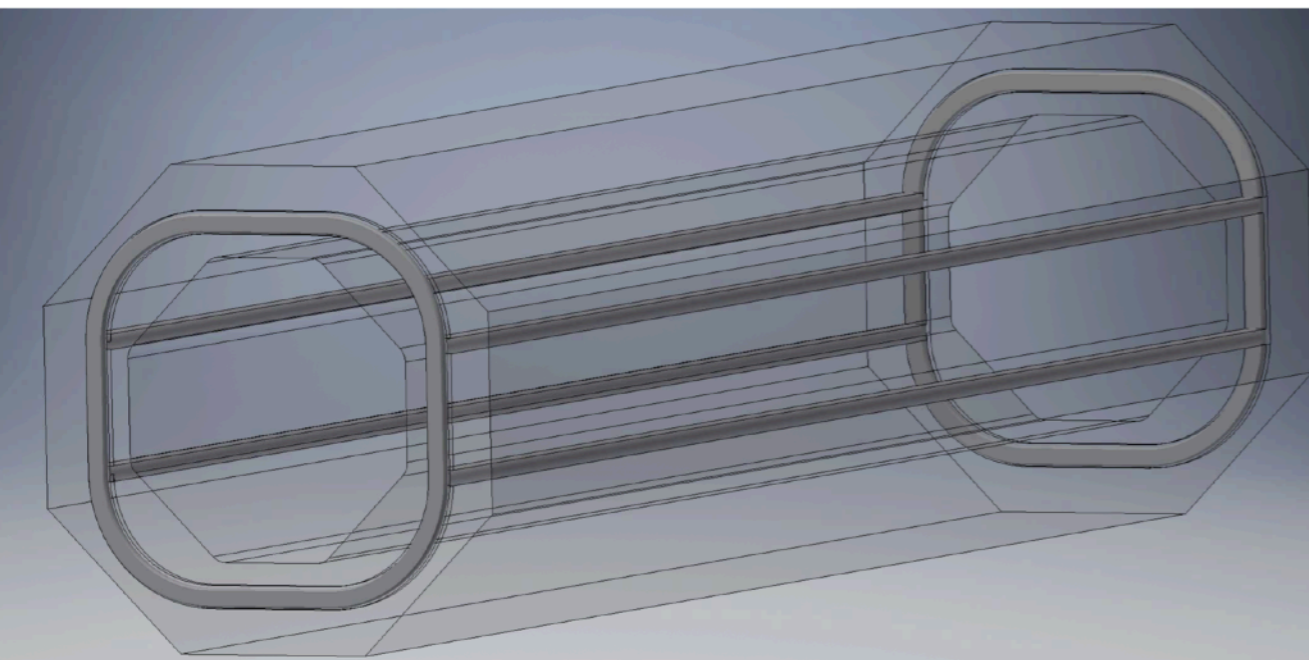
- Üretim sürecini iyileştirmek ve son haline getirmek için normal bakırdan Module-0 üretildi
- Vakum ve EM testleri tamamlandı
- Montaj sonrası:  $18 \pm 1 \mu m$



**PTAK  
RFQ  
Vakum**

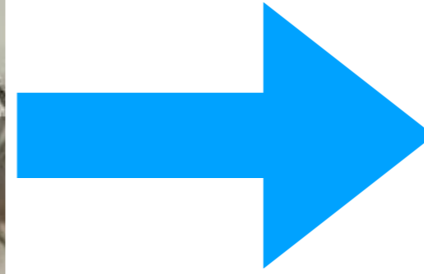


**3D o-ring'le sızdırmazlık  
 $1 \times 10^{-6}$  mbar vakum seviyesi**

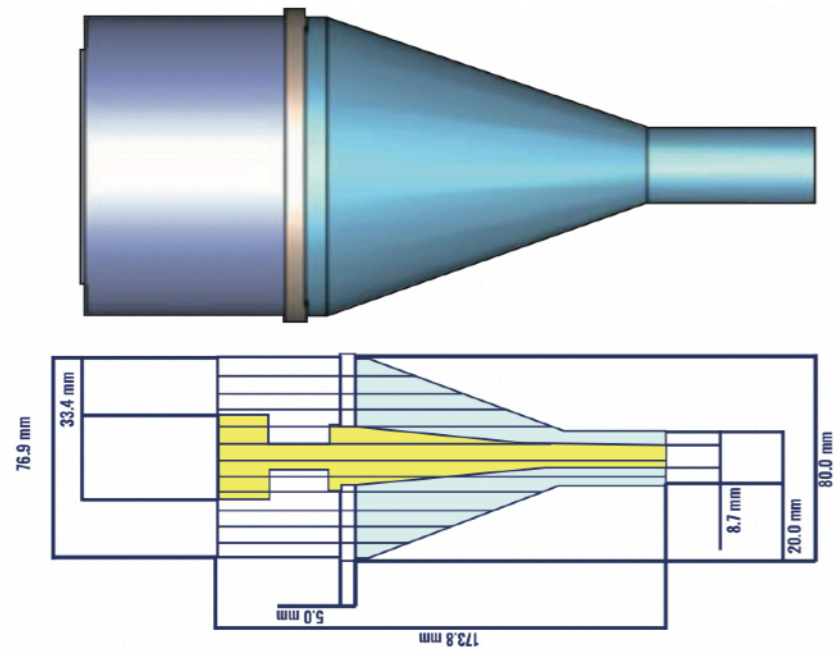
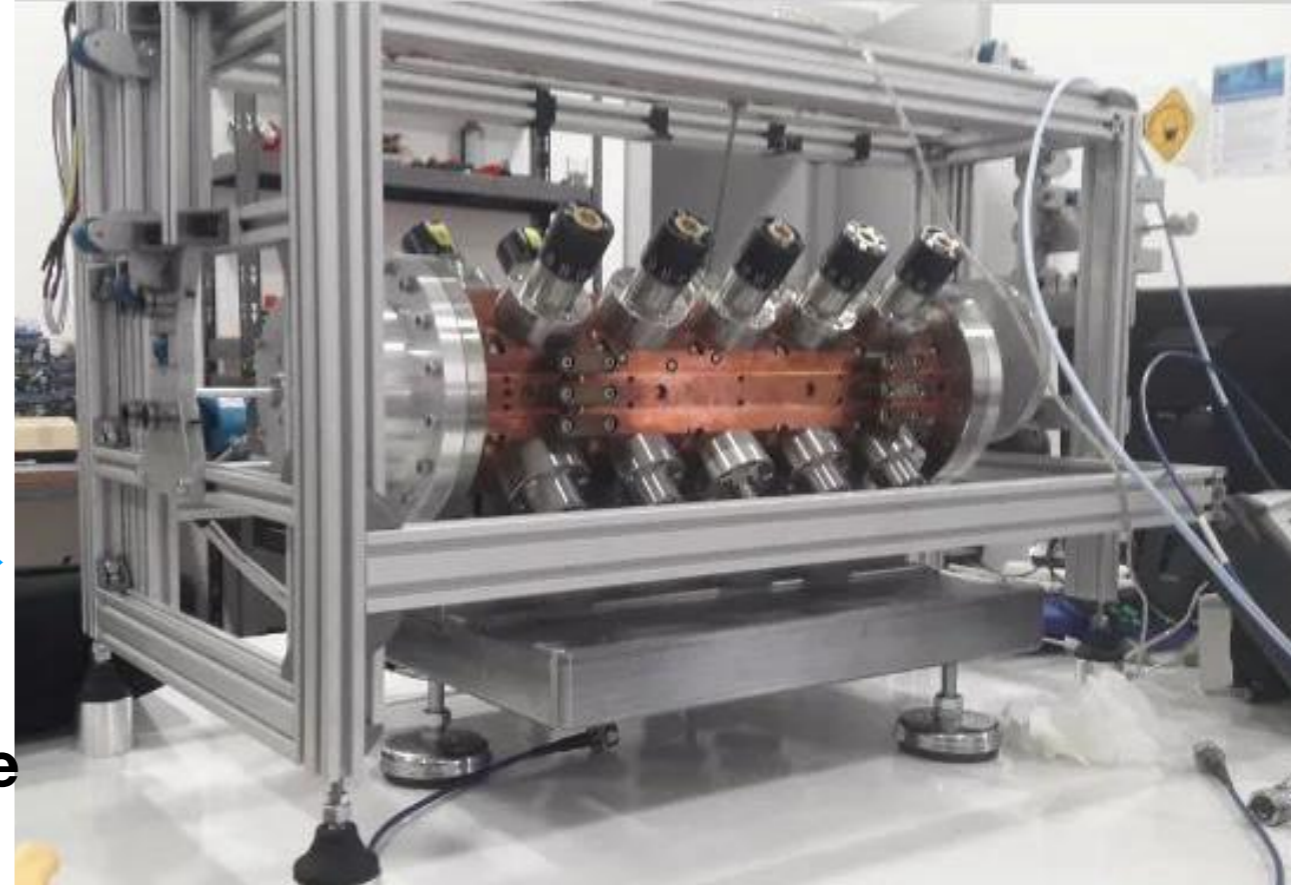




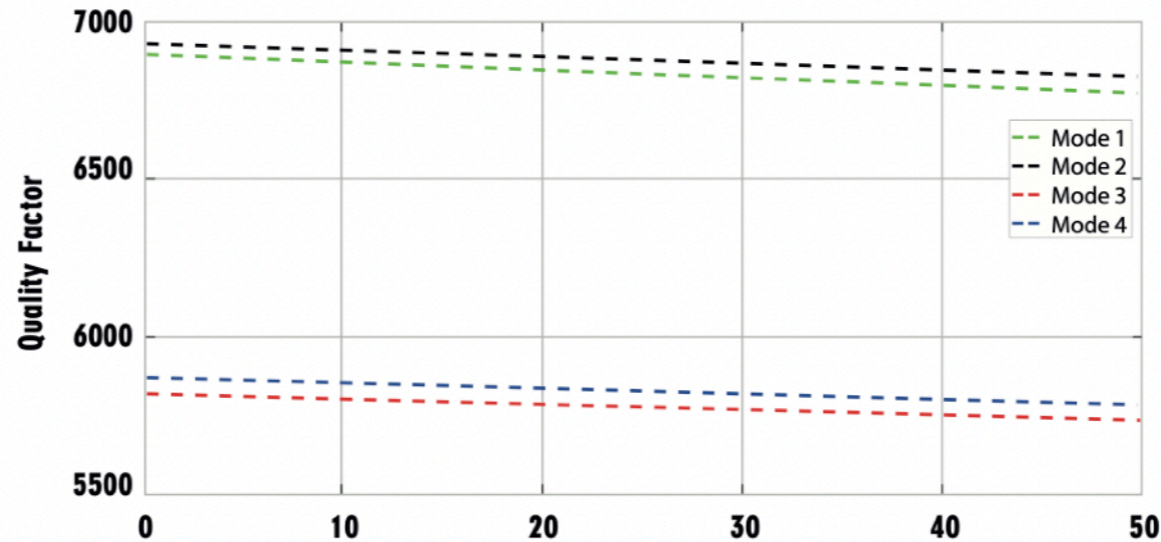
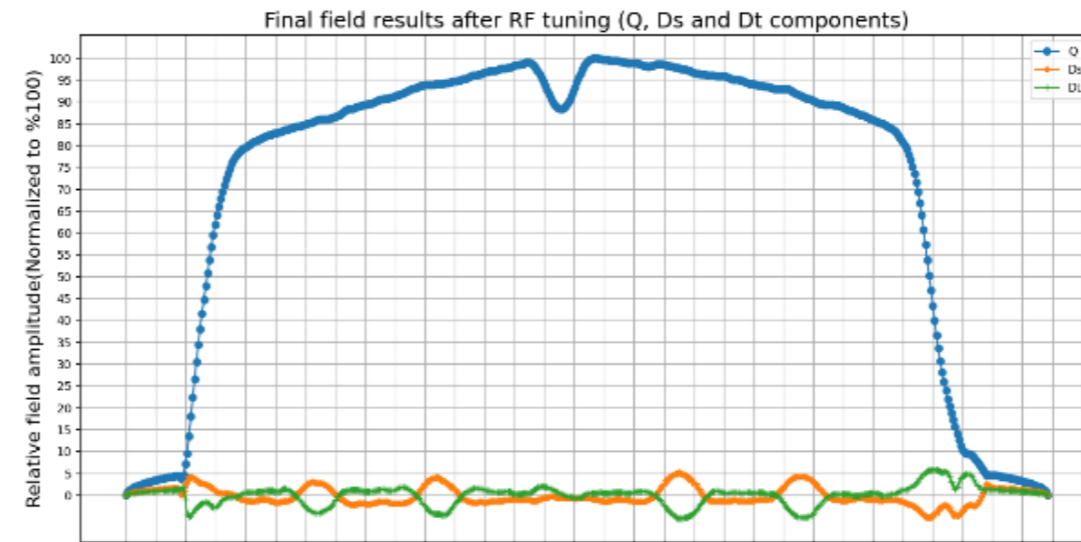
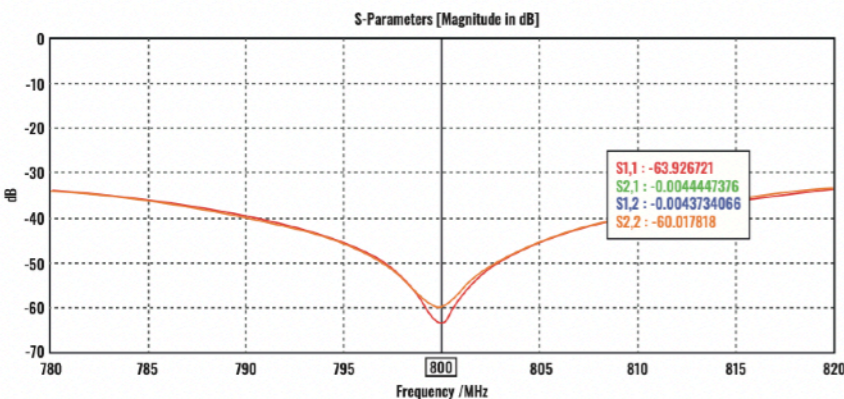
**PTAK  
RFQ  
EM**



**boncuk çekme  
düzeneği**



**Alumina window coupler design and size image**



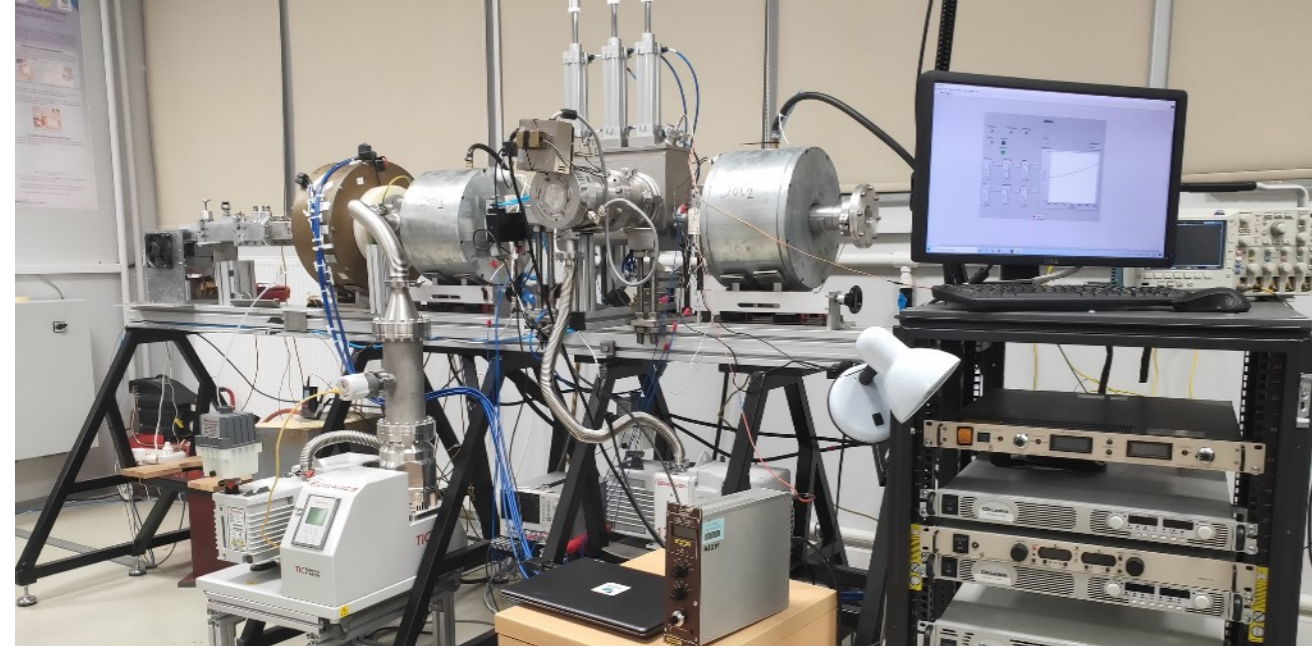
Tüm ayarlayıcılar kovuk yüzeyiyle aynı;

Fquadrupole : 796.05 MHz,

$Q_0$  : 6973 benzetim & 5850 ölçüm

**RF çalışmaları:**  
Yüzey pürüzlülüğü,  
multipacting

# PTAK Durumu & Planlar



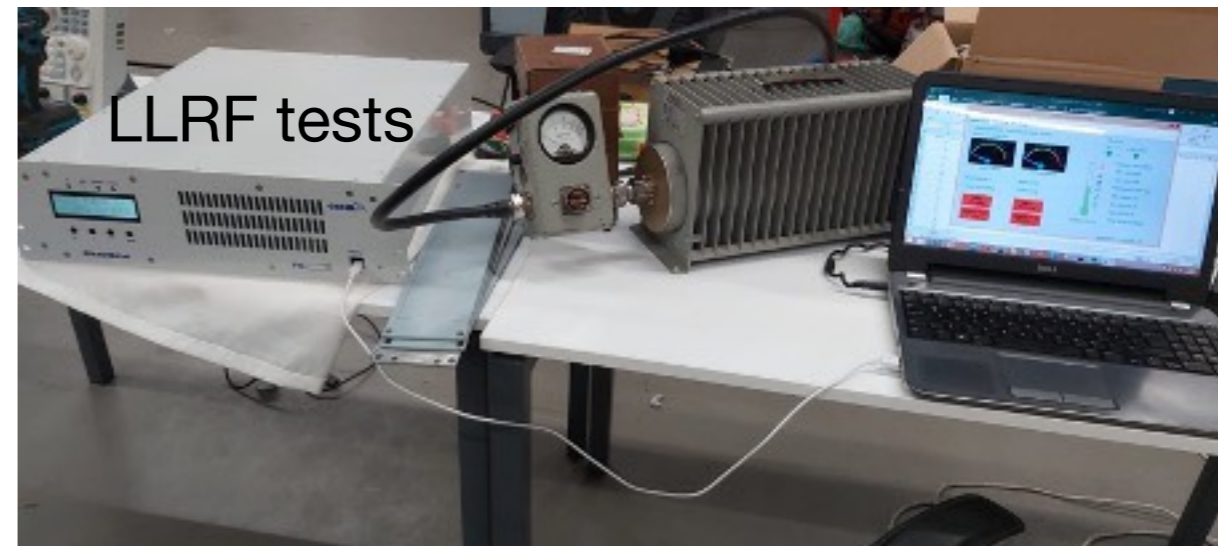
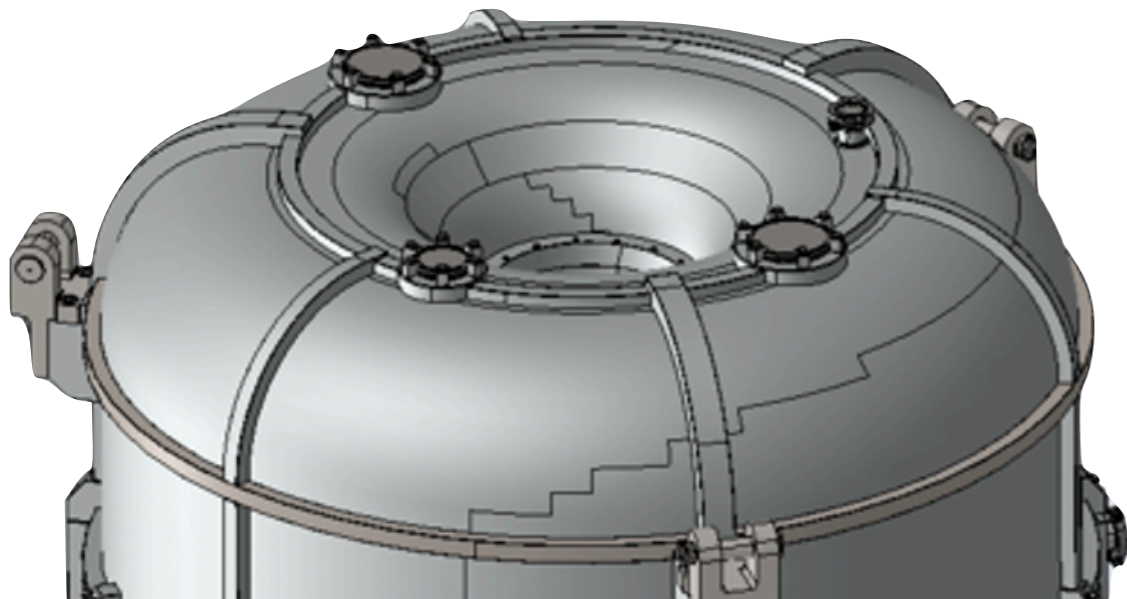
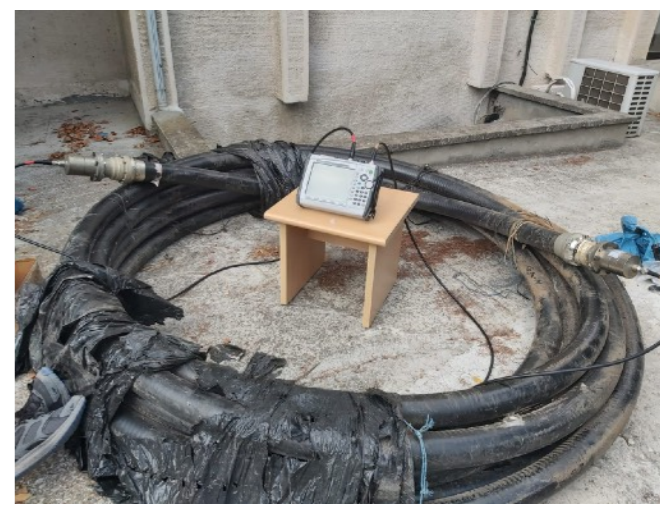
- ★ IS + LEBT kuruldu, sistem devreye alınıyor
  - ★ 2.45 GHz dolaştırıcı eklendi, PMIS kullanılıyor
  - ★ Demet ölçüm kutusu tamamen otomatikleştirilmiş durumda
- ★ RFQ üretiliyor
  - ★ Cu module-0 üretildi, test edildi.
  - ★ OFE-CU module 1 & 2 üretimine başlandı
  - ★ kurulum 2022 de
  - ★ Vakum, RF tavlama 2023 Q1
  - ★ RF PSU ların durumuna göre ilk demet 2023 Q3

# Hızlandırıcı : RF

- RF
  - FM band
    - Güç Kaynakları
    - RF İletim Hattı
  - UHF band
    - Güç Kaynakları
    - RF İletim Hattı

# RF - FM band

- Q ve  $P_{wall}$  hesaplamak için 2D (SFISH) & 3D (CST) benzetimleri  $f=107.5$  MHz,  $Q \sim (60k) 45k$ ,  $T_{fill} \sim 0.120ms$ 
  - 50kW toplam güç için benzetimler
- Ortak RF kaynağı
  - 2 RF kaynağını birleştirmek için
- Durum
  - Tüm PSU var test edildi
  - koaksiyel iletim hattı kullanılacak
  - RF signal üretici ve preamplifier test edildi
  - Uzaktan kontrol test edildi
  - İyi bir RF yüke ihtiyaç var
- Tasarım sonlandırılıyor
  - bağdaştırıcıların tasarımları kontrol ediliyor
  - multipacting etkileri çalışılıyor



# RF - UHF Band

## 800MHz RFQ

parmteq

Demirci

Q 7036 7190

capacitance (pF/m) 91 122

stored energy (mJ) 67.8 71.7

rf power loss (kW) 48.5 50.6

max surface field (MV/m) 36 =1.38KP

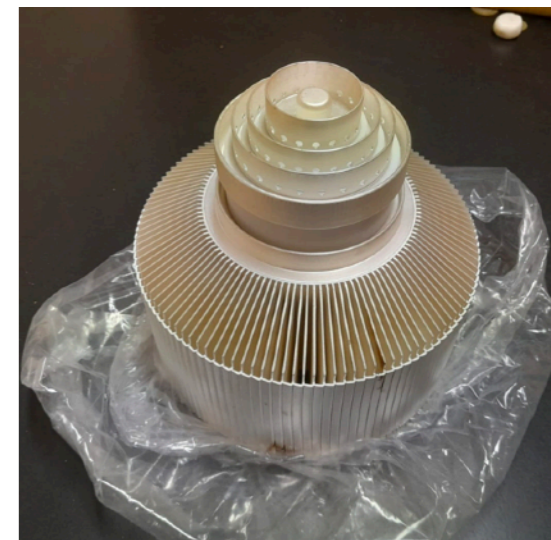
- 40% safety factor ile max RF güç ihtiyacı ~ 70kW
- 30% RF PSU verimi ile 2% d.f. wall power ihtiyacı = 4.7kVA
- 1+1 RF PSUs hibe olarak alındı
  - ➔ TH582 & TH382 Tetrodes + spares
  - ➔ max power delivered by TH582 in pulsed mode = 35kW.
  - ➔ RF güç birleşimi bir magic Tee ile
- PSUs lar elden geçirildi



RF container

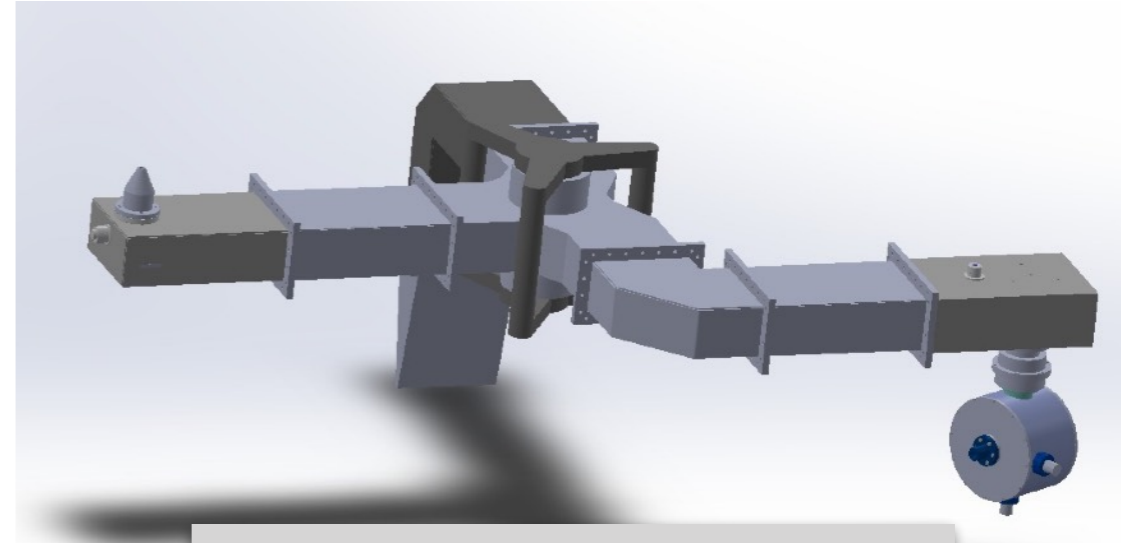
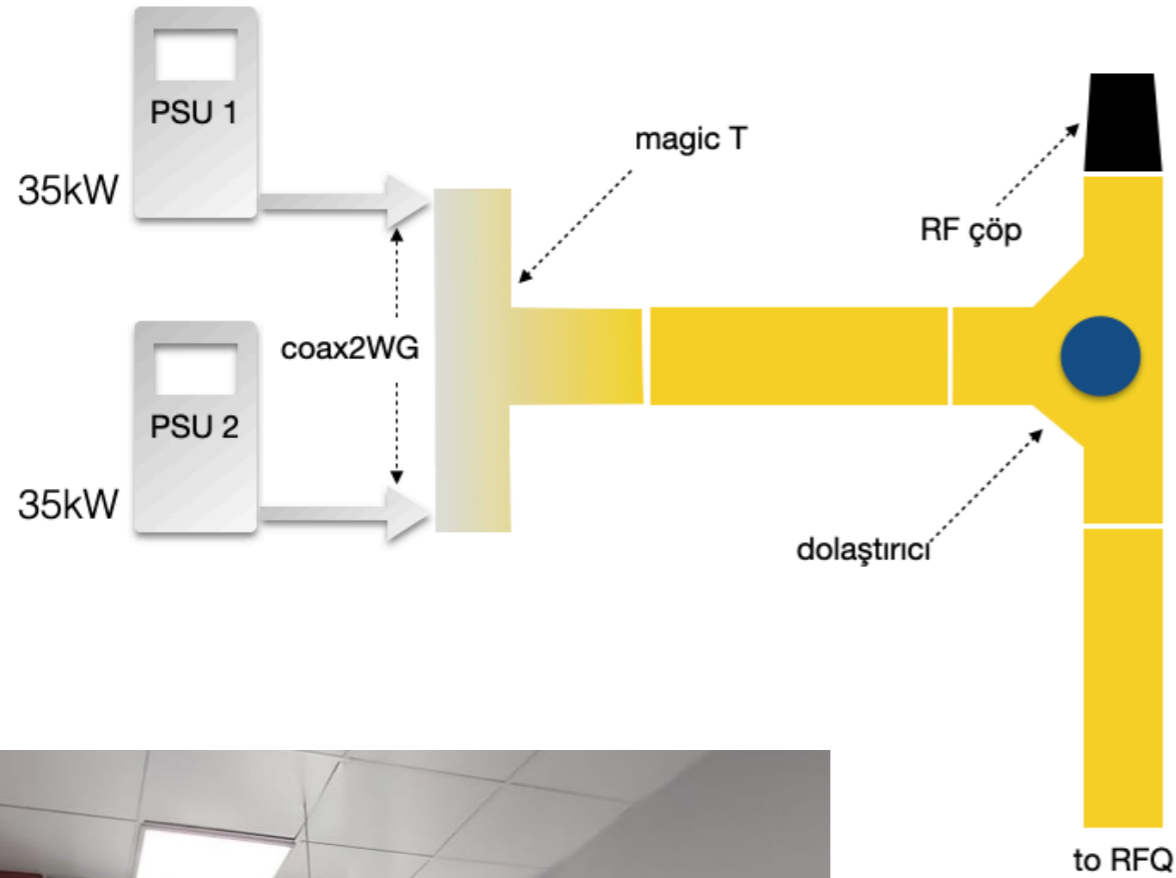


TH382





# RF - UHF - Aktarım Hattı

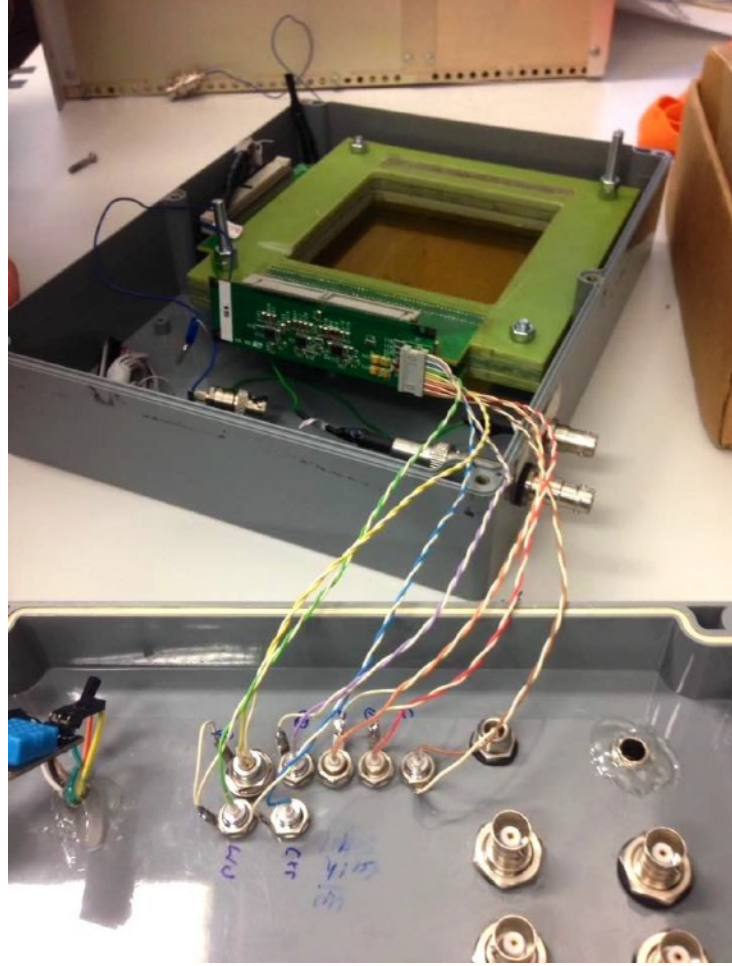


dalga kılavuzu dolaştırıcı aracılığıyla kovuğa giden birleştirilmiş güç



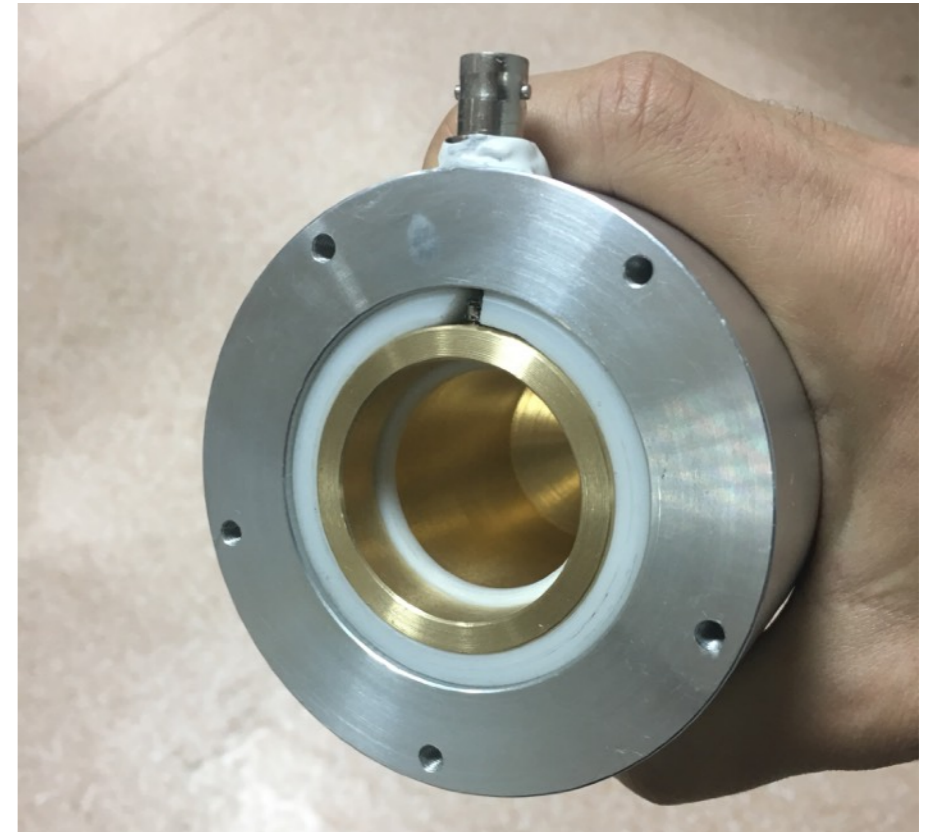
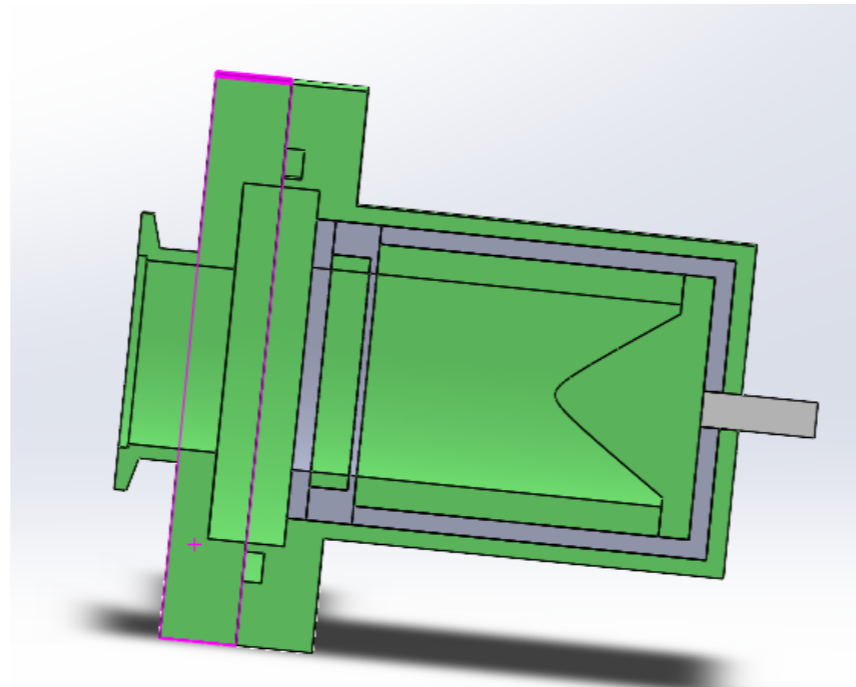
Dalga kılavuzu (T) birleştirici

- ✓ Sinyal üretici
- ✓ SS ön güç yükselteçleri (1.5 kW her biri)
- ✓ Dolaştırıcı, dalga kılavuzları & RF yükler
- ✓ Magic Tee

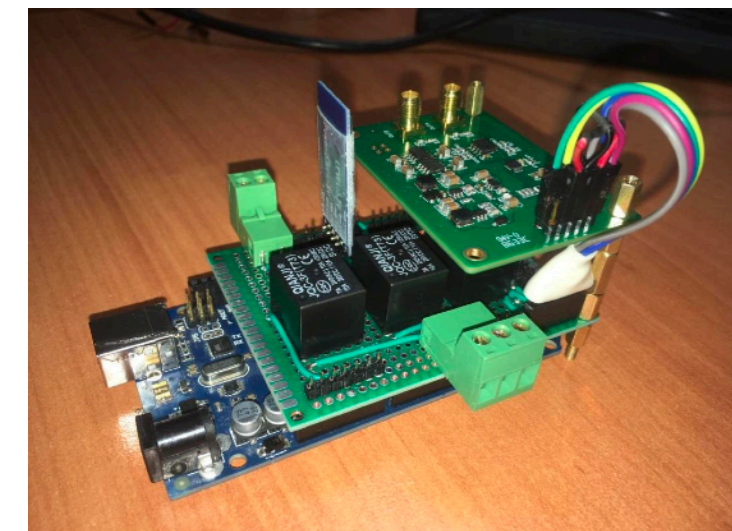
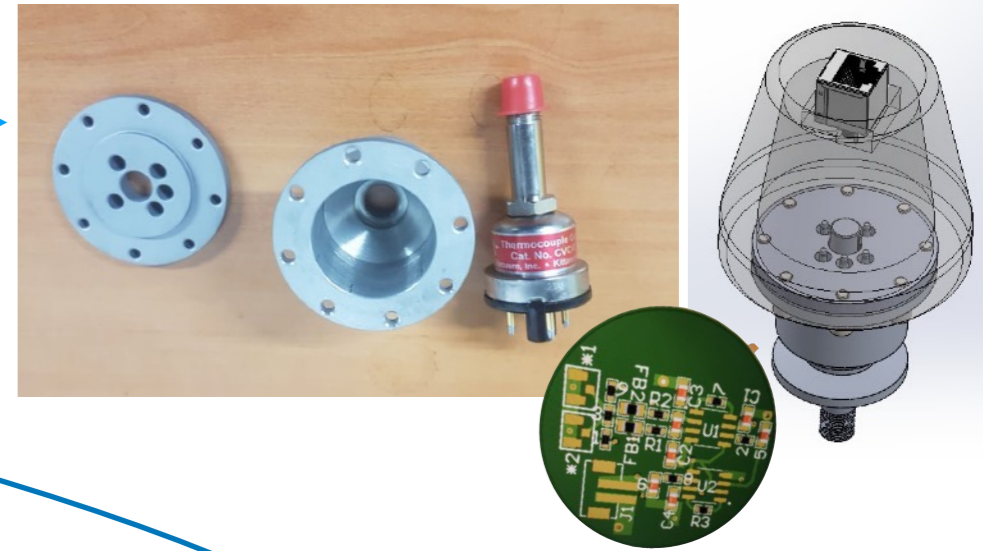
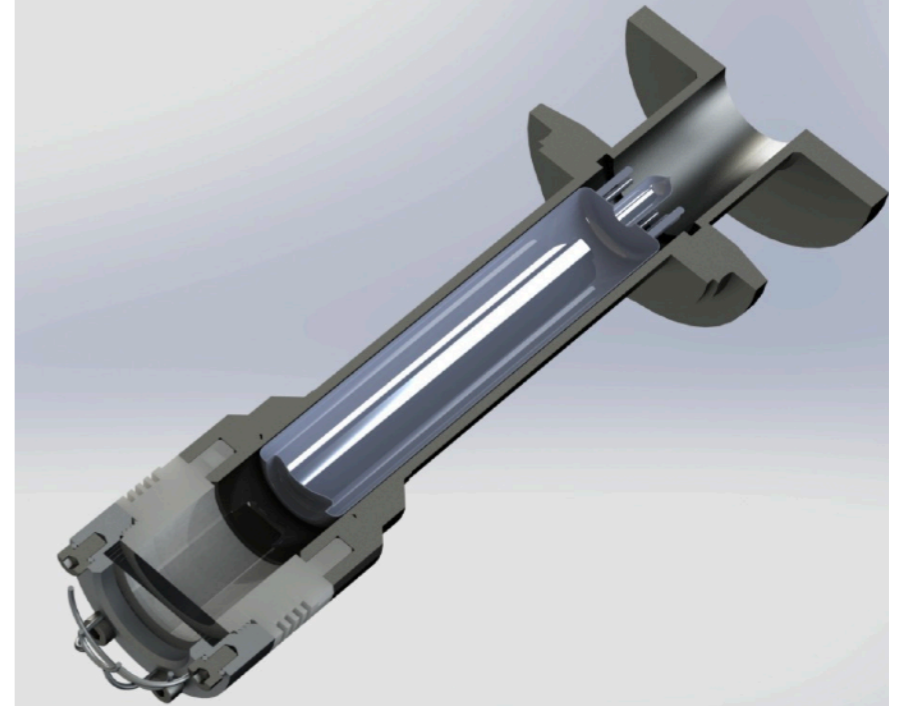
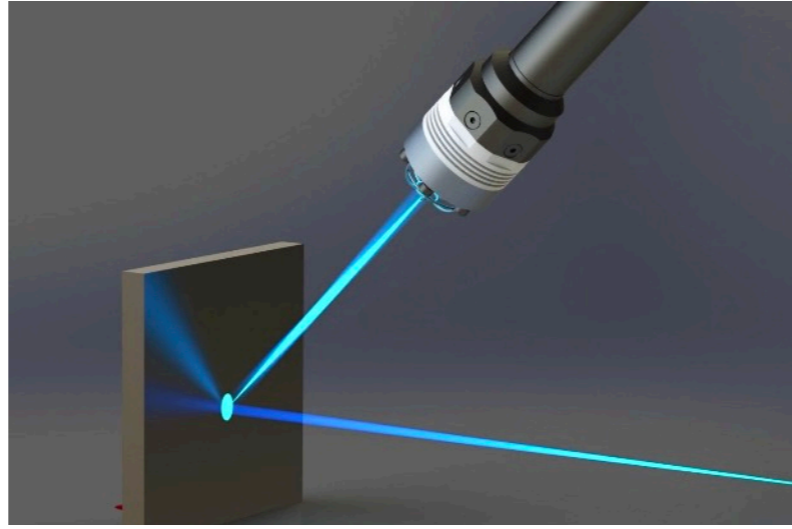


# Algıç

- GETO - (DWC)
- Sintilasyon Sayaçları
  - Yerli & 3D baskı
- Demet Ölçümleri
- SEM



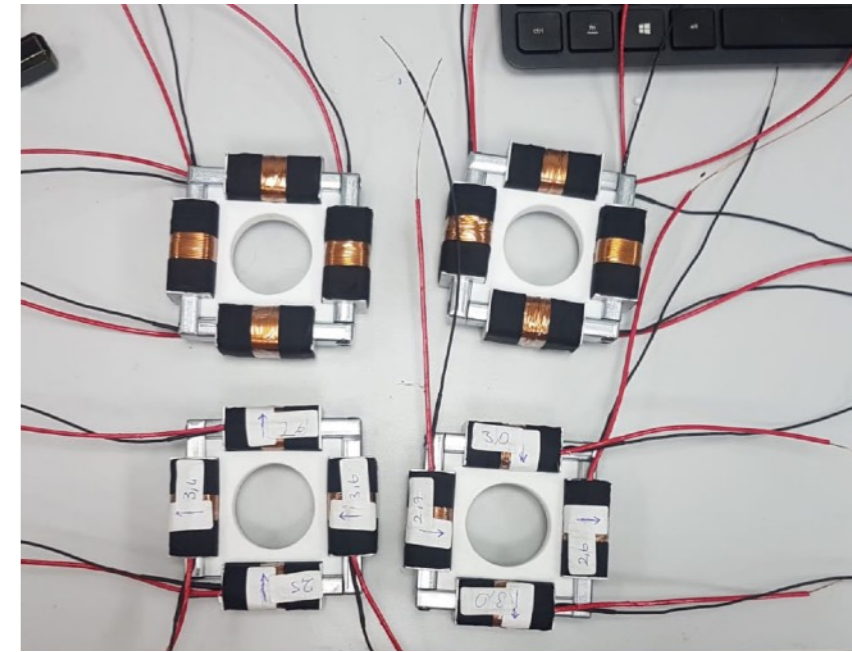
- EB mikroskopi
- Yerli vakum ölçer
- Demet görüntüleme ekranı
- wifi/bt gerilim/akım kontrolcü
- wifi/bt anot & hedef akım okuyucular



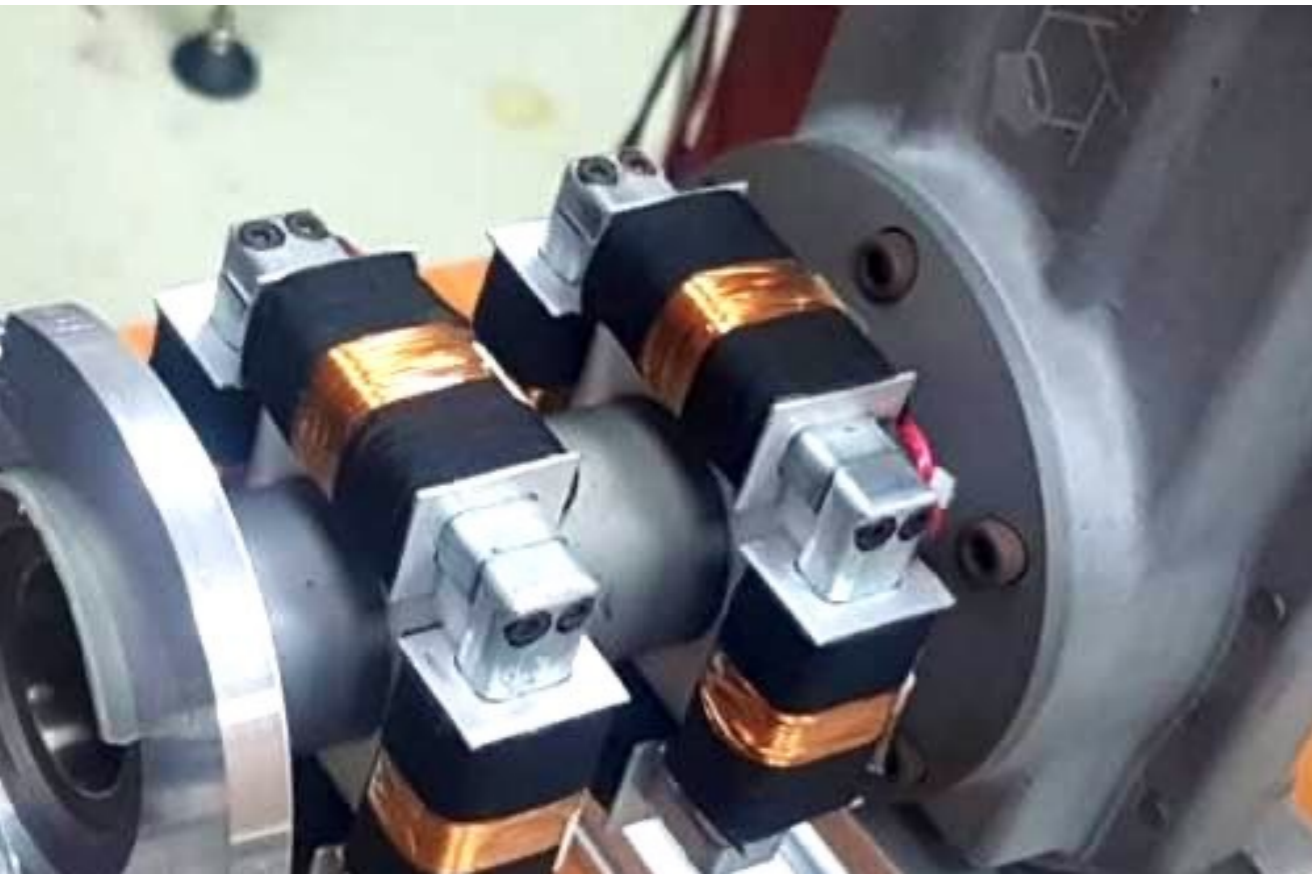
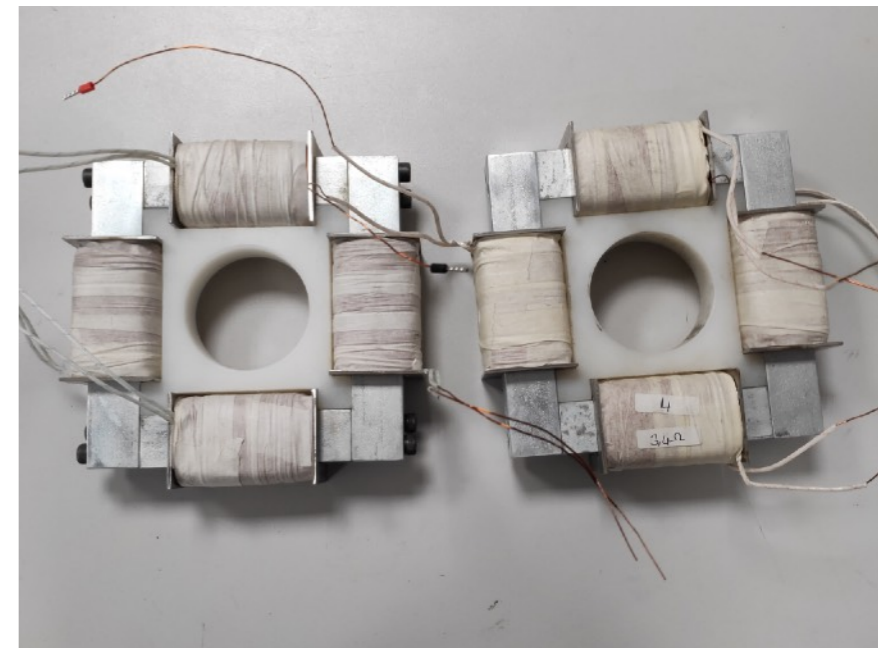
# Enstrümantasyon



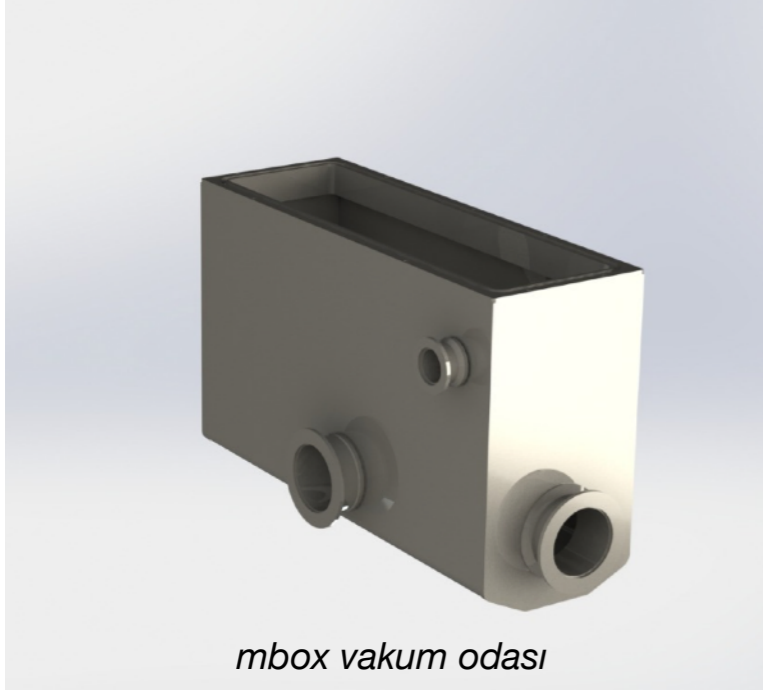
elektron demet hattı için



proton demet hattı için



# MBOX tasarımı - kurulumuna



*mbox vakum odası*



*Tanıma istasyonu ve pnömatik silindirler*



*Mbox montajı*

Dr. O. Ilday, UFOLab, Bilkent



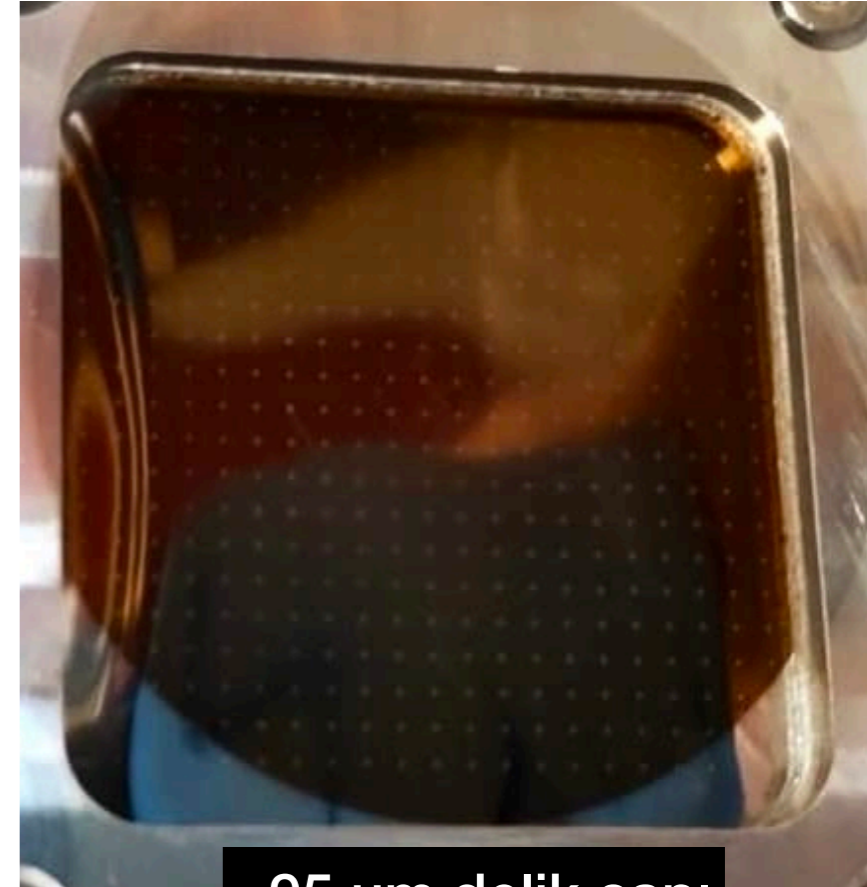
*Vakum testleri*

**MBOX vakum:**  
demetsiz:  $1.3e-6$ mbar  
demetli:  $1.9e-5$ mbar

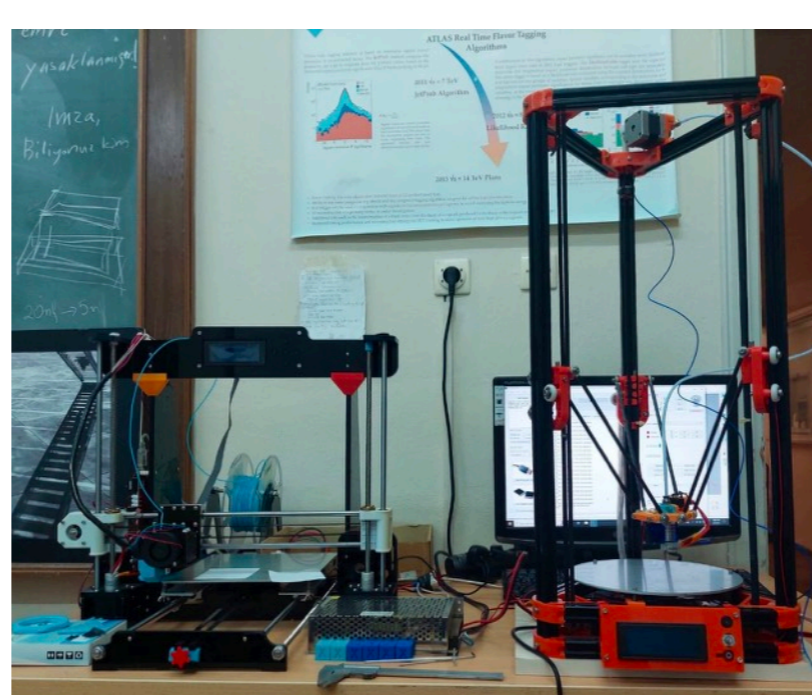
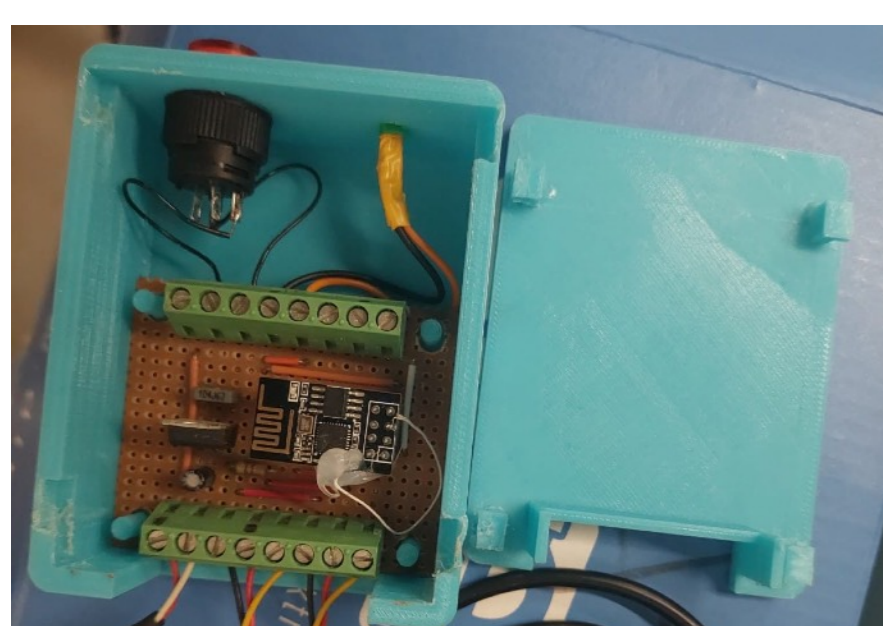


29

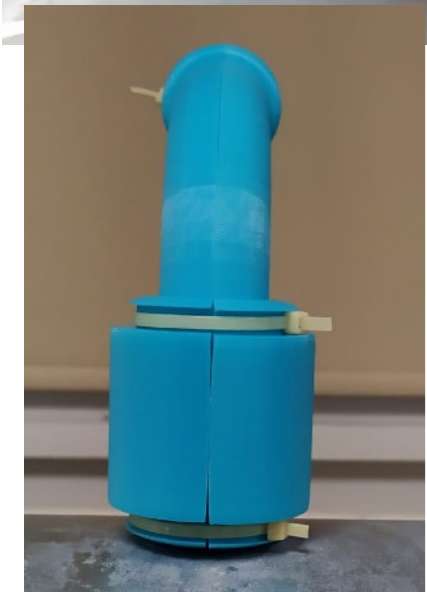
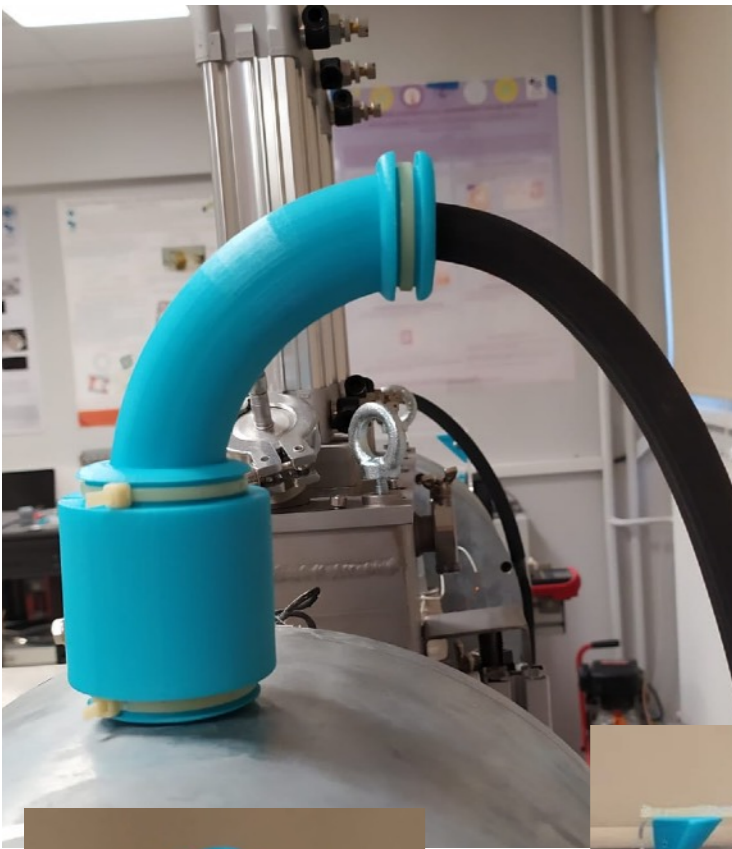
*Kurulum*



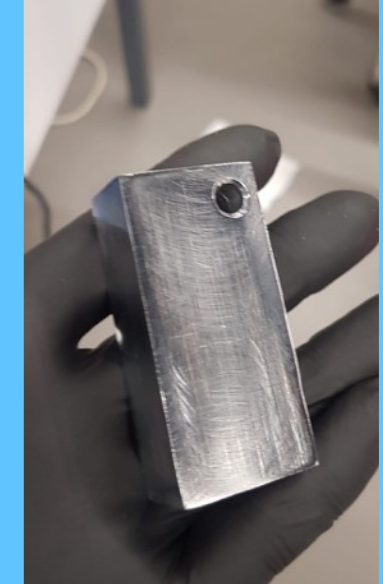
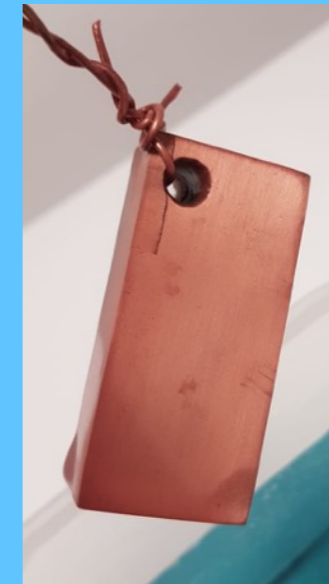
**~95 um delik çapı**



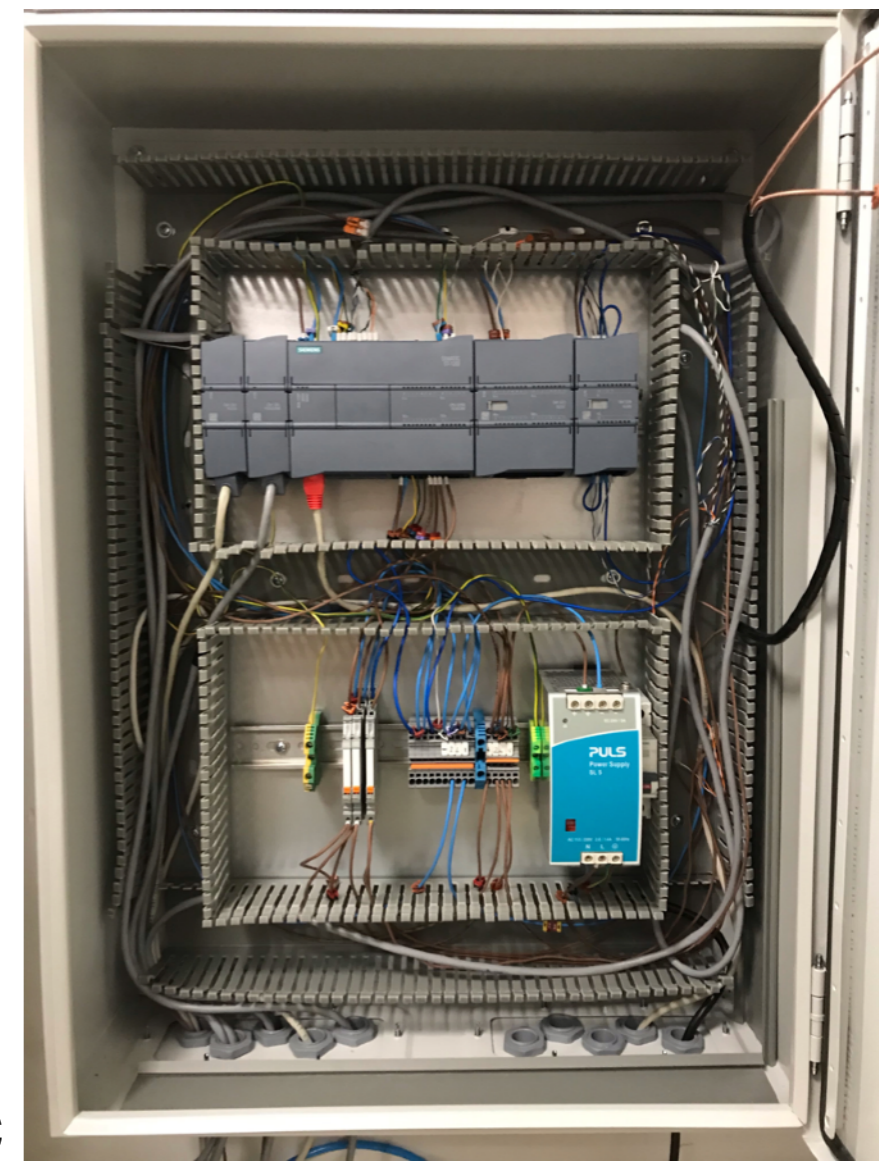
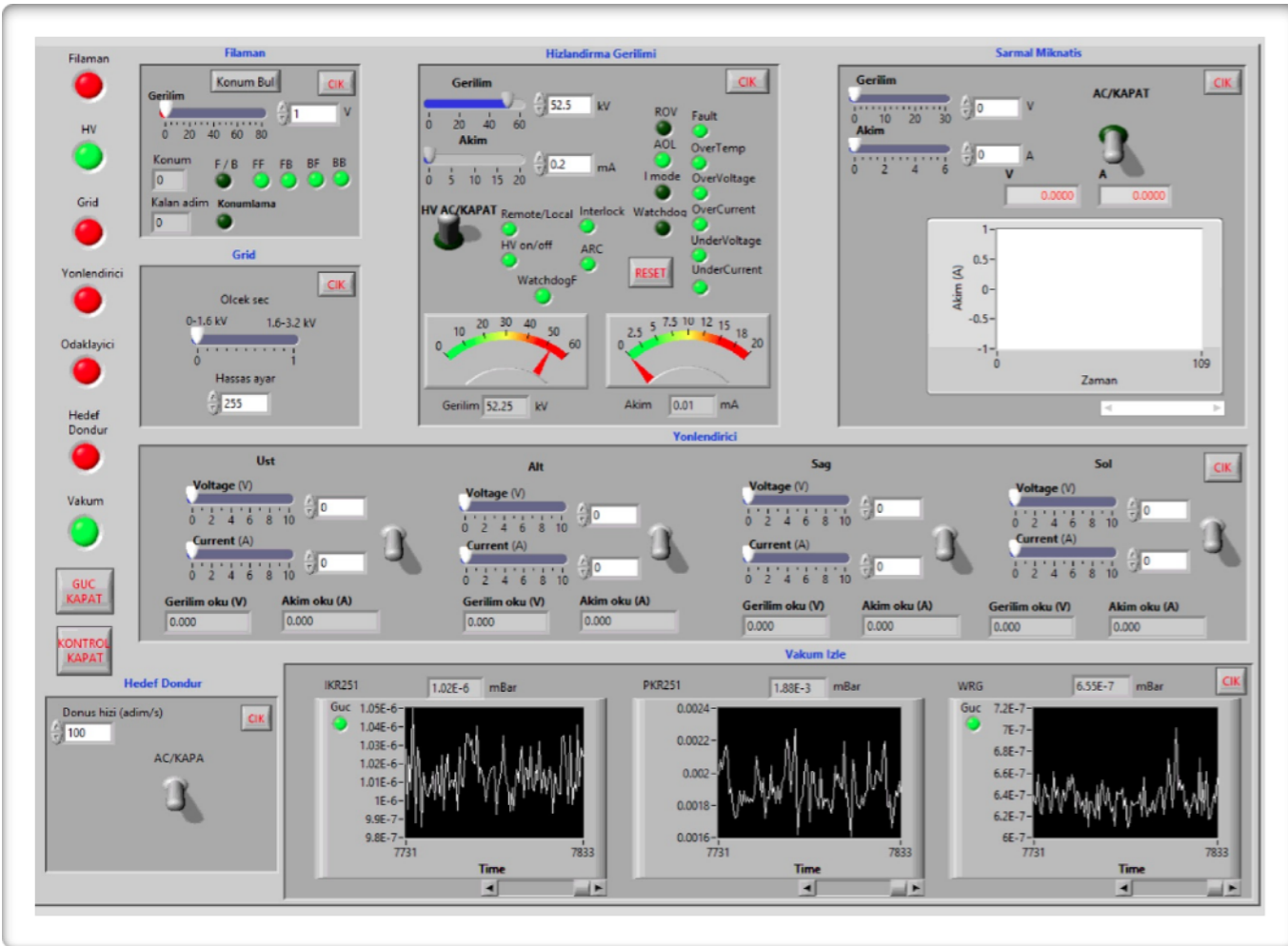
3D printer ile ara eleman  
üretimi



bakır kaplama

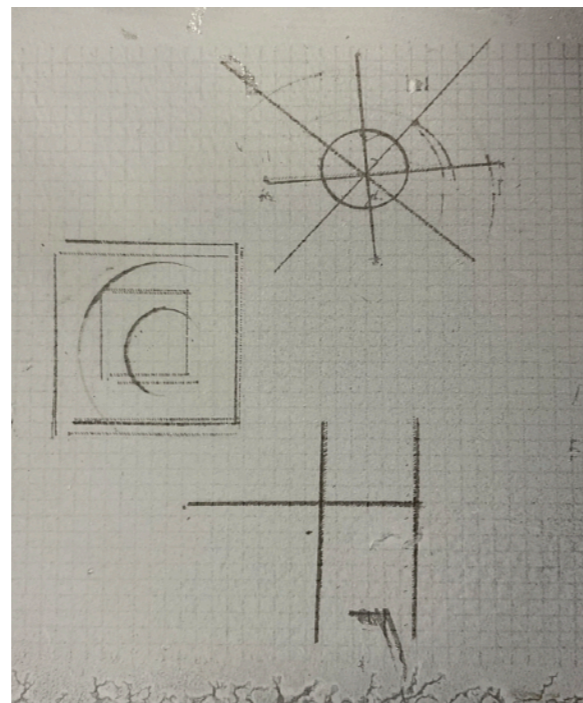
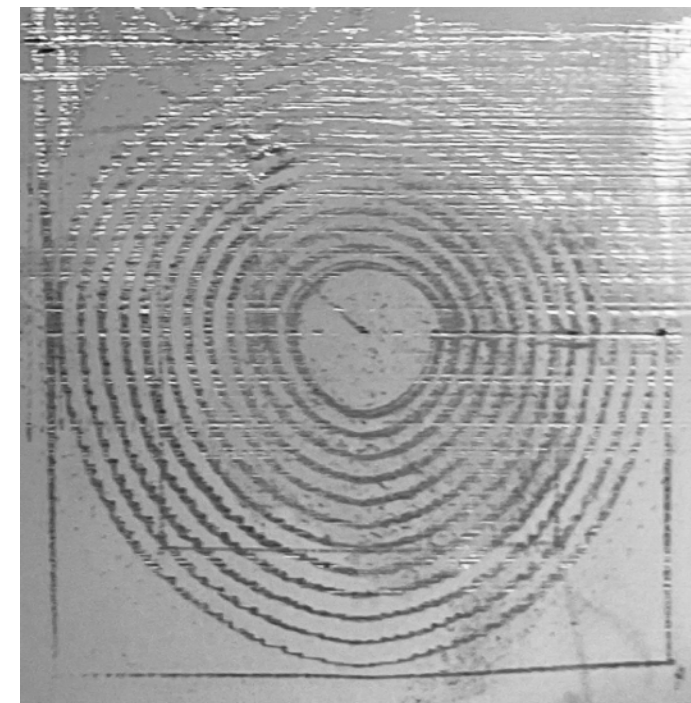


# Demet kontrolü



- PLC
- LabView
- uController (arduino)

İyi bir demet kontrolü için donanım ve yazılım geliştirildi



Uygulama  
ebeam lithography

# Özet & Plan

- 2023'te KAHVELab'da MeV enerjili e- ve p demetine sahip olmak
  - mA akım, yerli tasarım
  - Maksimum yerli üretim
  - Eğitim ve uygulama
- Algıçları test etmek için demet, enstrümantasyon & okuma sistemi
  - Gaz ve sintilasyon algıçları
  - Yerli geliştirme, uluslararası test ve kullanım
- İşbirlikleri
  - Nitelikli insan gücüne ihtiyaç
  - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ferrites üretimi için teknik bilgi
  - Yeni uygulamalar üzerinde çalışma



# Yedekler

RFQ tarihi

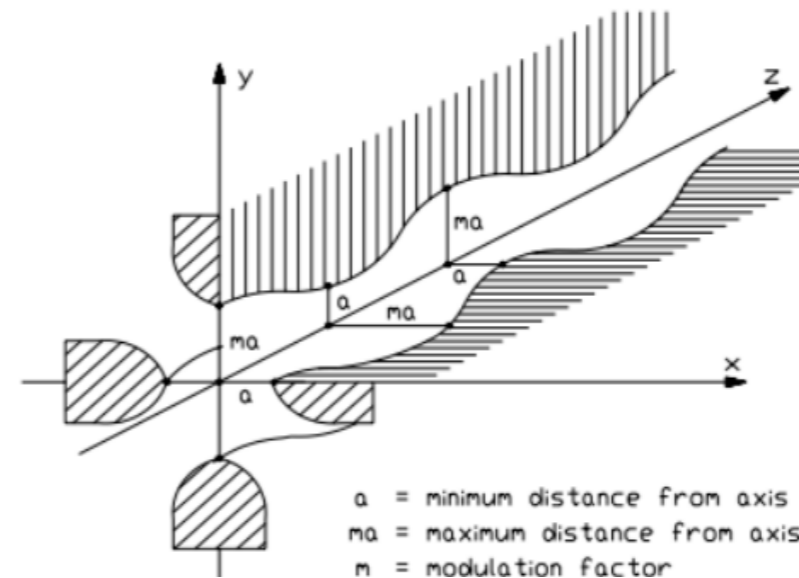
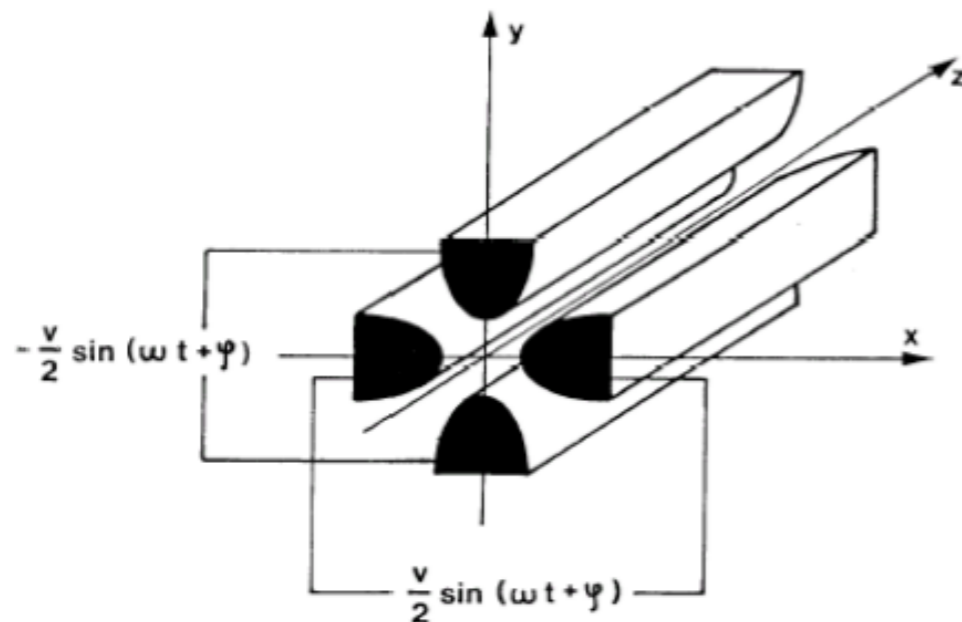
RFQ tipleri

Vakum sızdırmazlık

CERN HF RFQ ile karşılaştırma

# RADIO FREQUENCY QUADRAPOLE (RFQ)

- 1970'te iki Rus biliminsanı (Kapchinsky ve Teplyakov) RFQ ile ilgili ilk makalelerini yayınladı.
  - RFQ ismi daha sonra US'te verildi.
- **Fikir:**
  - RF frekansında uyarılan 4 elektrot kullanarak demeti enine düzelemde odaklamak
  - ve hızlandırmak için boyuna elektrik alan yaratacak şekilde elektrotları modüle etmek
- **İlk makale Rusya'dan olduğu için fikrin yayılması 10 yıl sürdü**
  - RFQ geliştirme işi Los Alamos National Laboratory (LANL) de 70'lerin sonunda başladı.



# CERN's RFQs tarihsel geliřimi

• 1990

## **RFQ2**

200 MHz

0.5 MeV/m

Ağırlık : 1000 kg/m

Dıř ap : 45 cm

• 2007

## **LINAC4 RFQ**

352 MHz

1 MeV/m

Ağırlık: 400 kg/m

Dıř ap : 29 cm

• 2014

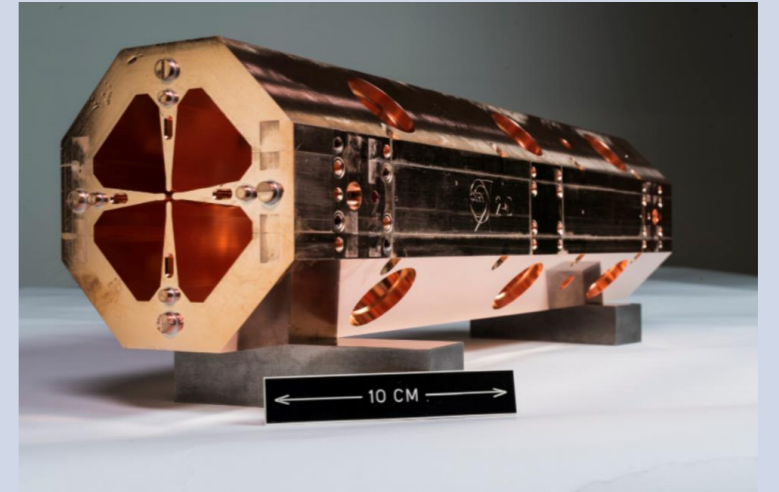
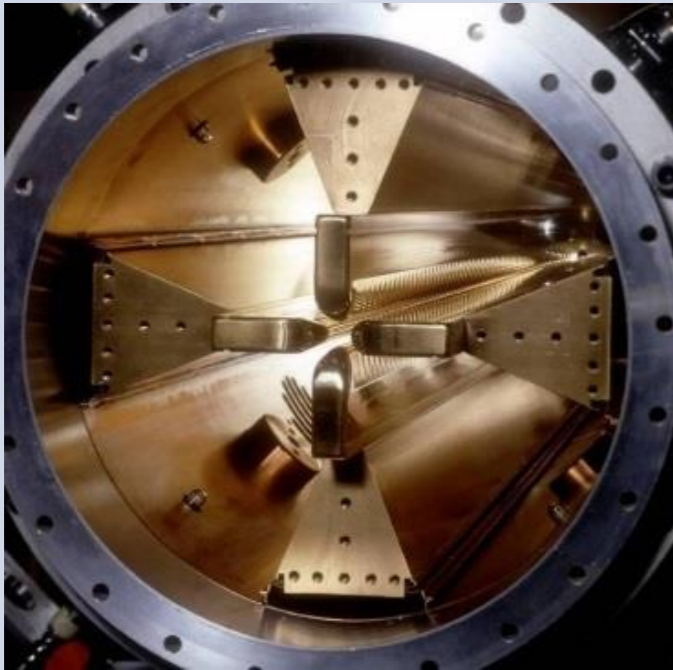
## **HF RFQ**

750 MHz

2.5 MeV/m

Ağırlık : 100 kg/m

Dıř ap: 13 cm



★Yüksek frekans: daha küçük & daha hafif & birim uzunlukta daha yüksek hızlandırma

Sırada ? : KAHVELab'da 800 MHz'te alışan RFQ :)

# RFQ karşılaştırma 1

TABLE I. Design parameters of the PIXE RFQ.

			<i>parmteq</i>	
			<b>PTAK</b>	
Input energy	$W_{in}$	20 keV	20 keV	
Output energy	$W_{out}$	2 MeV	2 MeV	
rf frequency	$f_0$	749.48 MHz	800.00 MHz	
Vane voltage	$V_0$	35 kV	33 kV	
RFQ length		1072.938 mm	980.2 mm	
Vane tip radius	$e_0$	1.439 mm	1.392 mm	
Average aperture	$r_0$	1.439 mm	1.392 mm	
Minimum aperture	$a$	0.706 mm	0.642 mm	
Peak current		200 nA	1000 nA ?	
Maximum duty cycle	$d$	2.5%	2% ?	
Repetition rate		200 Hz	200 Hz ?	
Pulse duration		125 $\mu$ s	100 $\mu$ s ?	
Output beam diameter		0.5 mm	1.34 mm (parmteq)	
Transmission	$T_{acc}$	30%	%30	$T_{out}: 60\%$ $T_{wall}: 10\%$
rf wall plug power		$\leq 6$ kVA	<3.4 kVA ?	RF PSU efficiency $\sim 30\%$ (50kW/0.30)*0.02= 3.3kVA

TABLE II. Computed rf quantities for  $V_0 = 35$  kV.

			<b>PTAK @33kV</b>	
Quality factor	$Q_0$	5995	7036	demirci: 7190
Capacitance	$C'$	125.1 pF/m	91pF/m	demirci: 122pF/m
Stored energy	$W$	82.2 mJ	67.8mJ	demirci: 71.7mJ
rf power loss	$P_0$	64.5 kW	48.5 kW	demirci: 50.6kW
Maximum surface field	$E_s$	39.1 MV/m	35.9755 MV/m	
			$\sim$	1.38367 KP

# RFQ karşılaştırma 2

Table 2

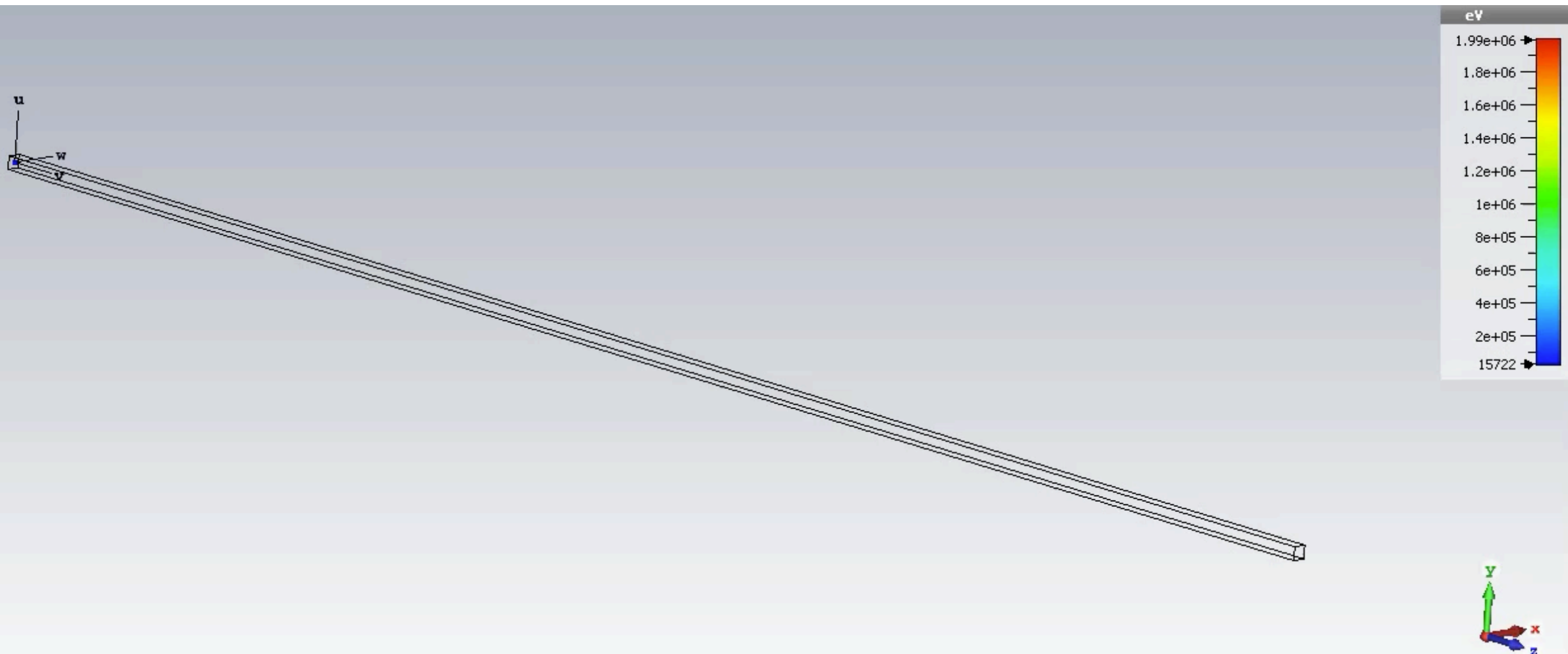
HF-RFQ and PIXE-RFQ Main Parameters.

	HF 5 MeV	PIXE 2 MeV	PTAK 2MeV
RF Frequency (MHz)	750	750	800
Length (mm)	1964	1073	980
Number of modules	4	2	2
Input Energy (keV)	40	20	20
Output Energy (MeV)	5	2	2 (1.98)
Average Current (nA)	1500	5	20
Peak Current ( $\mu$ A)	30	0.2	1
Repetition Rate (Hz)	200	200	200 ?
Pulse Duration ( $\mu$ s)	250	125	100 ?
Duty Cycle (%) (Max.)	5	2.5	2 ?
Vane Voltage (kV)	68	35	33
Min Aperture (mm)	0.9	0.7	0.64216
Max Modulation	2.8	2.0	3.0 (3.0076)
Beam axis/tip dist. (av.)(Ro) (mm)	2.000	1.439	1.392
Vane tip radius (Rho) (mm)	1.504	1.439	1.392
Min. modulation rad. (Rhol) (mm)	1.963	1.709	1.48451
Transmission (%)	30	30	30
Output Beam Size (mm) (Total)	$\pm 0.5$	$\pm 0.25$	$\pm 0.5$ mm (parmt eq)
Accep.( $\pi$ mrad mm) (Total norm.)	0.3	0.2	0.1549 (parmt eq)
Energy Spread (keV) (FWHM)	17	8	10 (toutatis & parmt eq)
RF Peak Power (kW)	400	80	48.5 (2D calculation)
RF Efficiency (%)	35	35	30 (assumed)
Coupler number (#)	4	1	1
Plug Power (Total) (kVA)	57.1	5.7	3.4

# Demet Dinamiği

- $\Delta T_{\text{rfq}} = (123.1\text{ns demirci}, 123.8\text{ns Toutatis}) \approx 125\text{ns}$
- pulse duration: 100us, maxRepetition rate = 200Hz
- Total norm Emit. (pi.mm.mrad) = 0.1549 (from parmteq)
- 30% of initial beam is accelerated to 2MeV, 60% exits w/o acceleration, ~10% hits the RFQ wall.

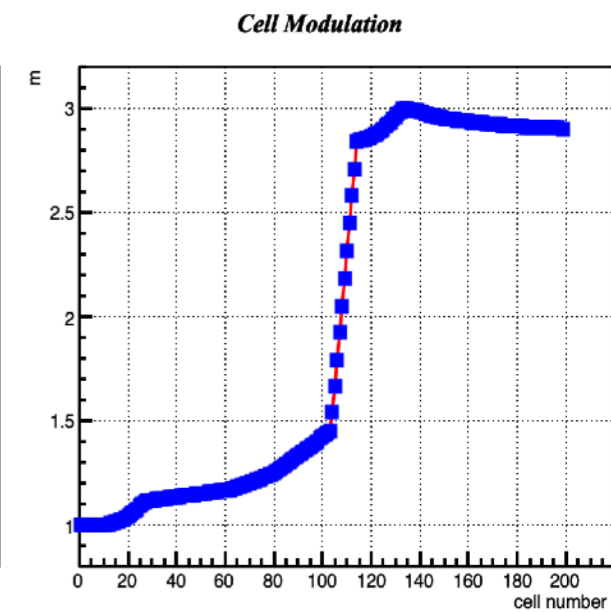
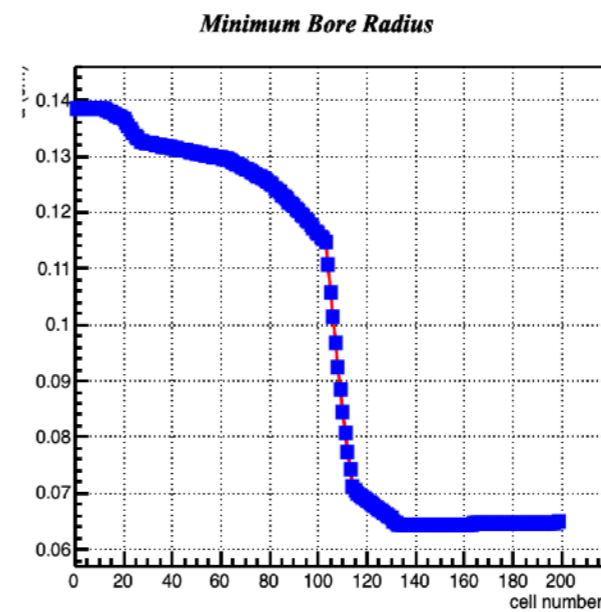
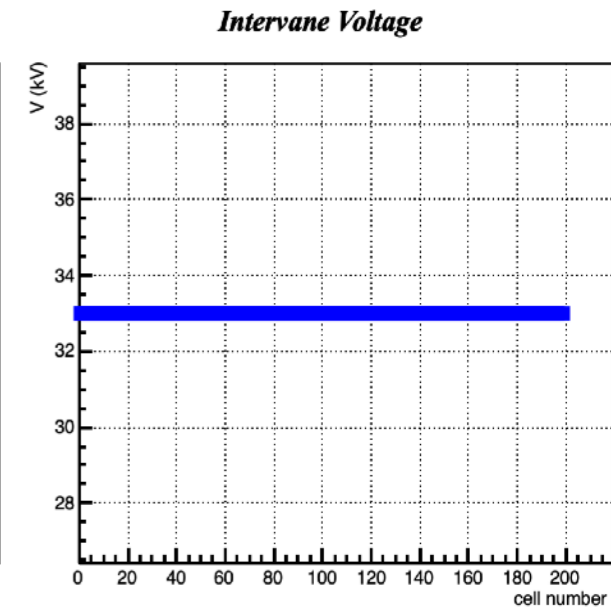
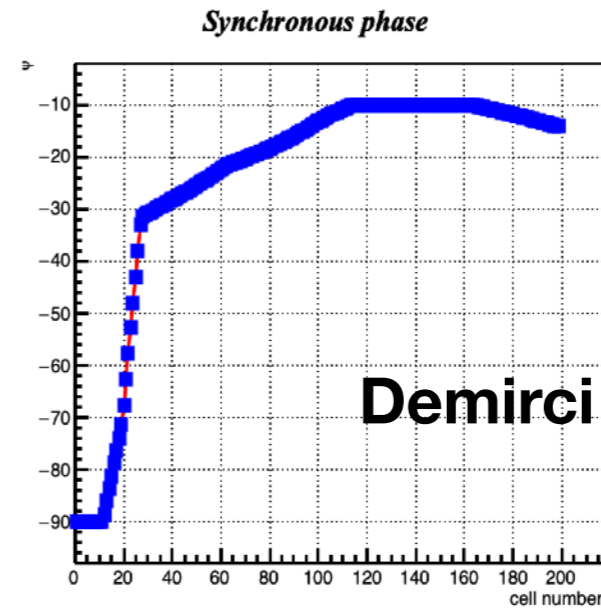
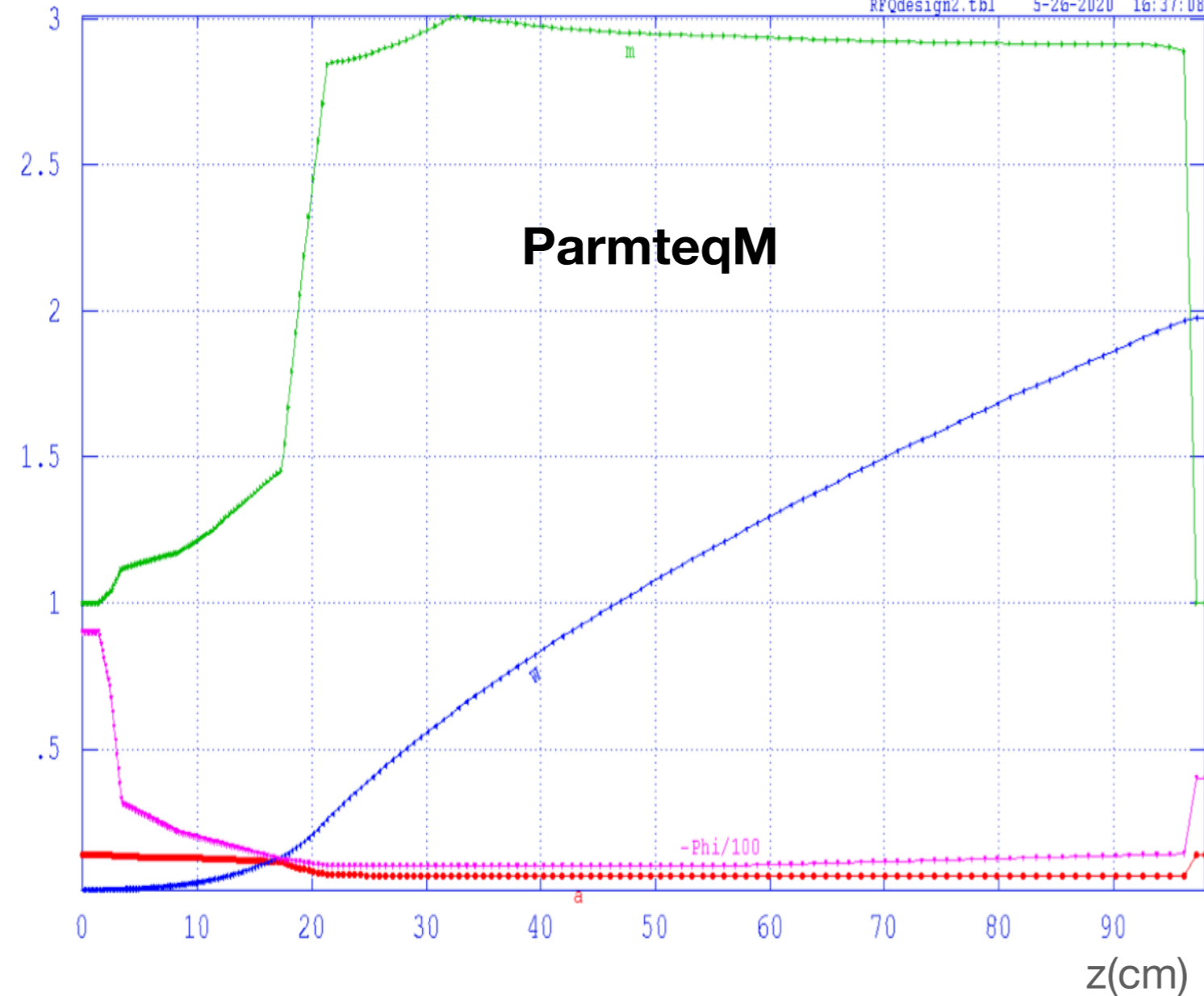
**comparisons made with: parmteq, CST, Toutatis, Demirci**



# 2 Boyutlu tasarım

800MHz,  $q=1$ ,  $W_s=0.03$ ,  $W_g=0.343$ ,  $A=0.75709791$ ,  $amu=1.00727646688$ ,  $i=0.001\text{mA}$

RFQdesign2.tbl 5-26-2020 16:37:08



- 2D design with parmteq

- design procedure: automatic RFQ generation, define a  $\chi^2$  and minimize it

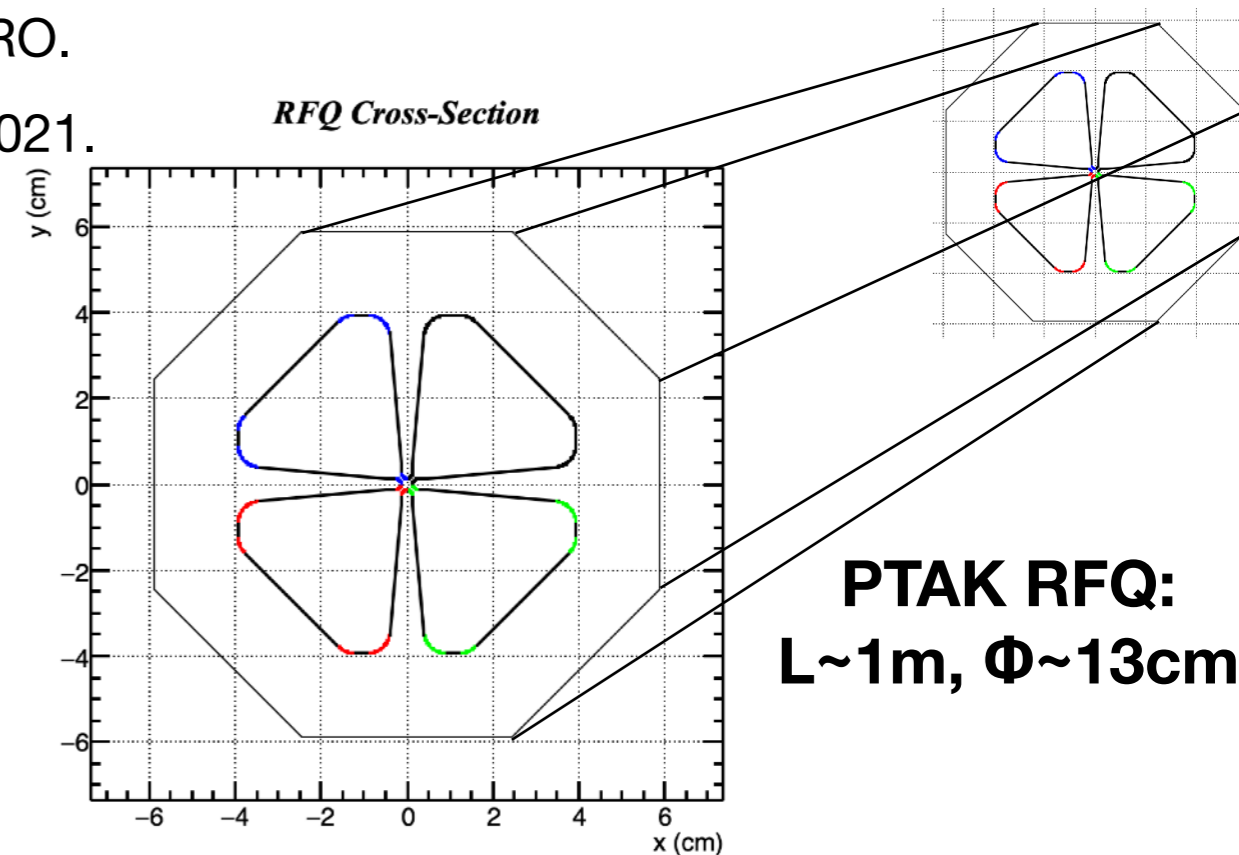
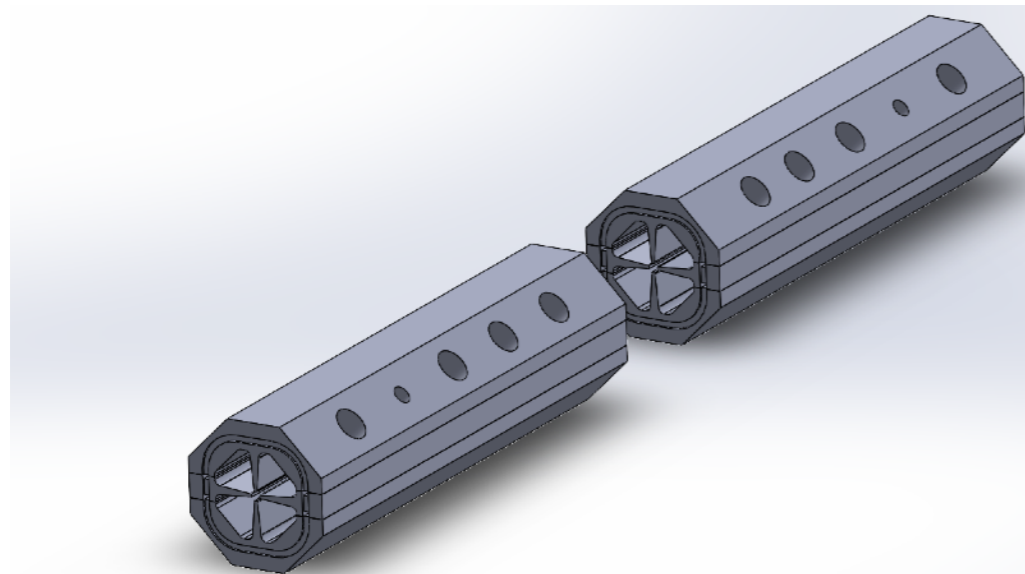
- goal: **min** length, **min** #p hitting the RFQ wall, **min** Tacc ( $>\sim 30\%$ ), **min** RF power

- max m: 3, min a: 0.64 (mm)  $\rightarrow$  a challenge to produce!  $\Rightarrow$  same CNC machine as CERN in Ankara

# Proton Test Beam At Kandilli (PTAK) - RFQ

- We aim to design and produce a proton accelerator that will run at 800 MHz to surpass the world record of 750 MHz set by CERN.
- the accelerator cavity is intended to be ~1m long, giving ~2MeV
  - 2 modules using OFE CU
- The software used in the RFQ design: ParmteqM, TOUTATIS, and DEMIRCI [see presentation by O. Cakir]
- The necessary RF transmission line & waveguide circulator has been produced and tested at our lab. [see presentation by O. Kocer at TFD-35]
- 2D and 3D designs made in ParmteqM & Superfish
- design cross checked in CST, Toutatis, Travel, DemirciPRO.
- Test production of 1 module to be finished before Jan. 2021.

Supported by TUBITAK  
Project ID 118E838



	$f_{res}$ (MHz)	$E_{in}$ (MeV)	$E_{out}$ (MeV)	$L_v$ (cm)	$T_{total/acc}$ (%)	$P_{RF}$ (kW)	$V_v$ (kV)	$S_f$ (Kp)	max d.f.	$Q$	vanetip r(mm)	bore radius r0(mm)
<b>PTAK</b>	800	0.02	2.0	98	90/30	48.6	33	1.38	%2	7036	1.392	1.392