



KAHVE Laboratuvarı Çalışmaları ve Planları

Emre Çelebi, KAHVELab adına

3-4 Aralık, 2022; Parçacık Hızlandırıcıları ve Algıçları Yerel
Altyapı ve Ar-Ge Çalıştayı

KAHVE LABORATUVARI



TOBB ETÜ
Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi



- **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

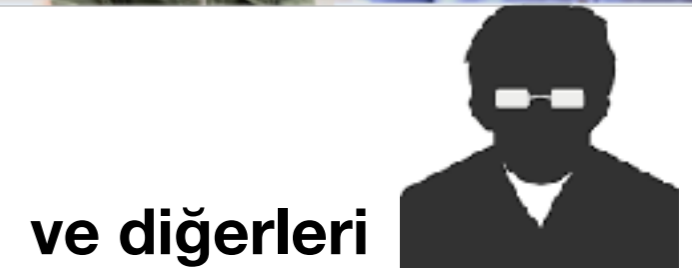
✱ Enstrümantasyon

- 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

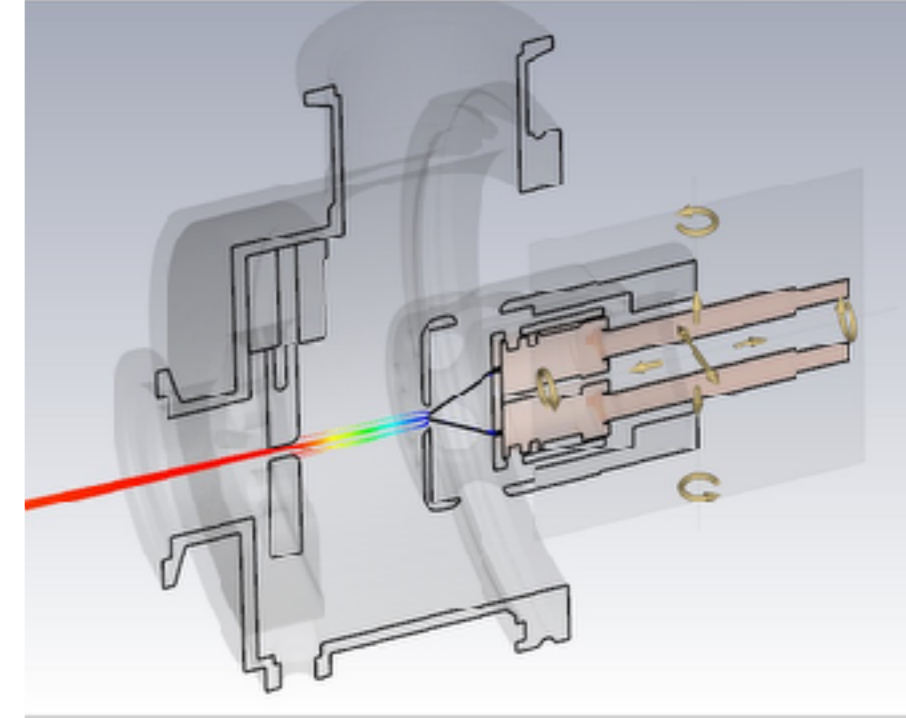


Hızlandırıcı : Elektron

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

50 keV E-Tabanca

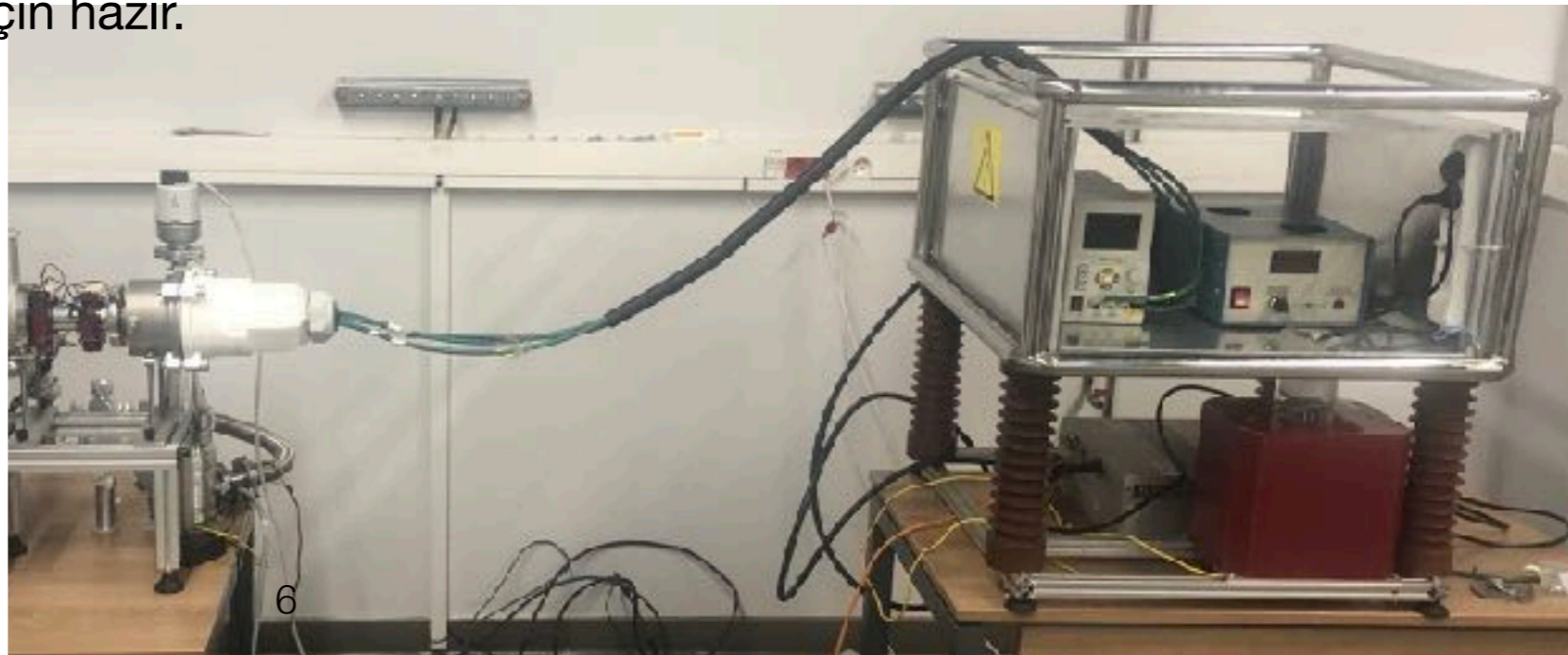
- Yerli tasarım & üretim
 - Sıçrama tahtası
- Bir çok fikir test edildi
 - W, W(Th), LaB6, Disp katod
 - Al₂O₃, PEEK, Teflon yalıtkanlar
 - HV güverte yazılımı, koruma
 - Uzaktan kontrol & görüntüleme BT & WiFi
 - Mıknatıs üretimi: yönlendirici & odaklayıcı
 - Otomatik demet kontrolü: PID kontrol
 - PLC, Labview
 - ...
- ✓ Kararlı çalıştırma
 - Birçok topraklama çalışması
 - Diğer projeler için hazır.



CST benzetimi



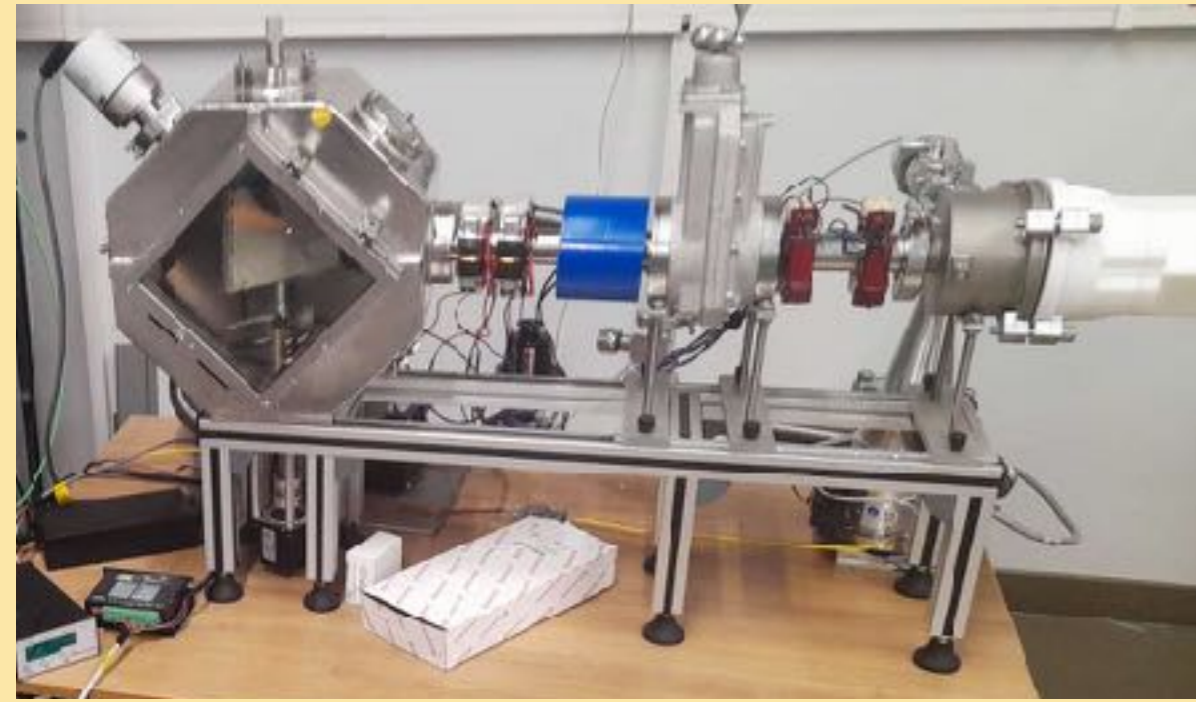
Güç Kaynağı & Vakum Rack



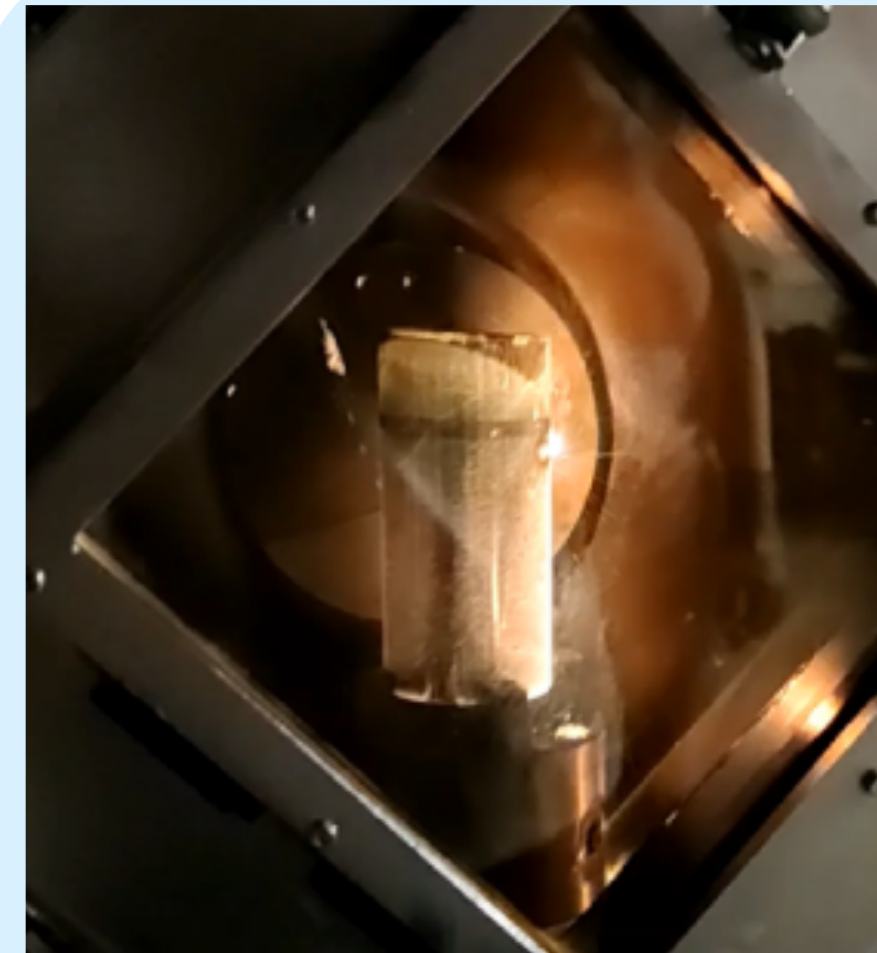
e-Tabanca uygulamaları

EDKaynak

EDSertleştirme



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



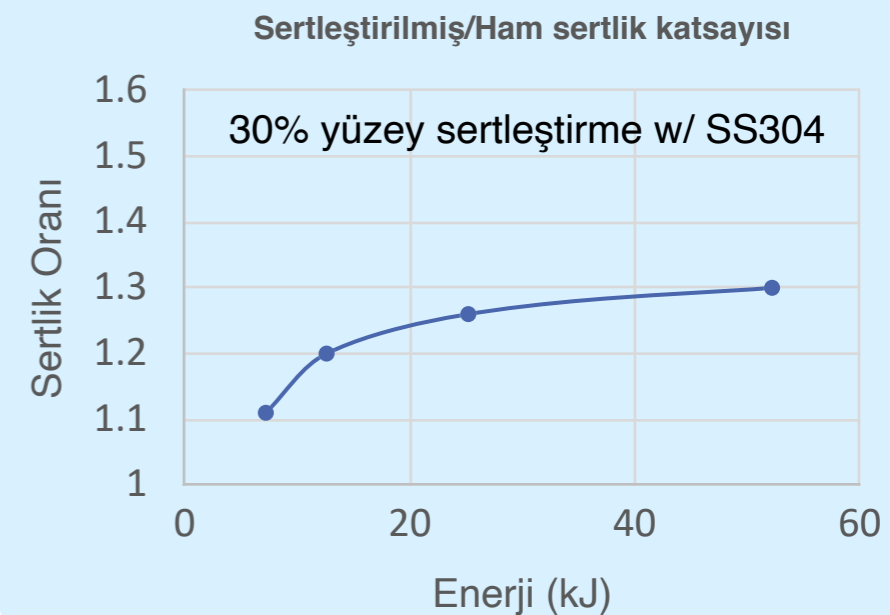
LASER

TIG

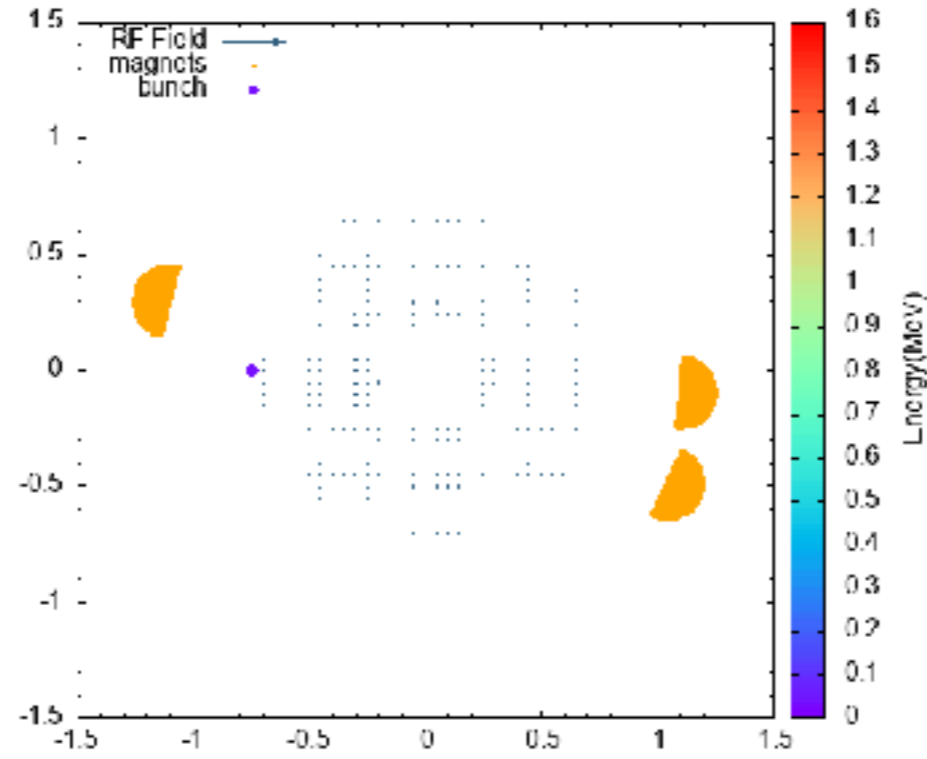
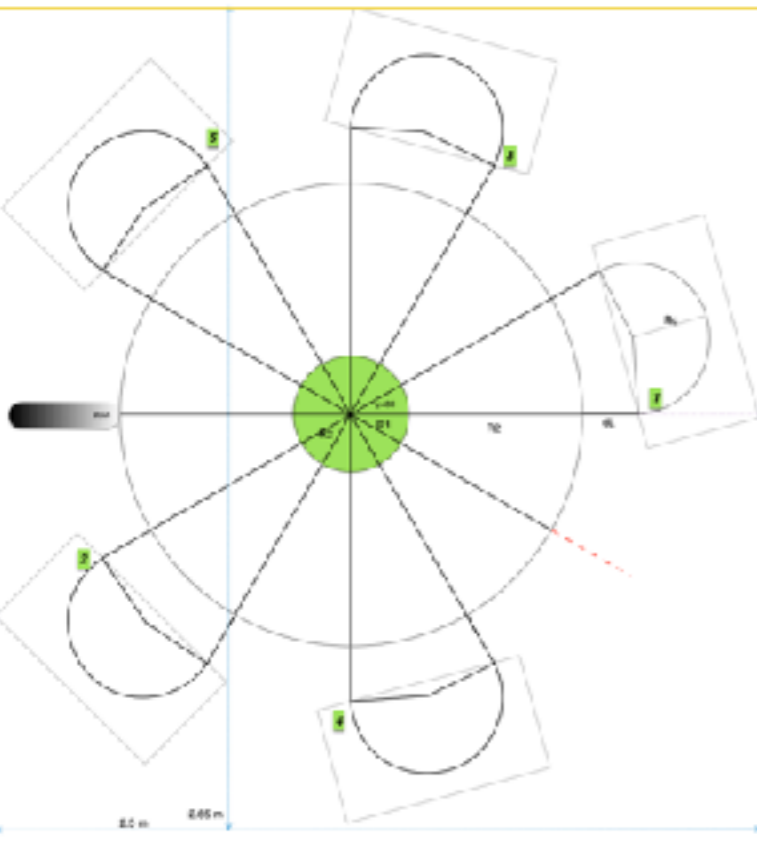
Elektron



Radiographic Inspection



1 MeV Rhodotron

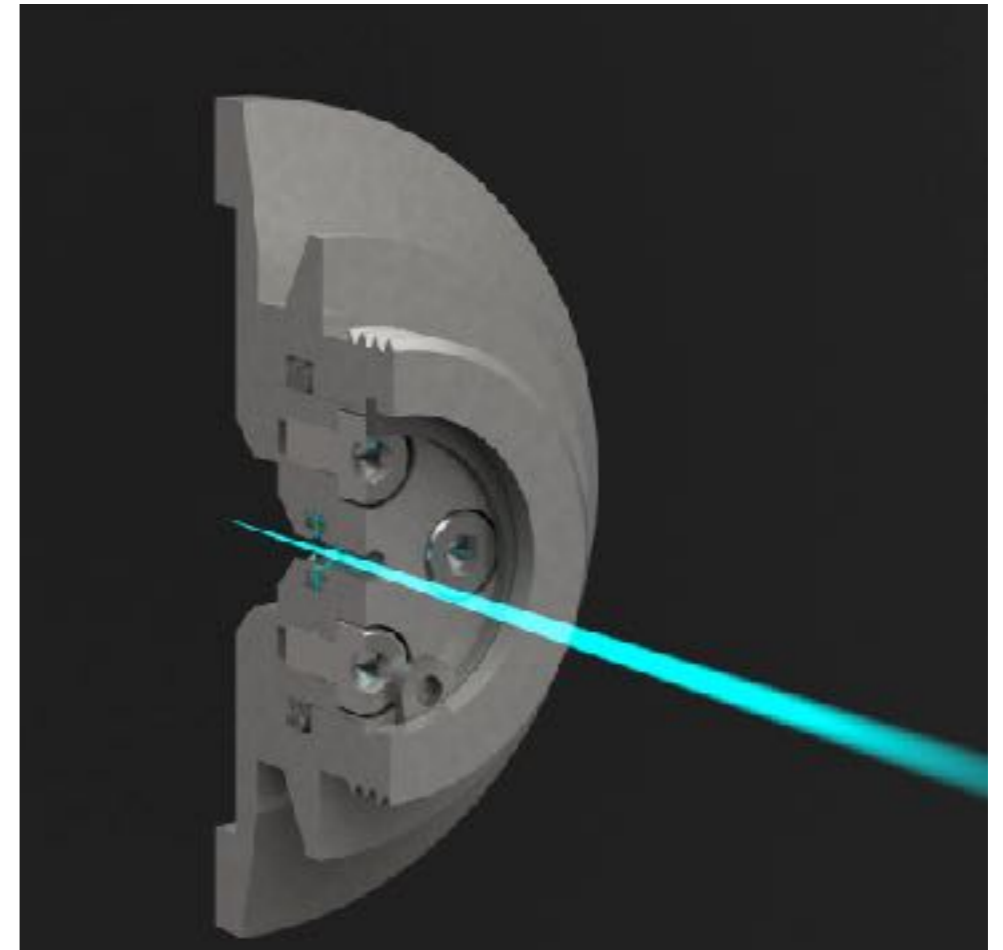


- Rhodotron e-Tabanca ile besleniyor
 - RF fazı ile senkronize elektronlar
 - Çok geçişli makine
- 1MeV makine tasarımı tamamlandı
 - Bu iş için benzetim yazılımı projesi (TÜBİTAK 1001) kabul edildi, çalışmalar devam ...
- Üretim devam ediyor
 - Bazı üretim zorlukları
 - Vakum testlerinin bu yıl tamamlanması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

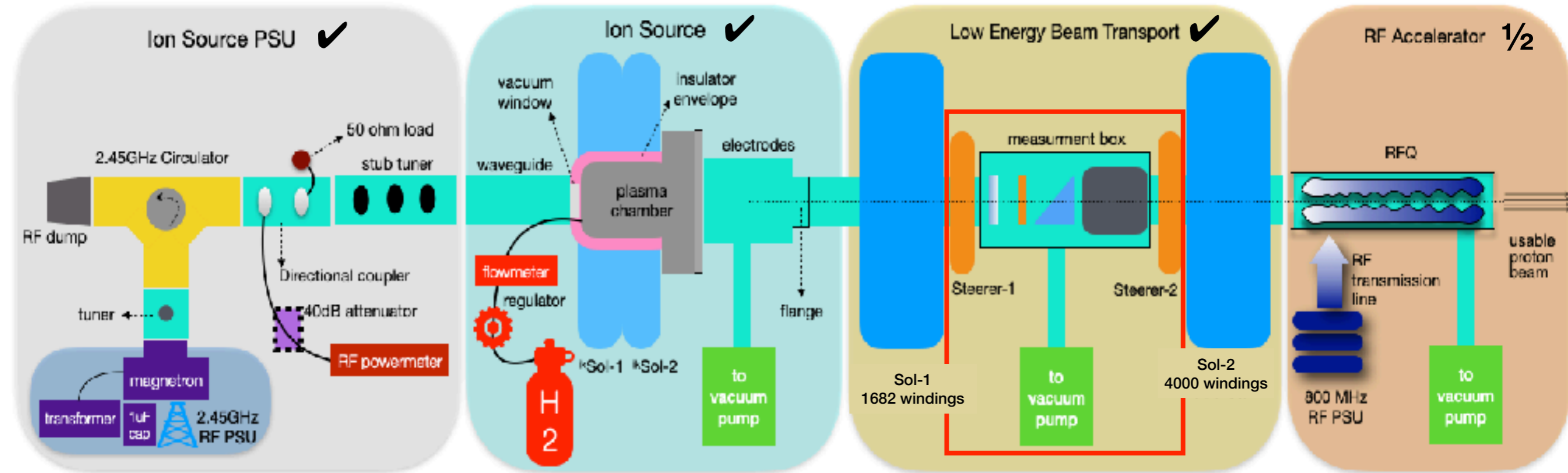
Ölçüm Kutusu

RFQ

PROTON TESTBEAM at KANDİLLİ (PTAK)

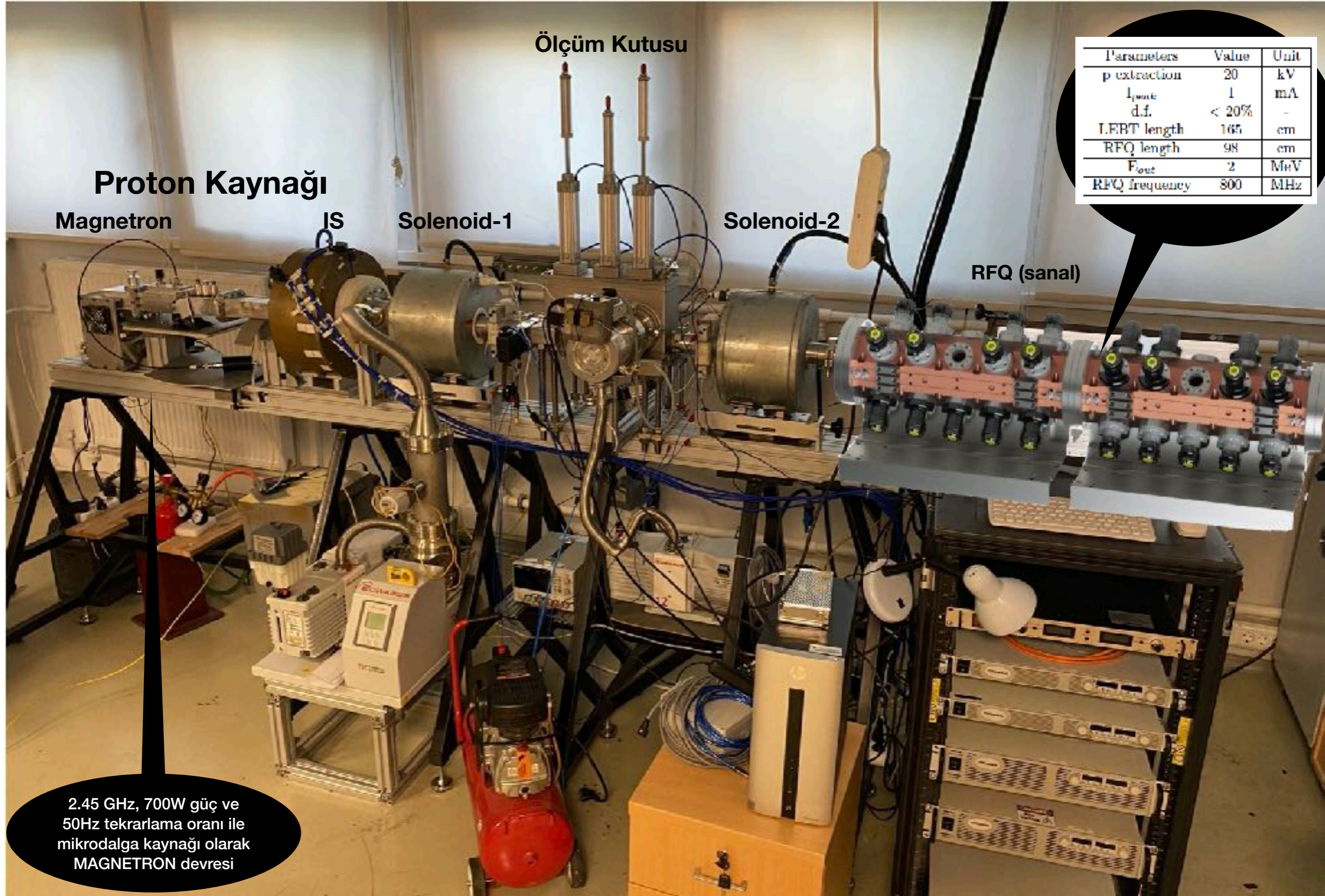
- ✱ 800 MHz frekanslı bir RFQ, 1 mA, 20 keV enerjili protonları 2 MeV'ye hızlandıracak.

2MeV Linac



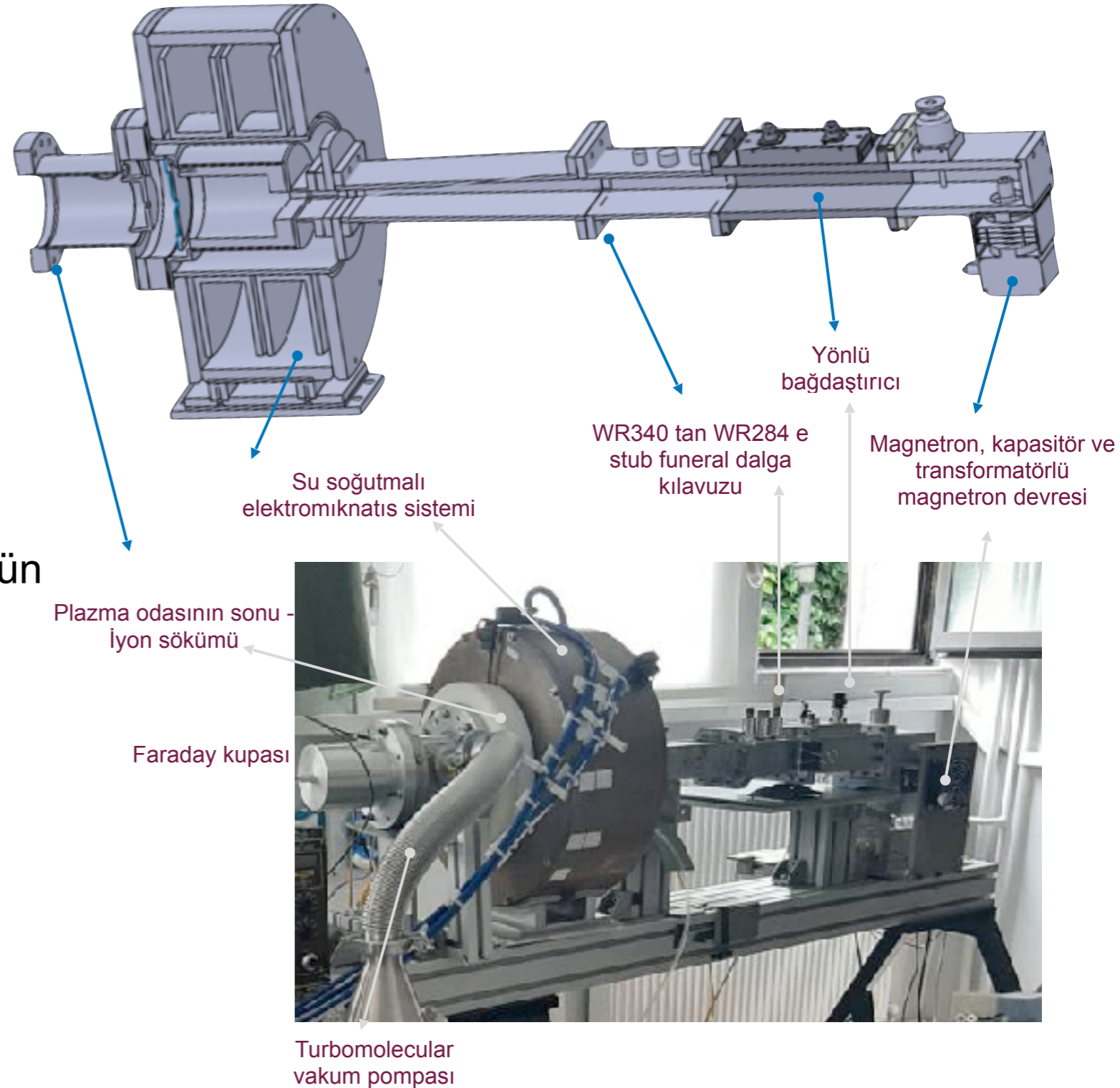
- Proje Hedefleri:
 - Gelecek hızlandırıcı fizikçilerini ve mühendislerini yetiştirmek
 - Çalıştırma, kontrol etme bilgisini toplamak
- Bileşenler yerli olarak tasarlandı ve Türkiye'deki firmalarda üretildi.
- İkinci amaç PIXE gibi parçacık hızlandırıcı teknolojileri test düzeneklerini kurmak

Proton Testbeam At Kandilli (PTAK)



PTAK İyon Kaynağı 1 - EM MDIS

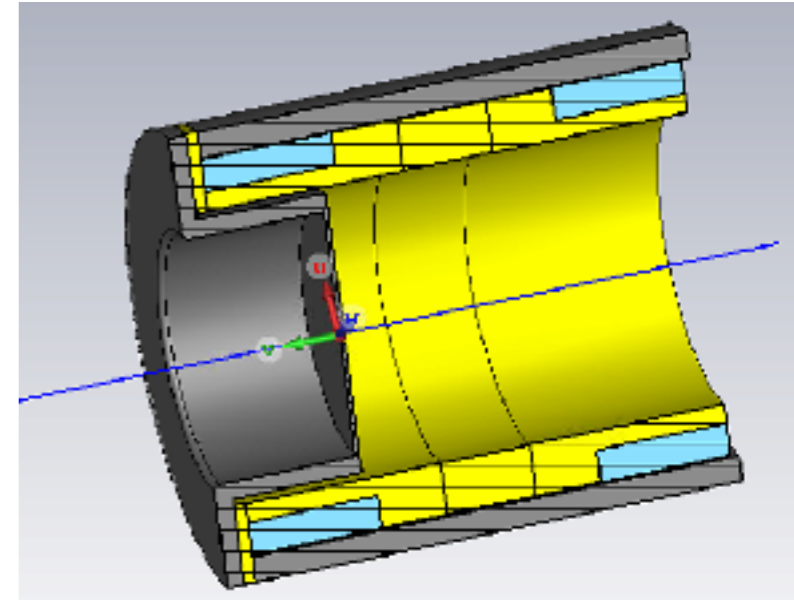
- IBsimu ile tasarlandı
- Yerli üretim
- 20 kV çıkış gerilimi
- Teflon & Delrin ile yüksek gerilim izolasyonu
- Vacuum $\sim 10^{-7}$ (demetsiz)
- Mikrodalga gücünü magnetron güç kontrolü ile kontrol etmek mümkün
- İletilen ve yansıyan gücü izlemek mümkün (aynı anda değil)
- IS sol: akım kaynağı + su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



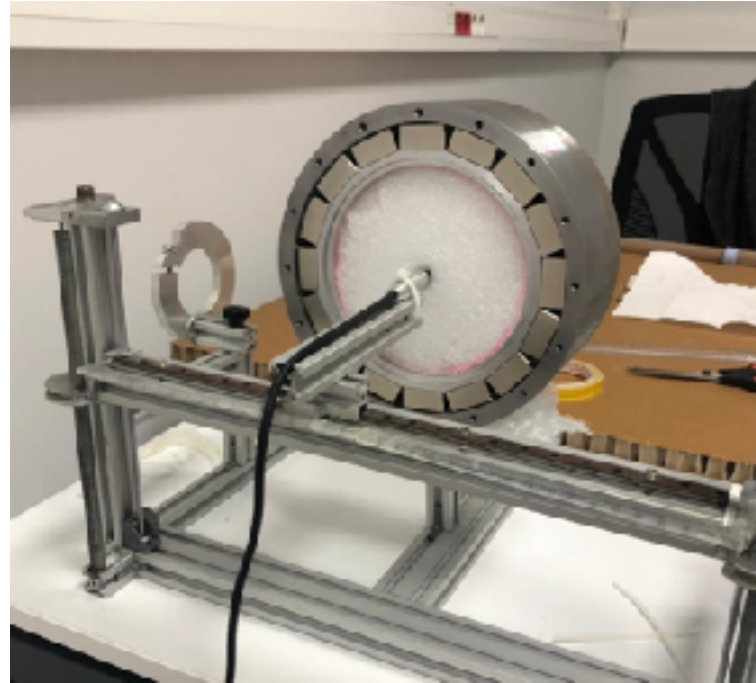
PTAK İyon Kaynağı 2 - PM MDIS

- 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

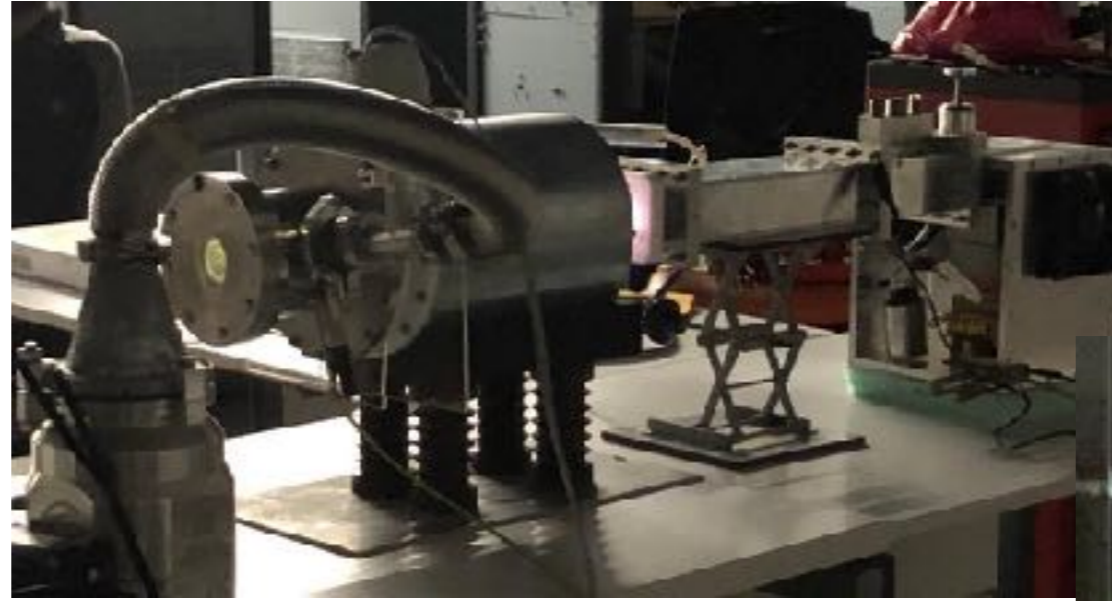
H₂ : 0.01 sccm
V_E : 20 kV
P : 4×10⁻⁵ mbar
I_{ave} : 0.4 ... 1.5 mA



Sökücü elektrot ve plazma odalı PM-MDIS tasarımı

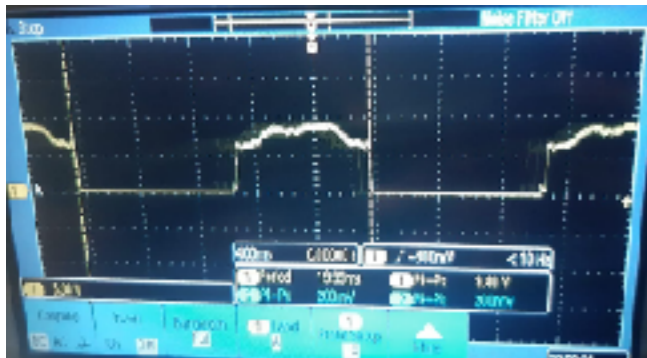


Deneme üretiminde manyetik alan ölçüm düzeneği



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

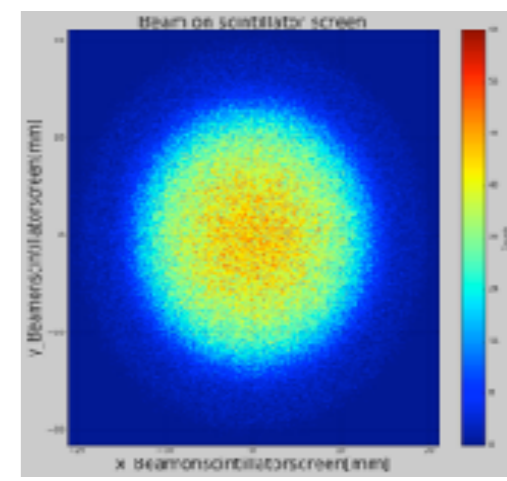
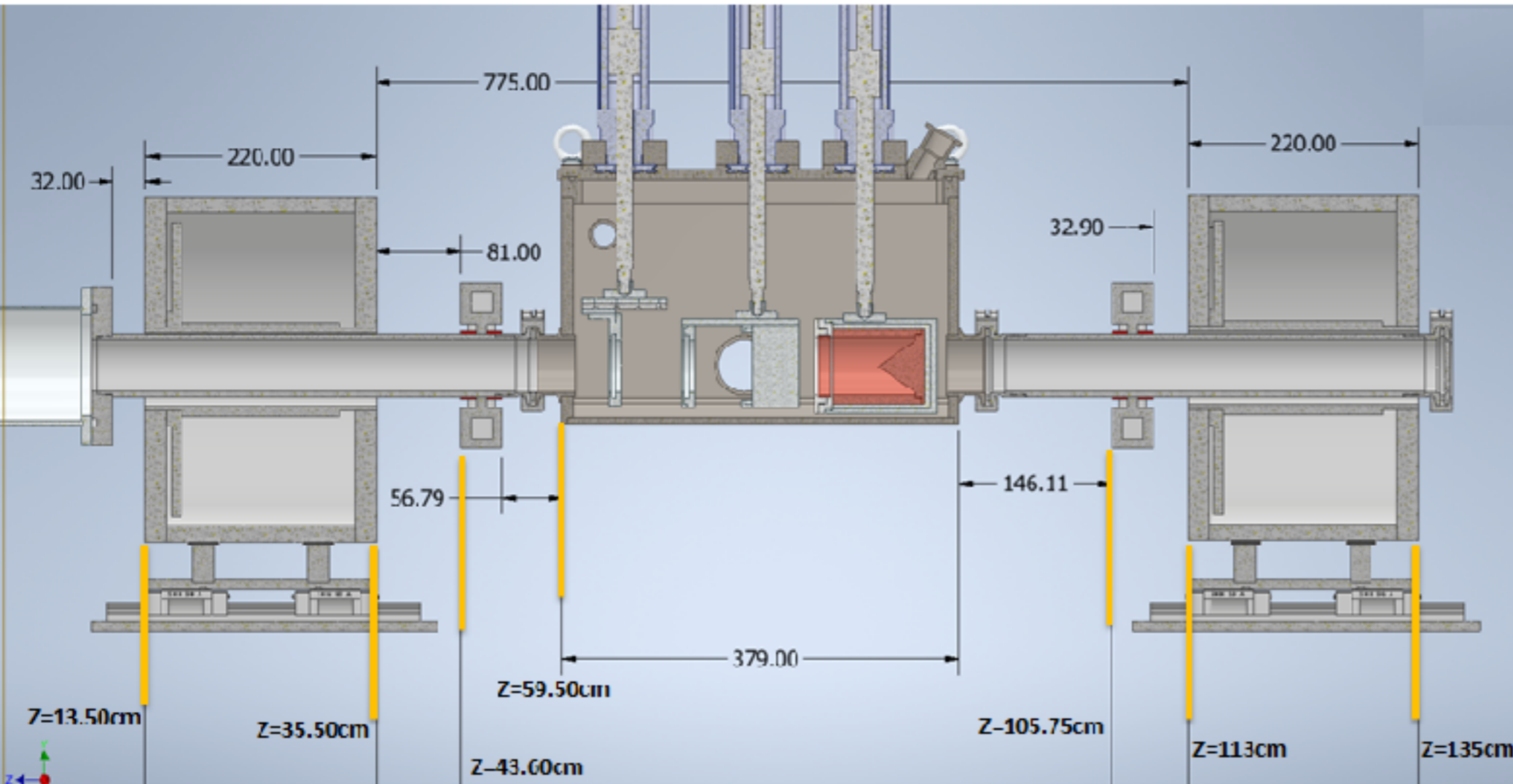
PM-MDIS sisteminin sonunda floresan ekrandan alınan demet görüntüsü



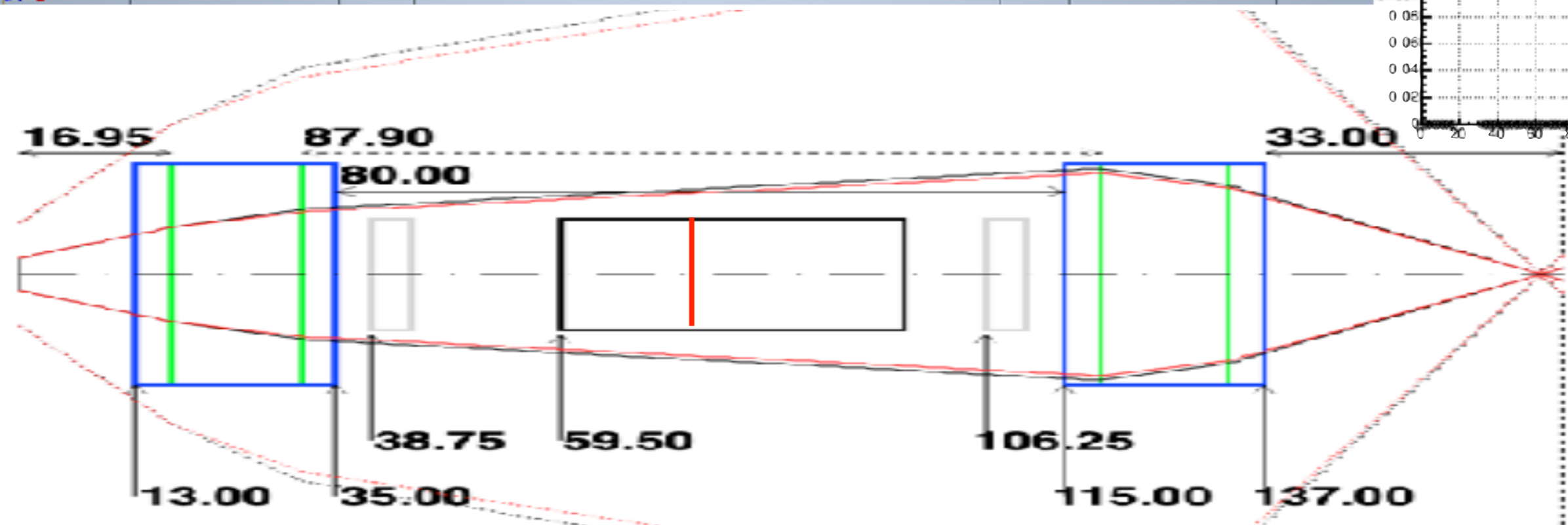
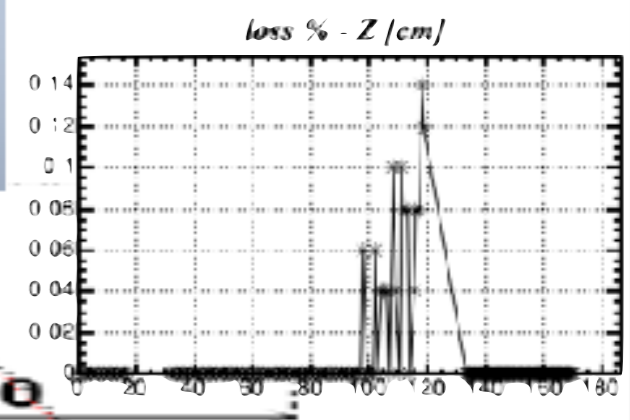
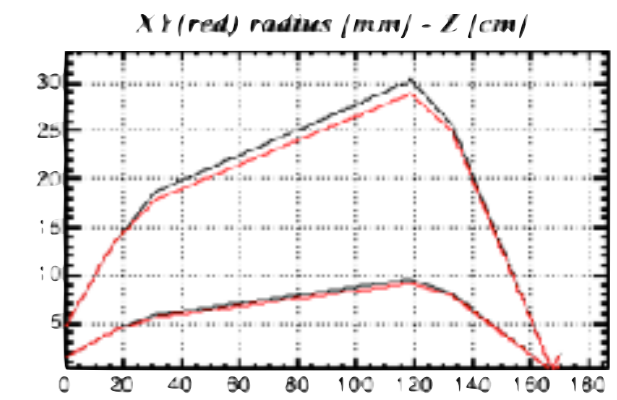
Faraday kupası ile osiloskoptan 0.38mA akım okundu. Yüksek gerilim kaynağı ile arasındaki fark %8



PTAK -Düşük Enerjili Demet Aktarımı



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

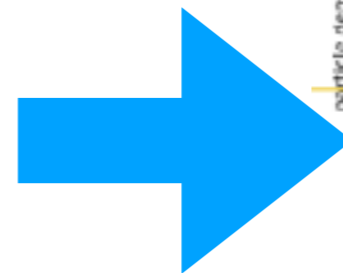
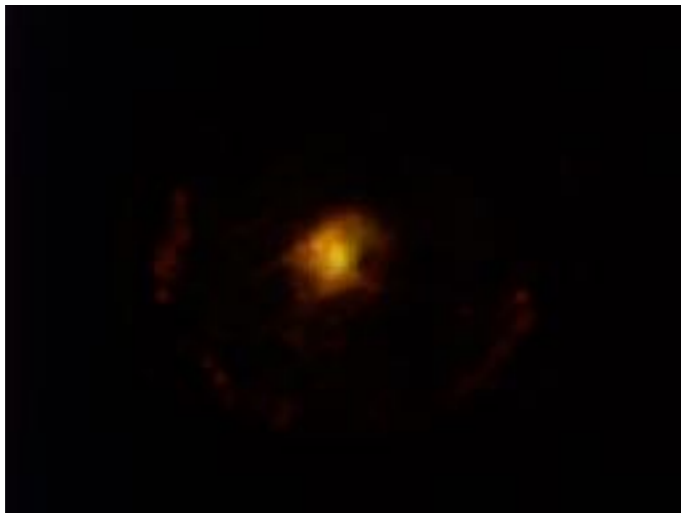


PTAK - LEBT - MBOX

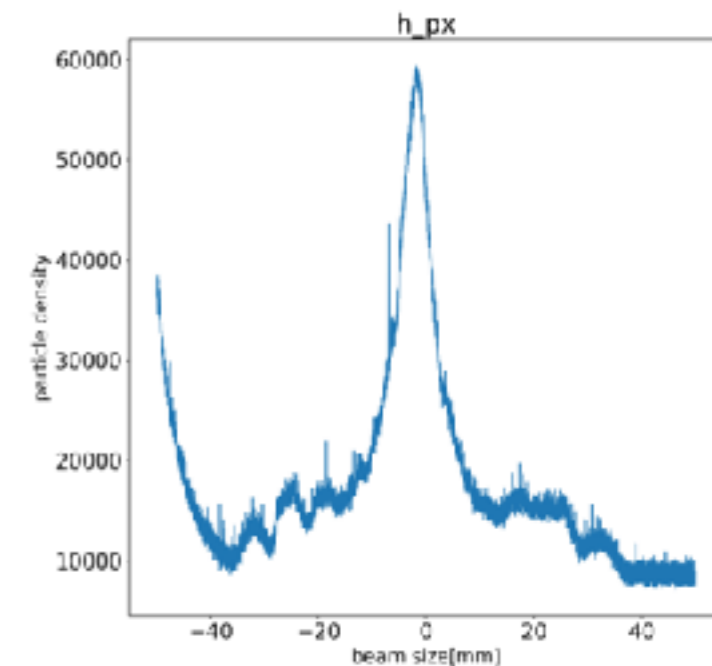
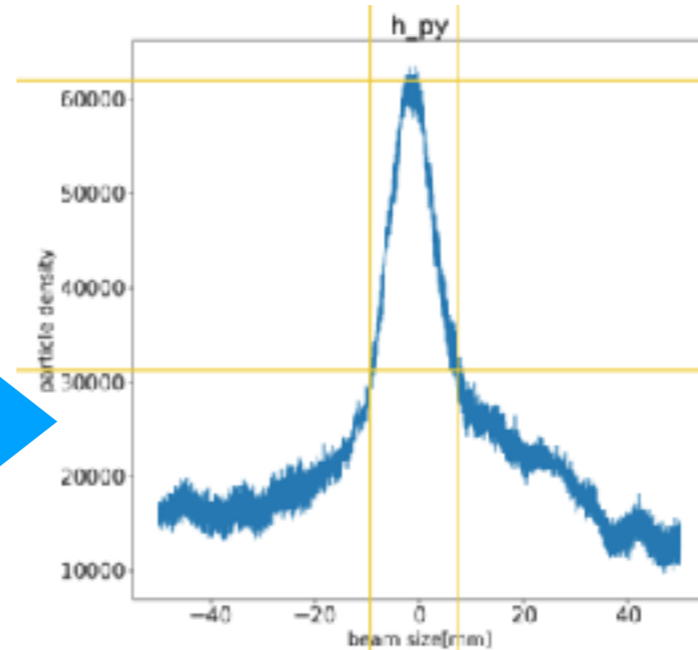


Demet Tanılama:
1 & 2 : emittance
2 : profile
3 : current

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

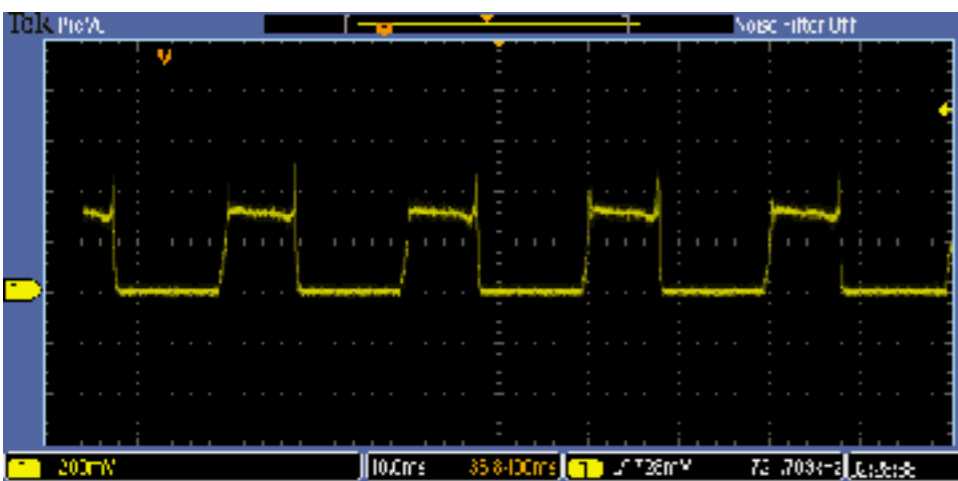
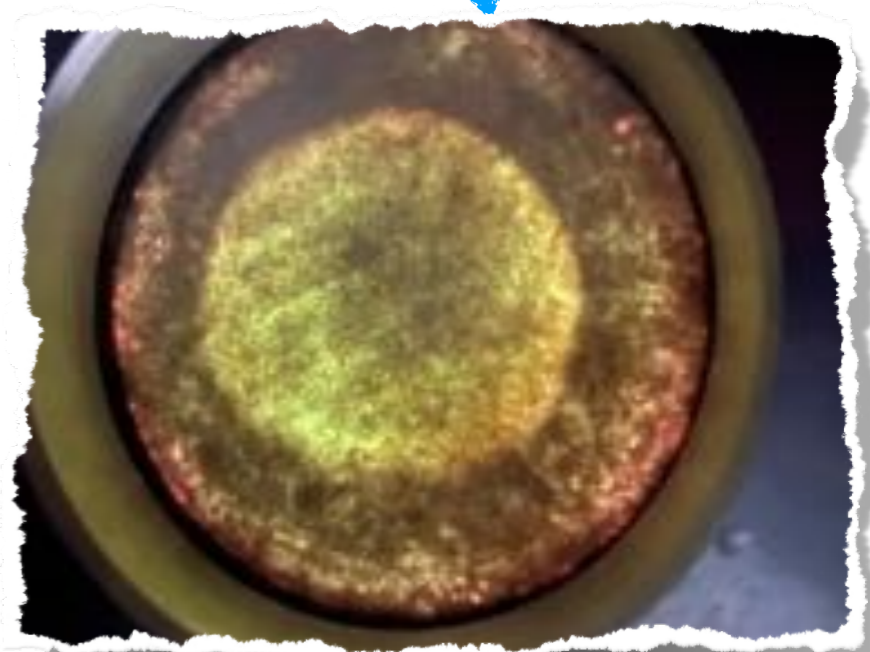
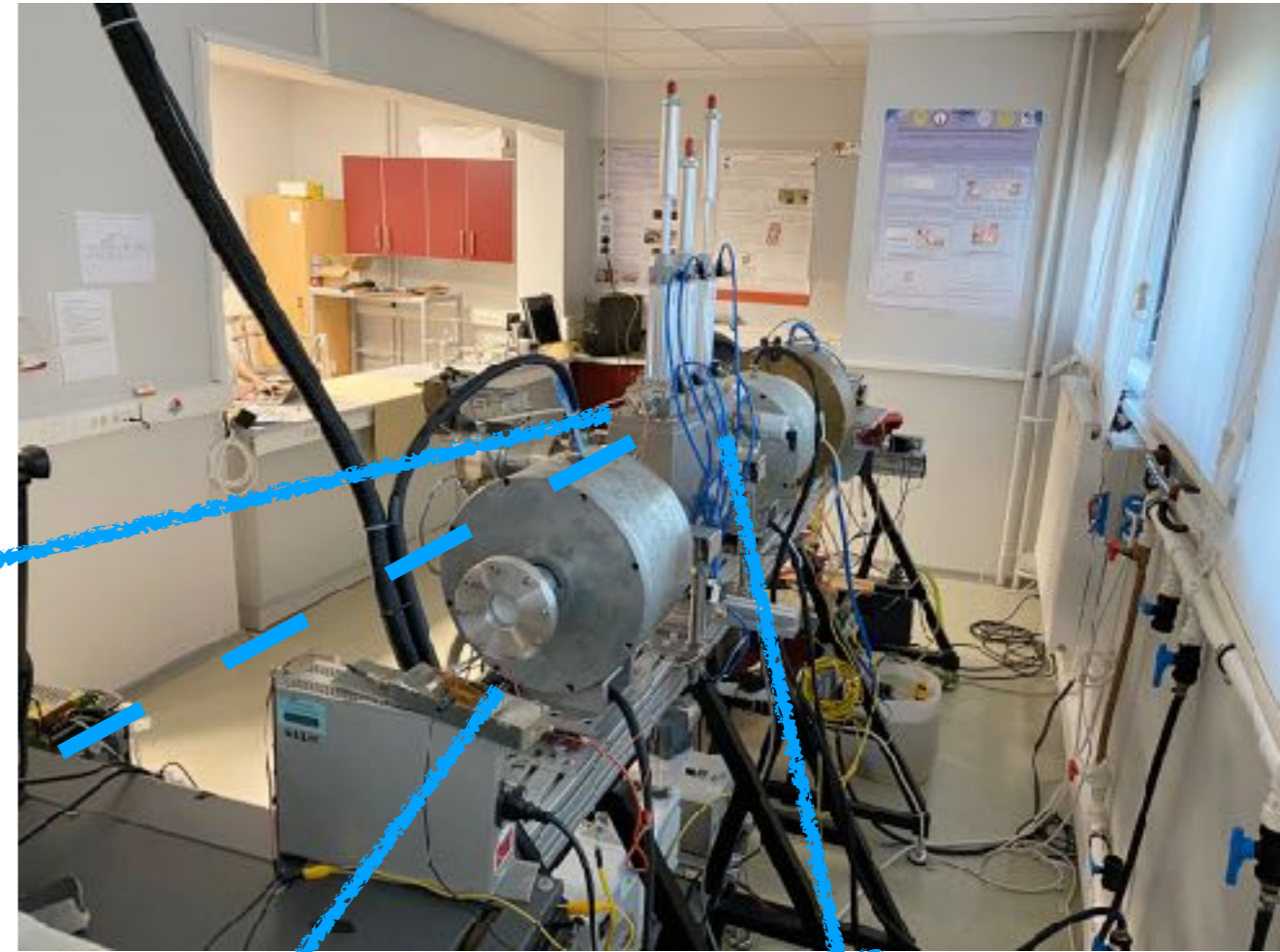


demet çapı (FWHM) : ~16 mm in x & y



PTAK - LEBT - Sonuçları

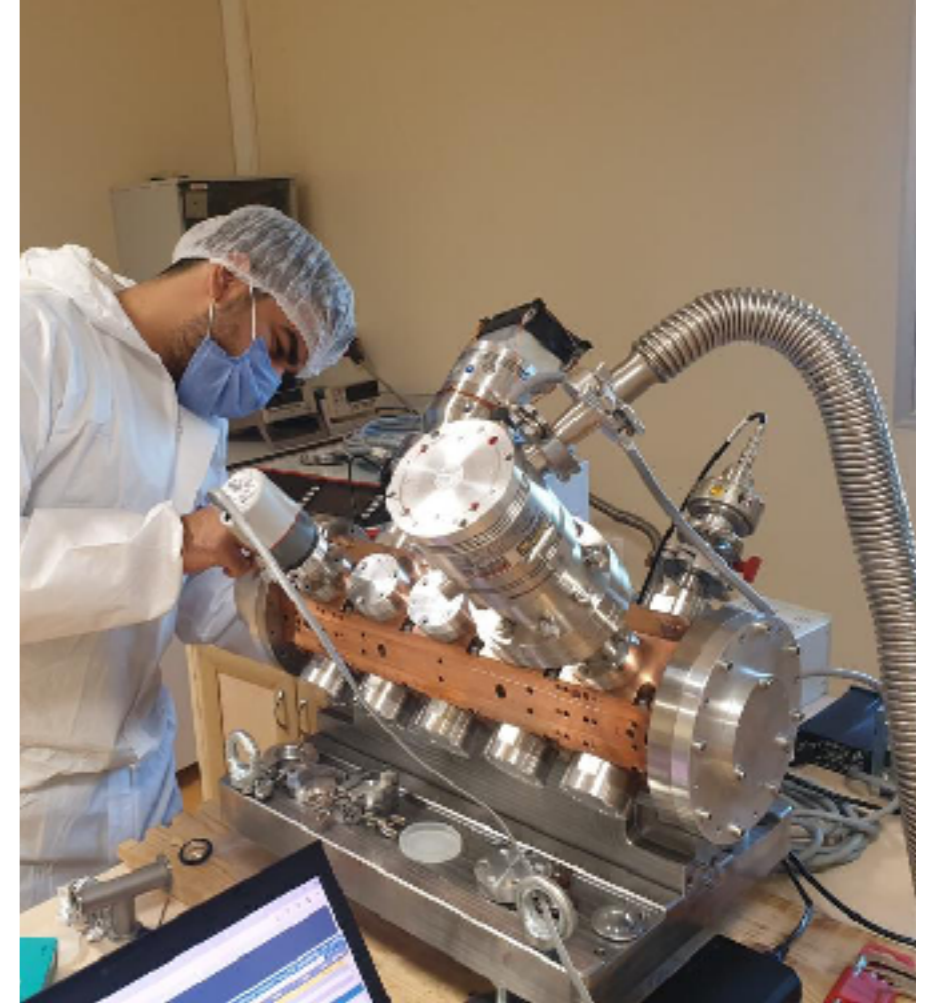
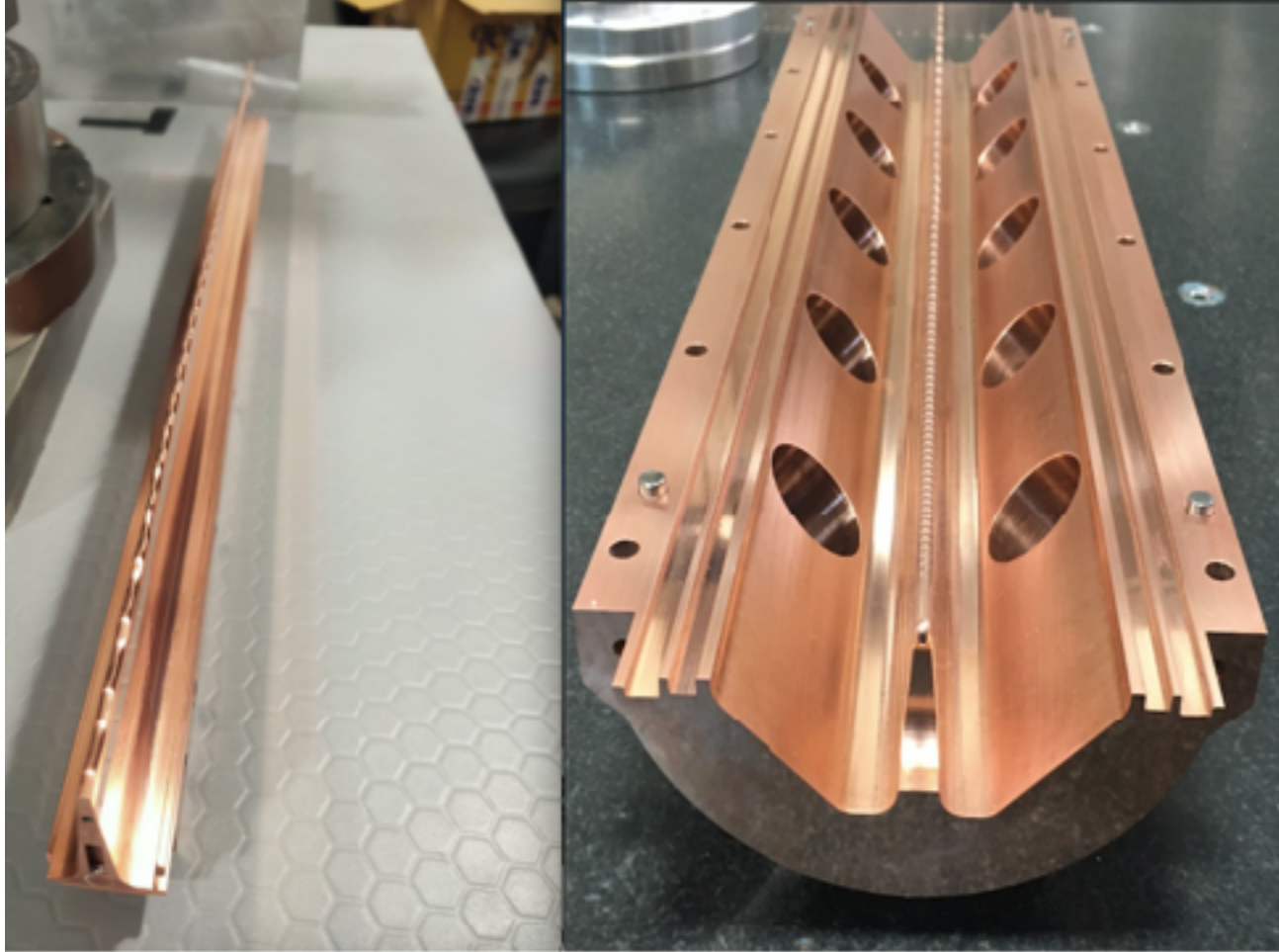
	Sim.	Measure
ϵ -norm [π mm.mrad]	0.031	0.029
α	-4.5	-18.9
β [mm/ π .mrad]	1.33	2.13
beam size(mbox) [mm]	14.8	15
beam size after s2 [mm]	1.9	2



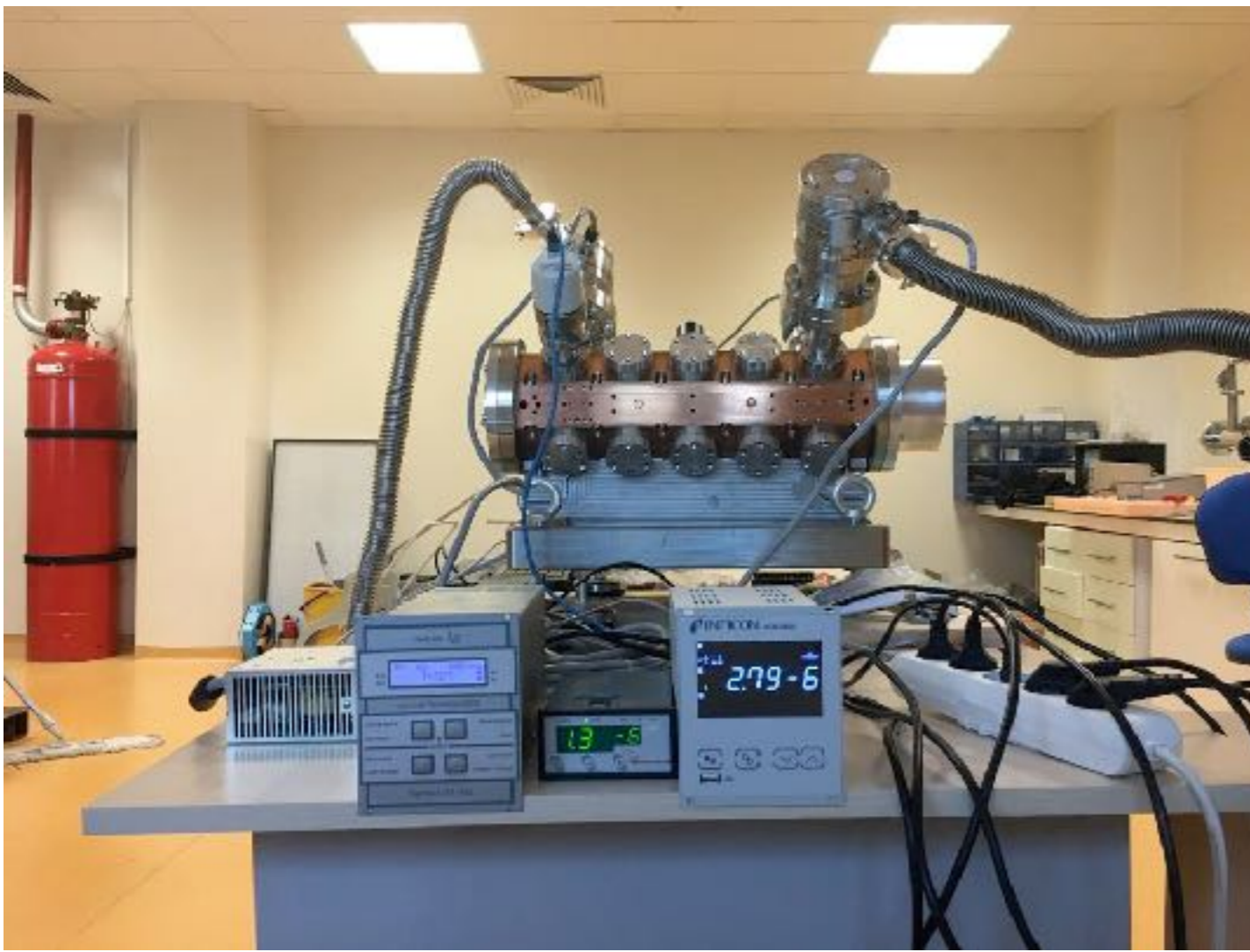
df = 0.4
rep. rate: 50 Hz
I = 0.03mA

PTAK RFQ

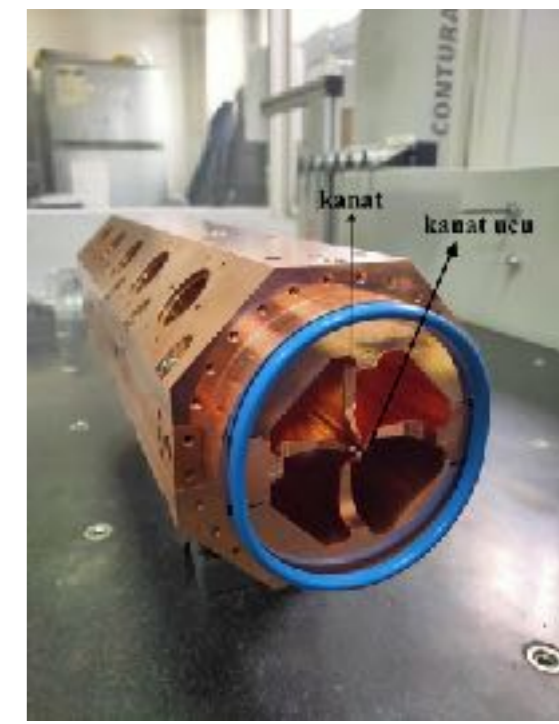
	f_{res} (MHz)	E_{in} (MeV)	E_{out} (MeV)	L_v (cm)	$T_{total/acc}$ (%)	P_{RF} (kW)	V_v (kV)	S_f (Kp)	max d.f.	Q	vanetip r(mm)	bore radius r0(mm)
PTAK	800	0.02	2	98	90/30	48.6	33	1.39	0.02	7036	1.392	1.392



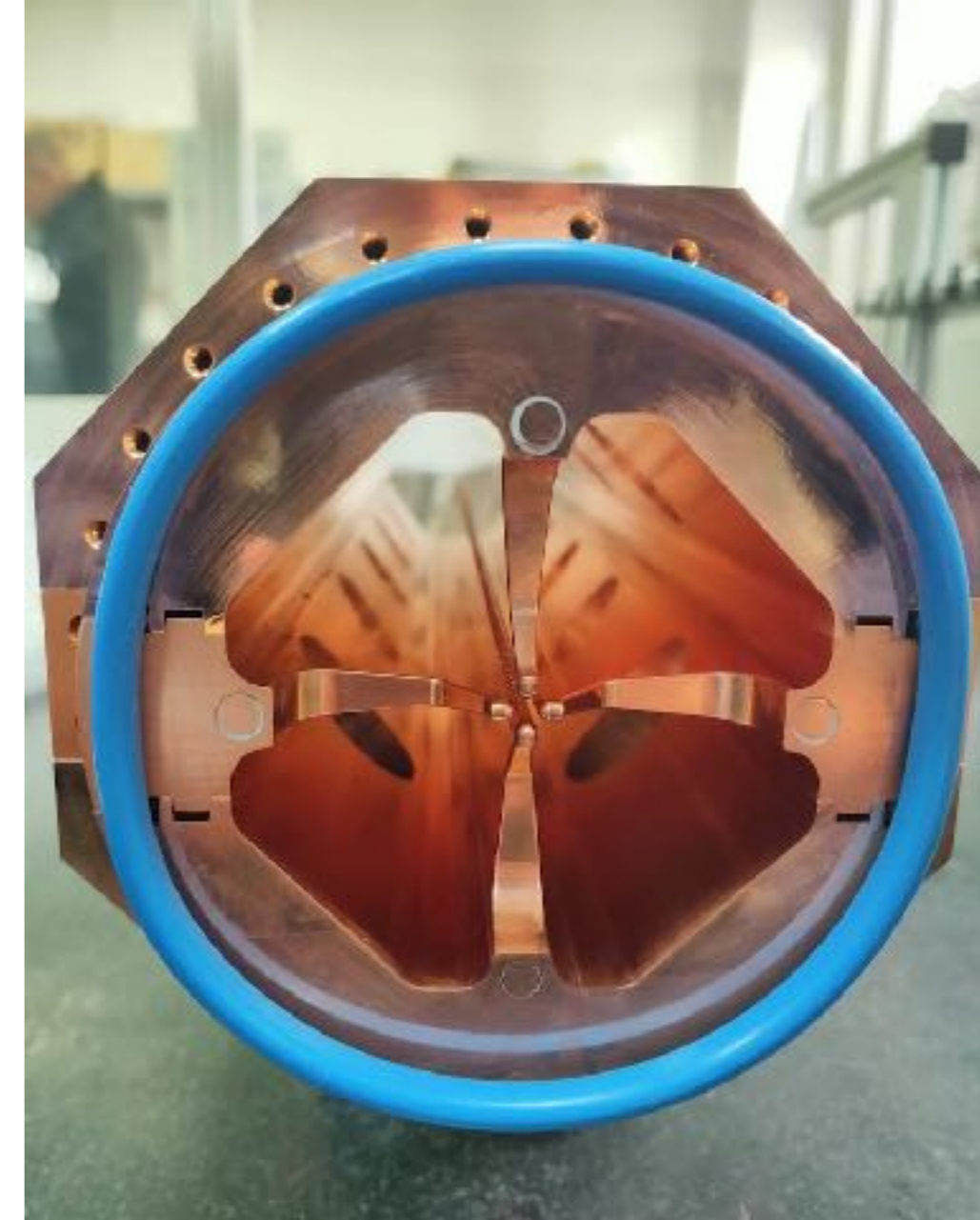
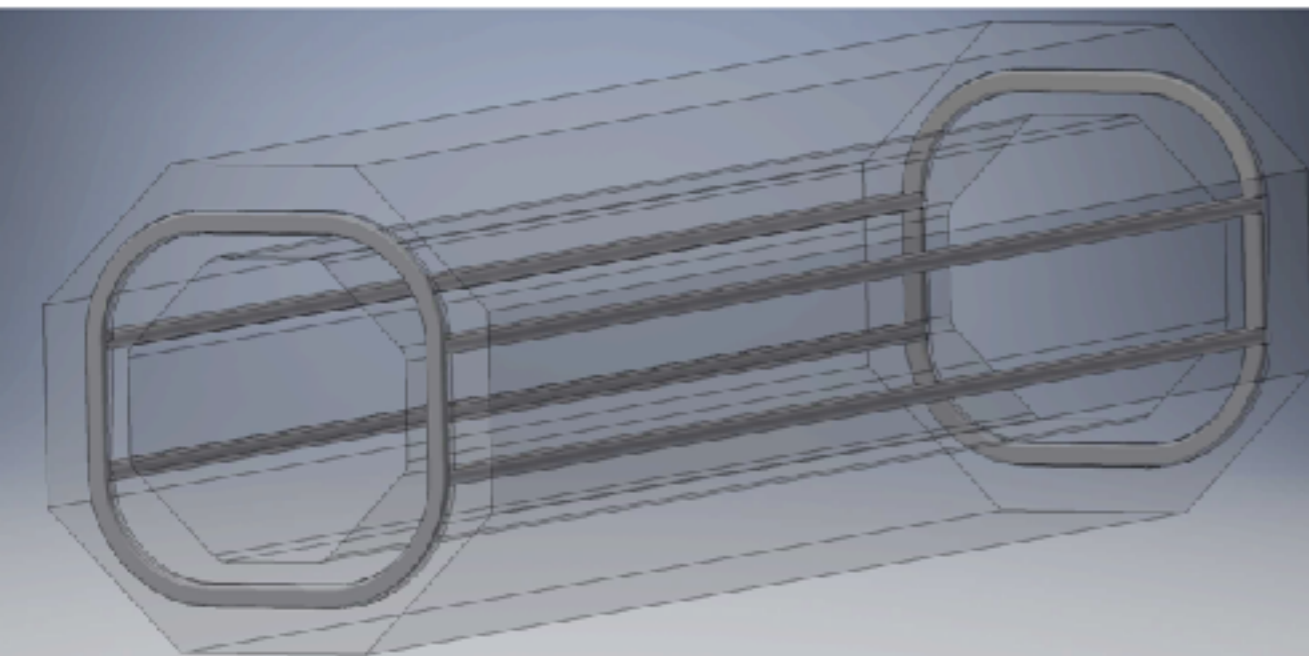
- Üretim sürecini iyileştirmek ve son haline getirmek için normal bakırdan Module-0 üretildi
- Vakum ve EM testleri tamamlandı
- Montaj sonrası: $18 \pm 1 \mu\text{m}$



**PTAK
RFQ
Vakum**

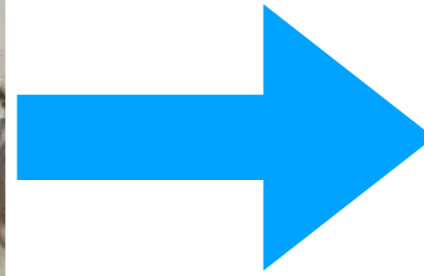


**3D o-ring'le sızdırmazlık
 1×10^{-6} mbar vakum seviyesi**

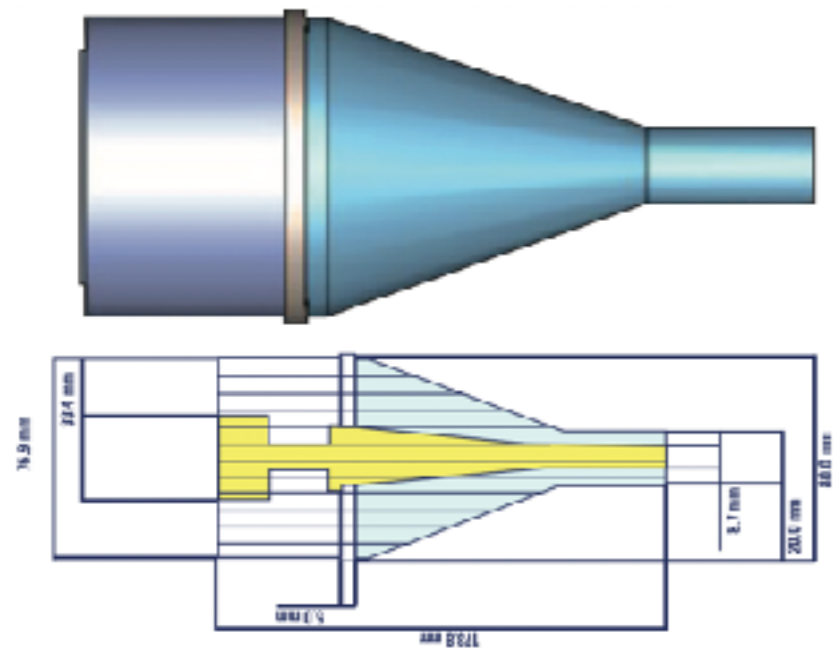




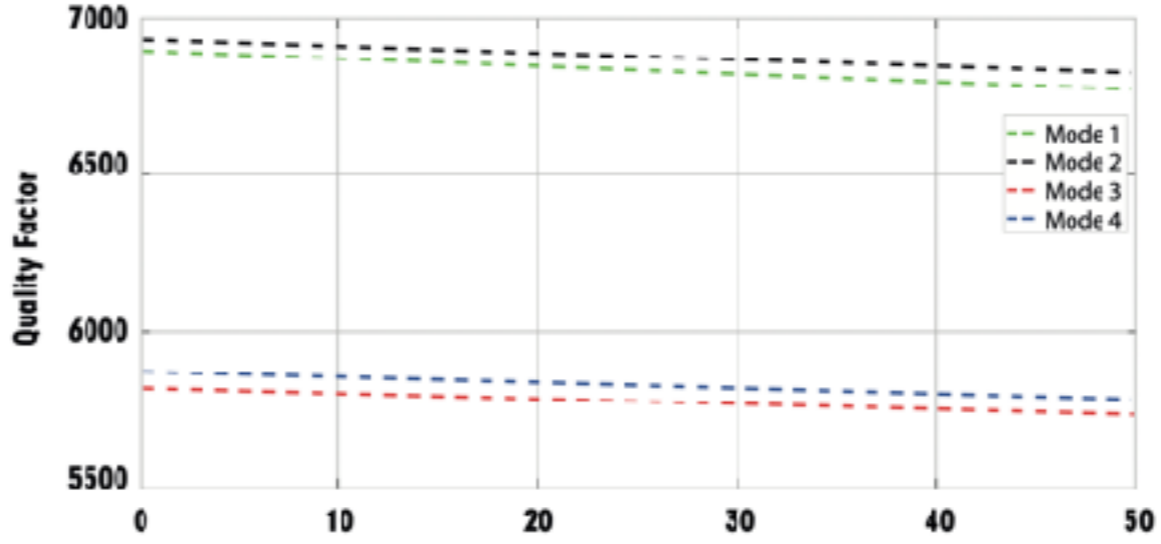
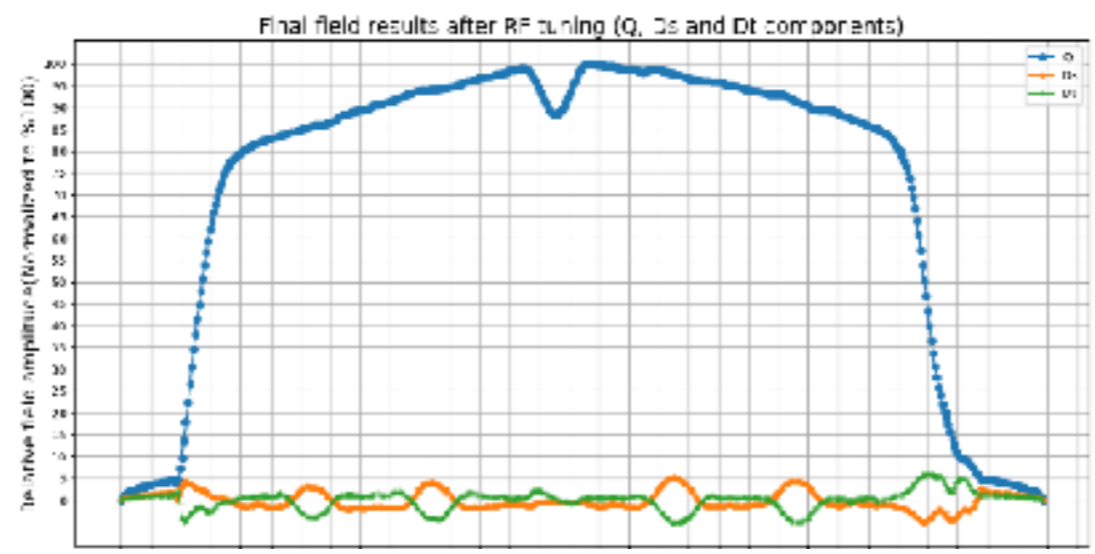
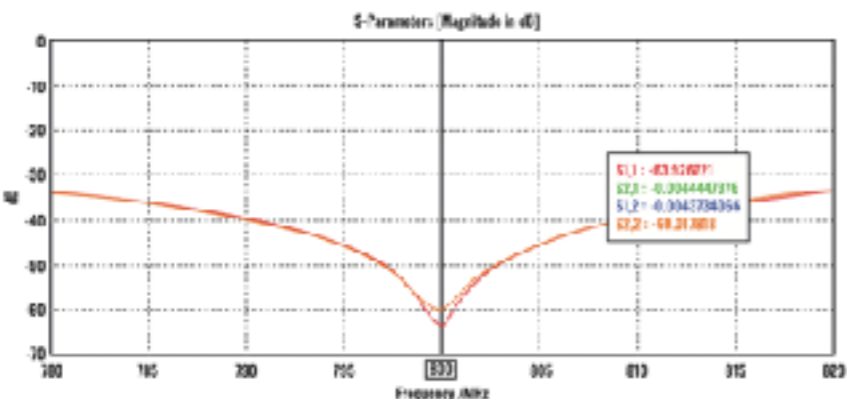
**PTAK
RFQ
EM**



**boncuk çekme
düzeneği**



Alumina window coupler design and size image

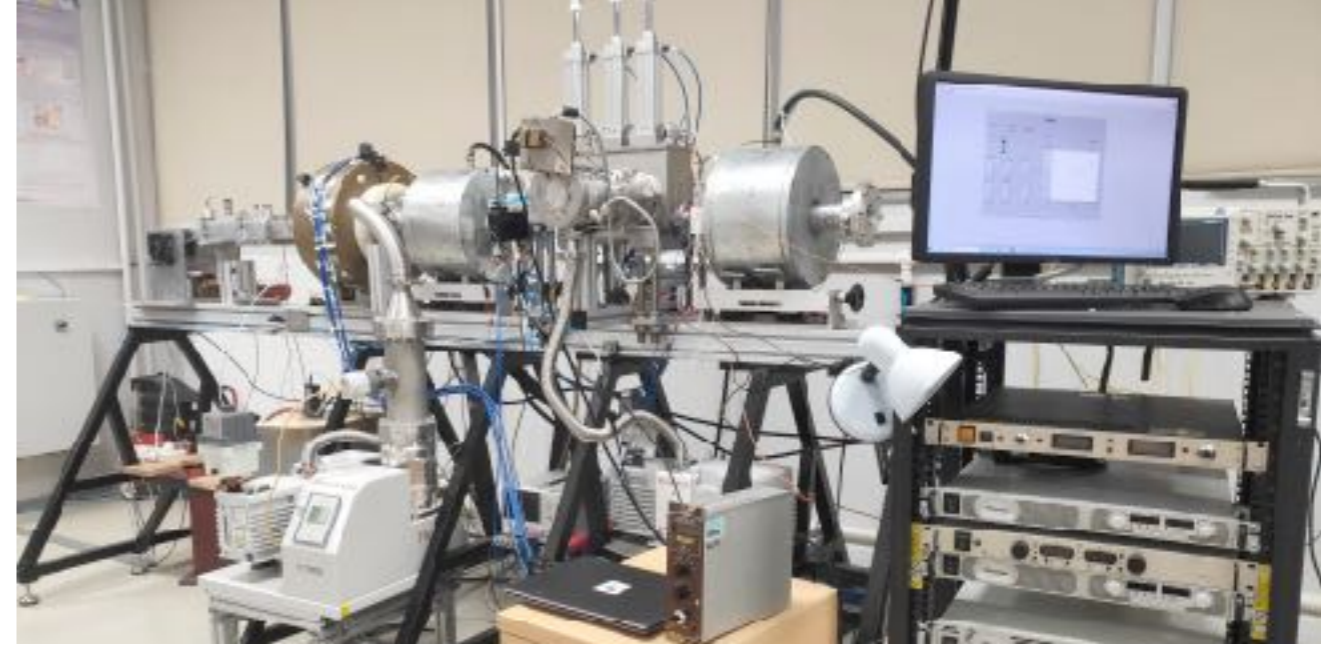


Tüm ayarlayıcılar kovuk yüzeyiyle aynı;
Fquadrupole : 796.05 MHz,
Q₀ : 6973 benzetim & 5850 ölçüm

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 2023 de
 - ★ Vakum, RF tavlama 2023 Q2
 - ★ RF PSU ların durumuna göre ilk demet 2023 Q4



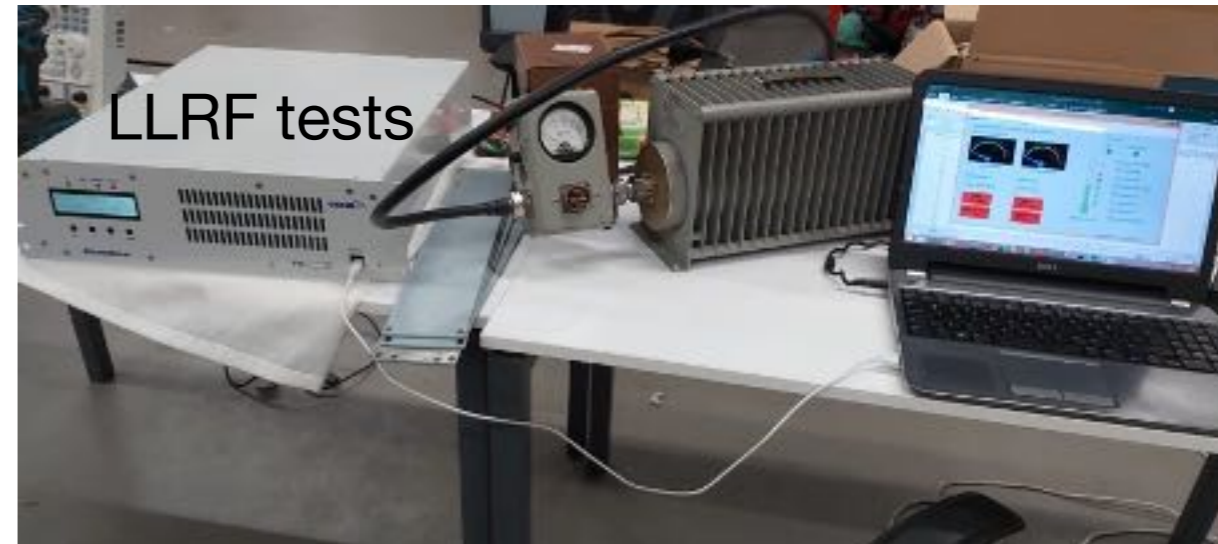
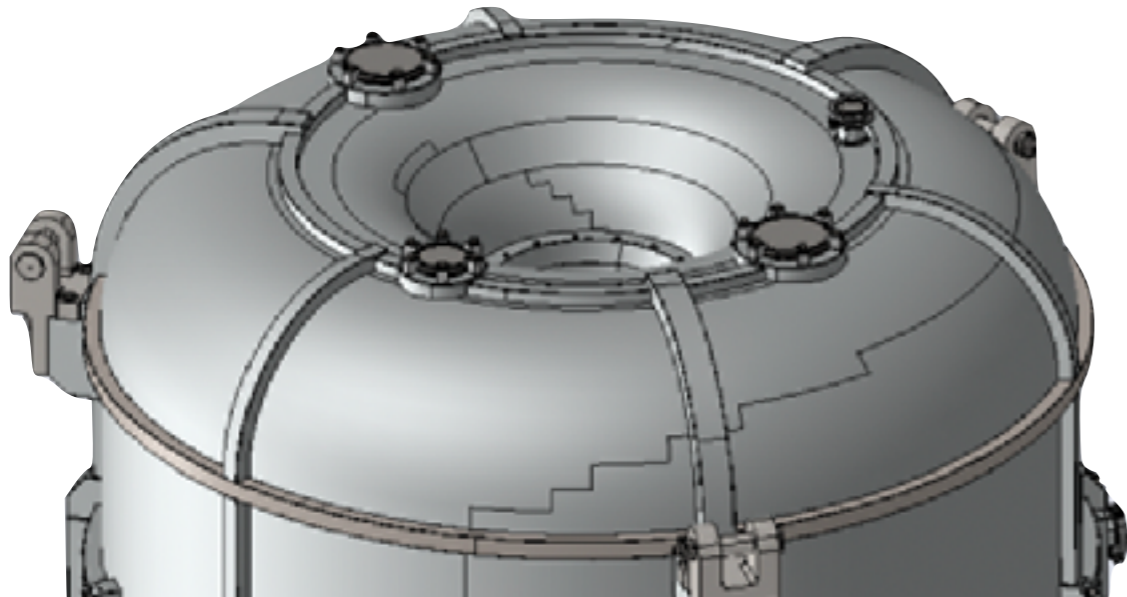
Hızlandırıcı : RF

- 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



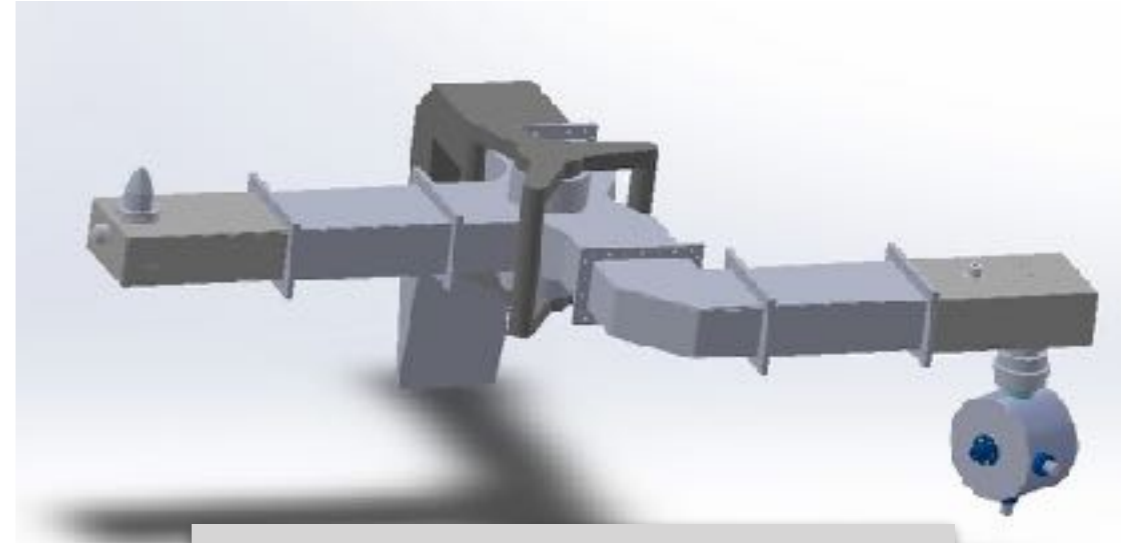
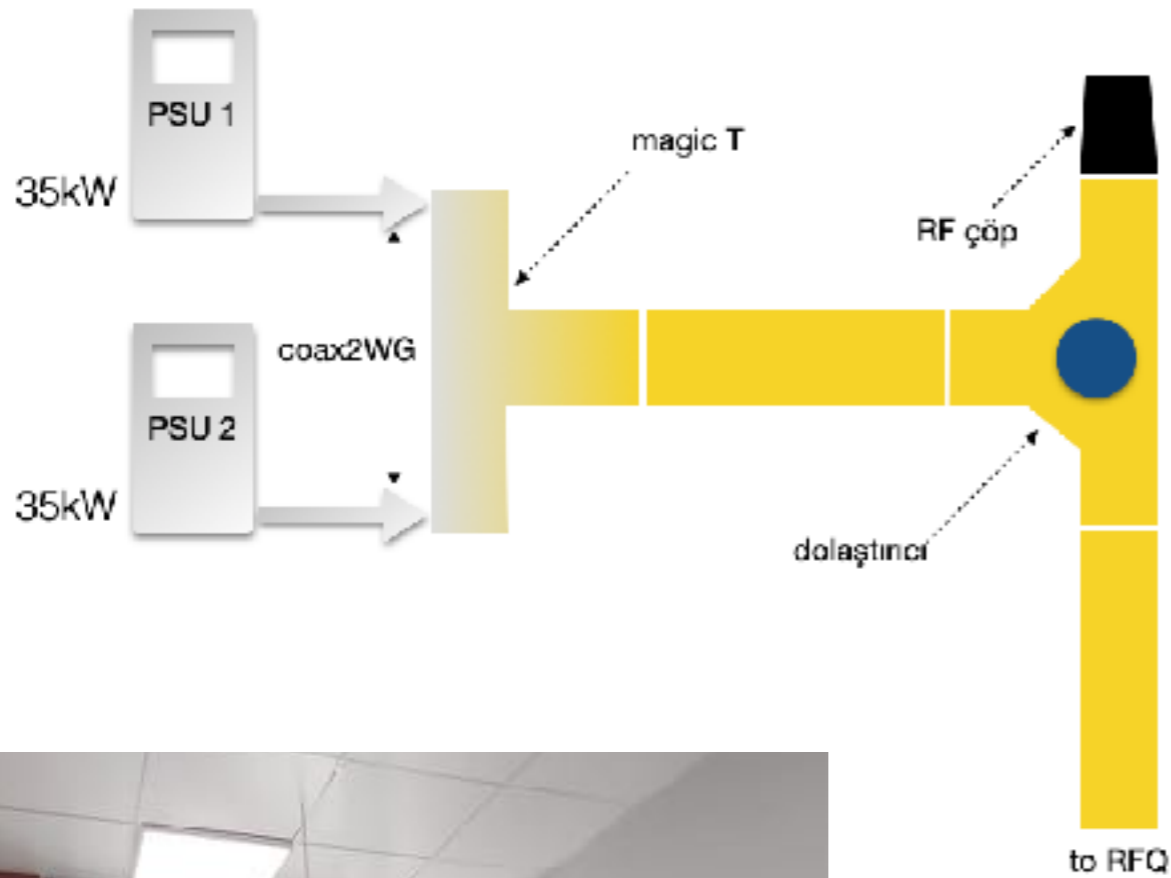
RF container



TH382



RF - UHF - Aktarım Hattı

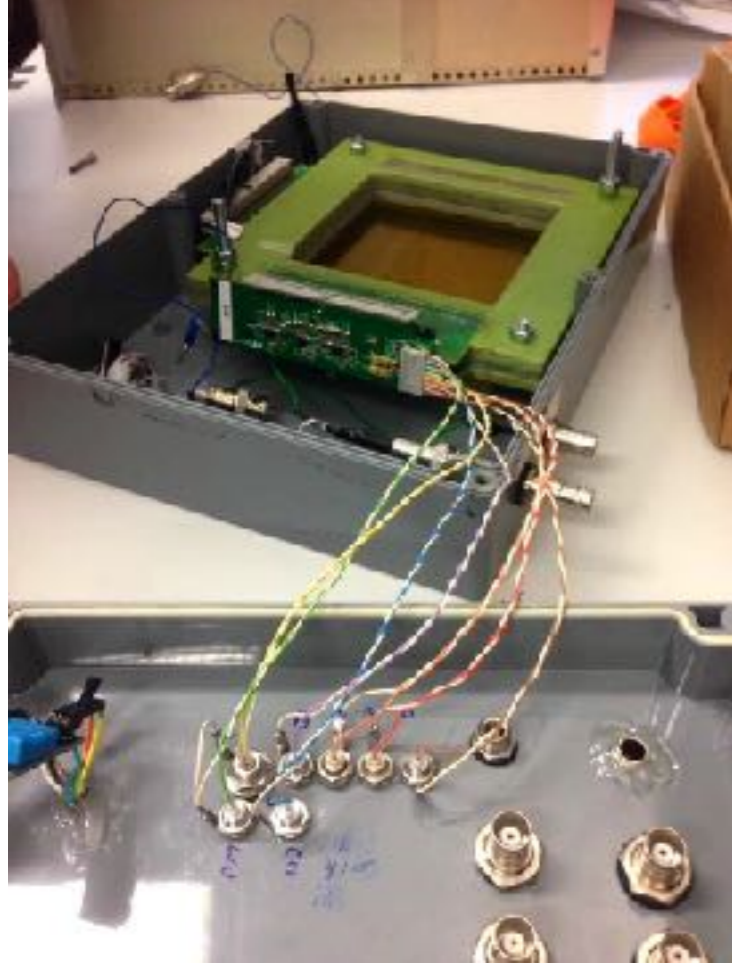


dalga kılavuzu dolaştırıcı aracılığıyla kovuğa giden birleştirilmiş güç



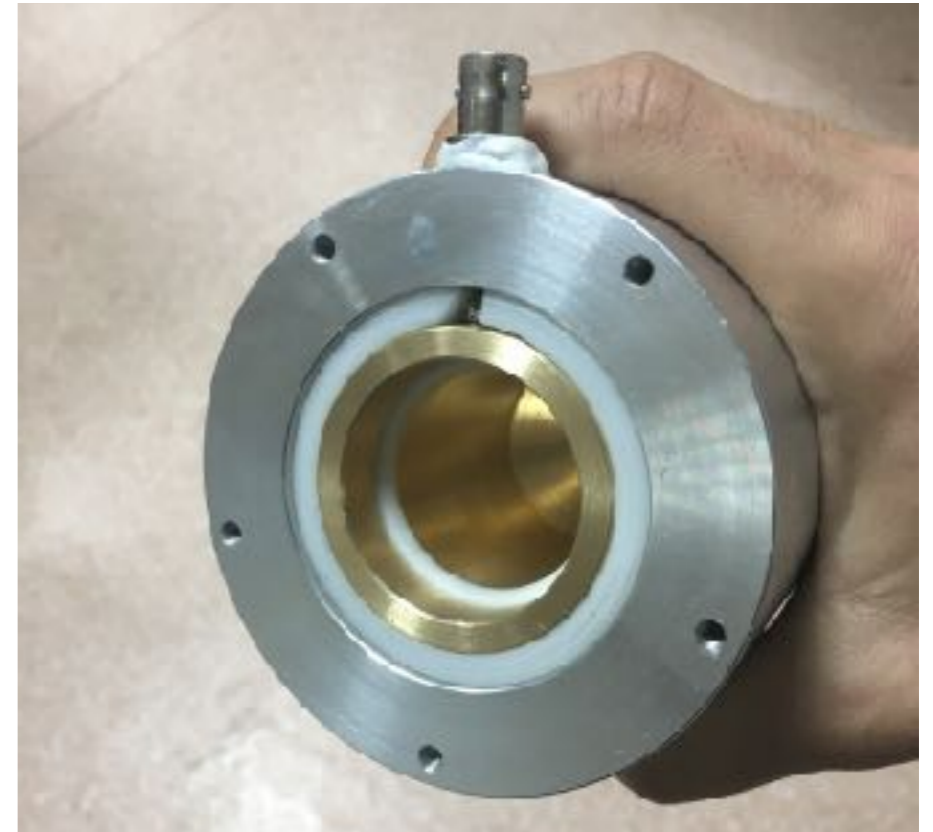
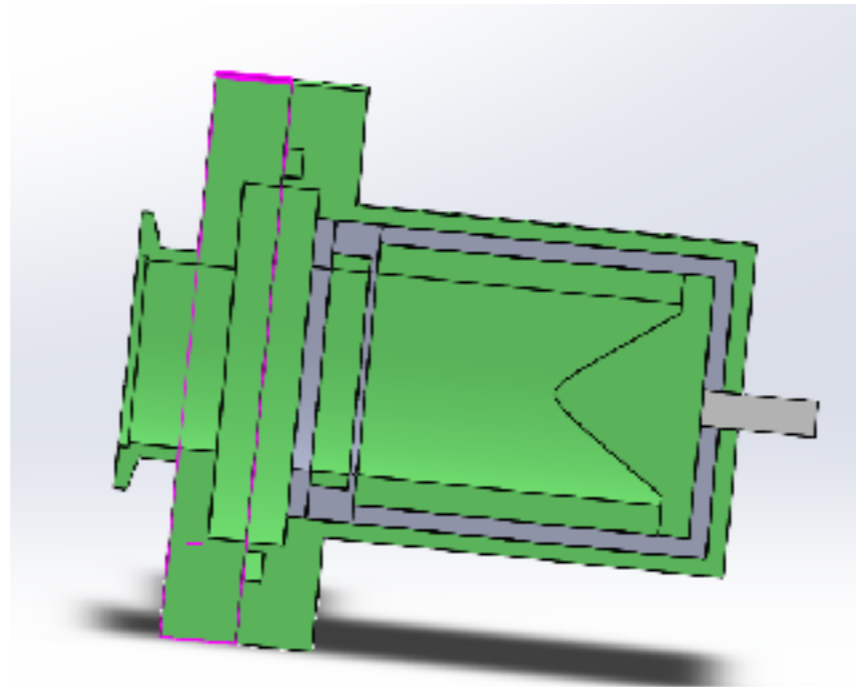
Dalga kılavuzu (T) birleştirici

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

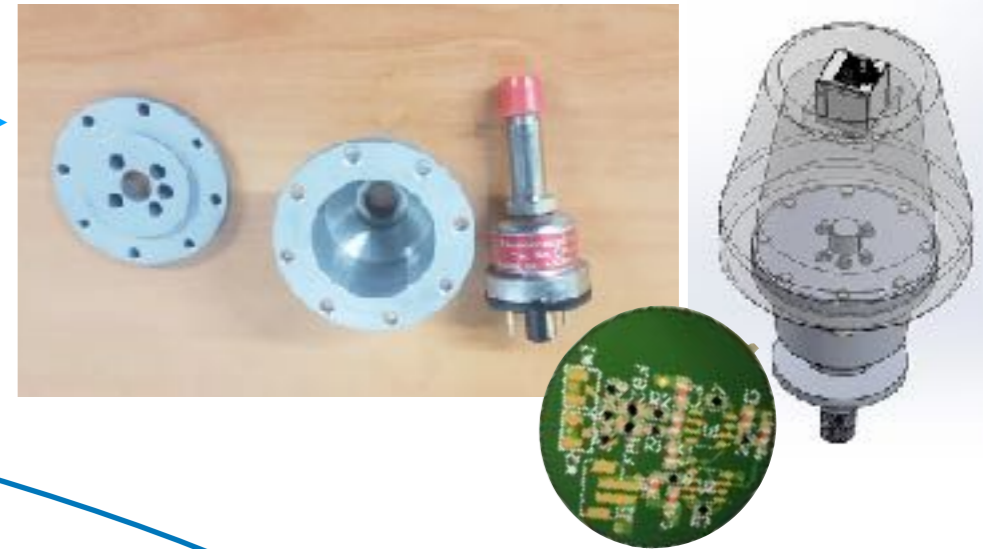
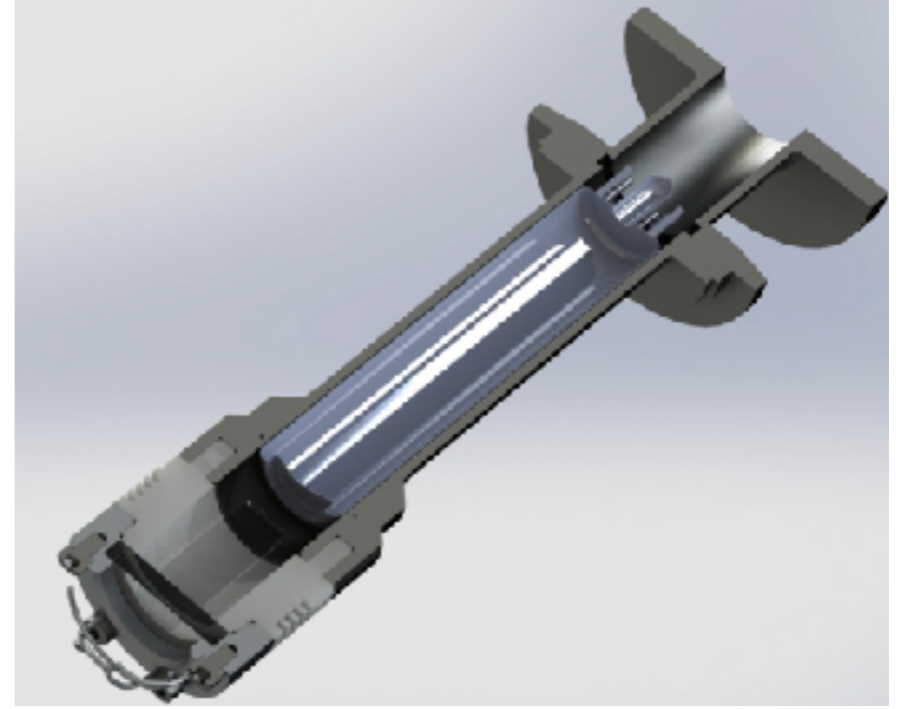
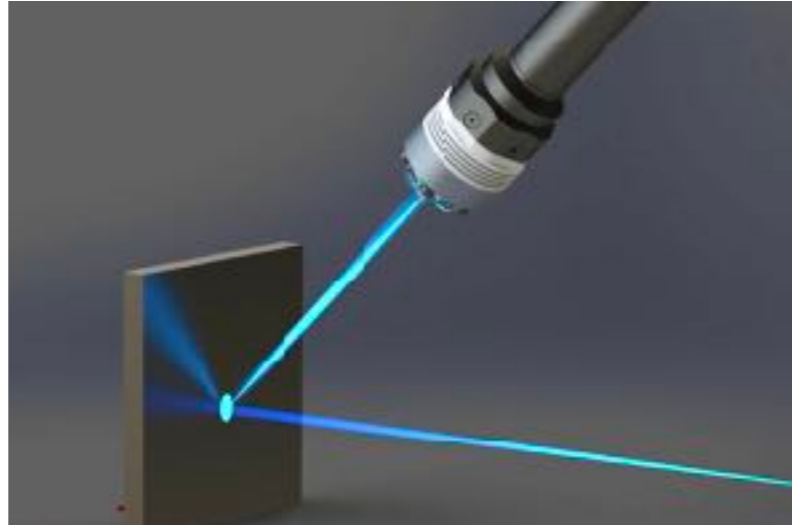


Algıç

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



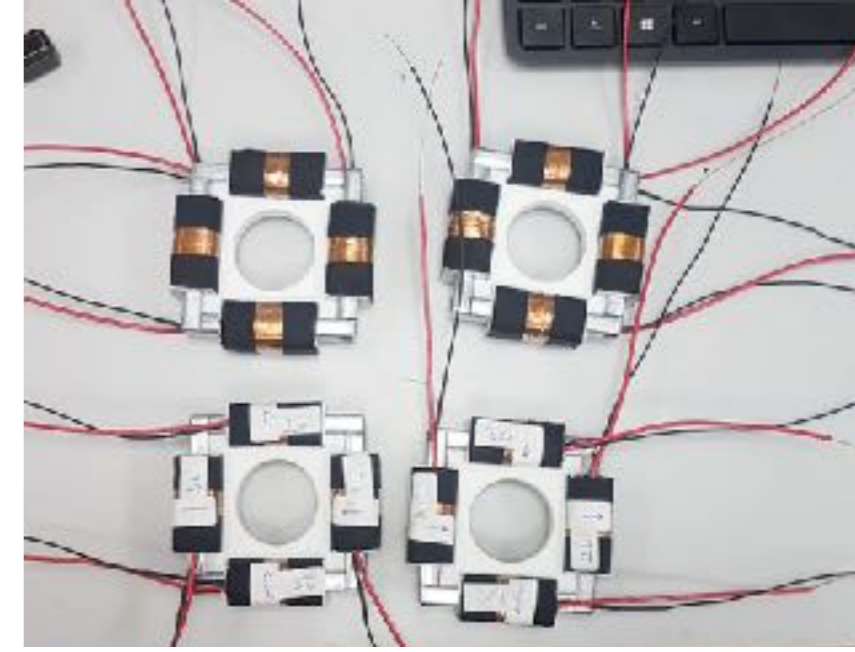
- EB mikroskopi
- Yerli vakum ölçer
- Demet görüntüleme ekranı
- wifi/bt gerilim/akım kontrolcü
- wifi/bt anot & hedef akım okuyucular



Enstrümantasyon



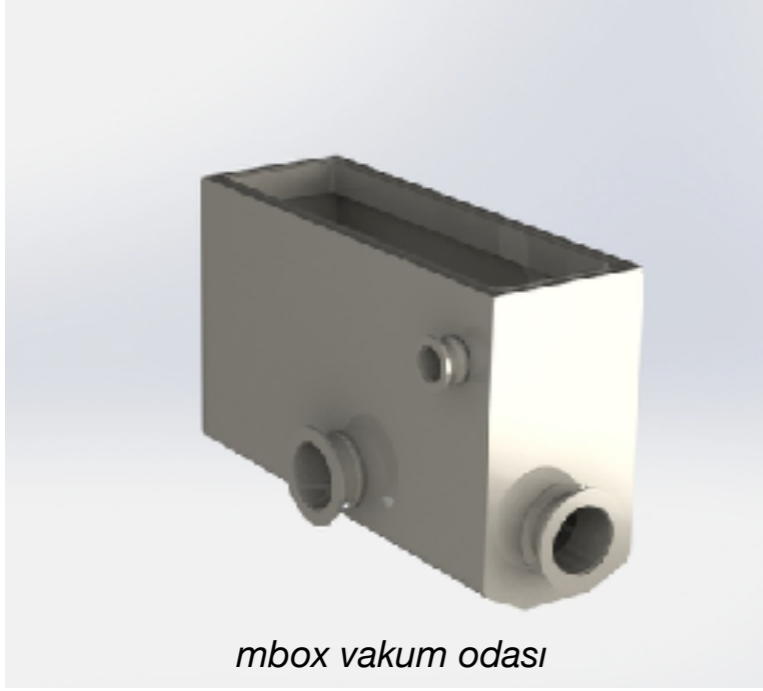
elektron demet hattı için



proton demet hattı için



MBOX tasarımı - kurulumuna



mbox vakum odası



Tanıma istasyonu ve pnömatik silindirler



Mbox montajı

Dr. O. Ilday, UFOLab, Bilkent



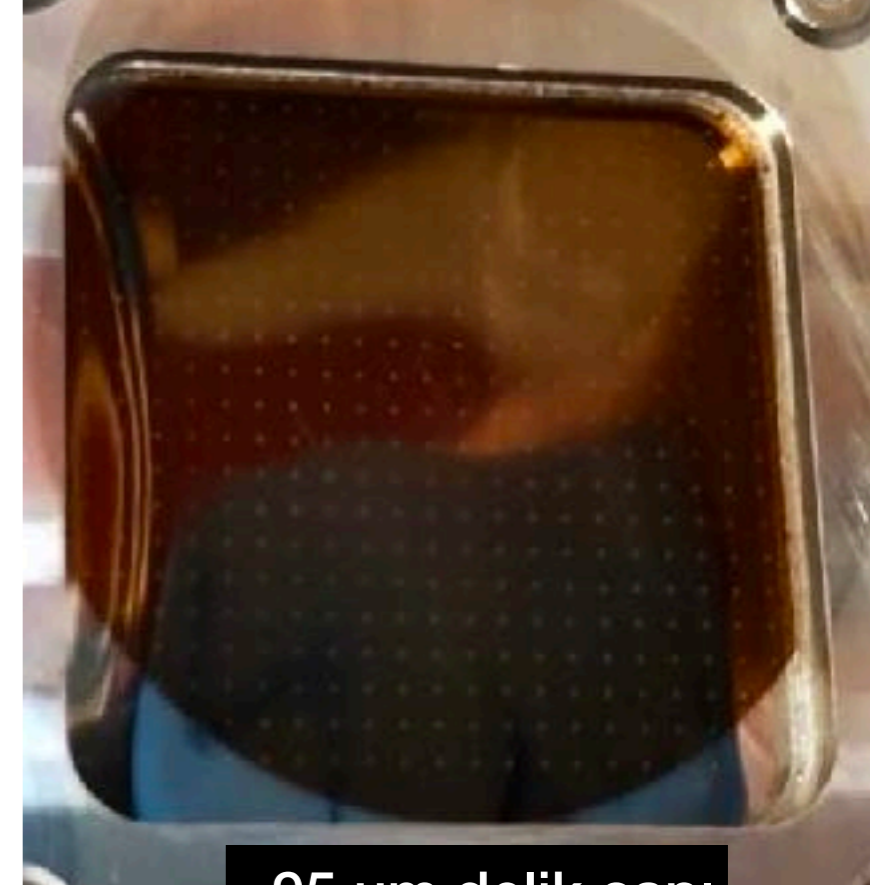
Vakum testleri

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

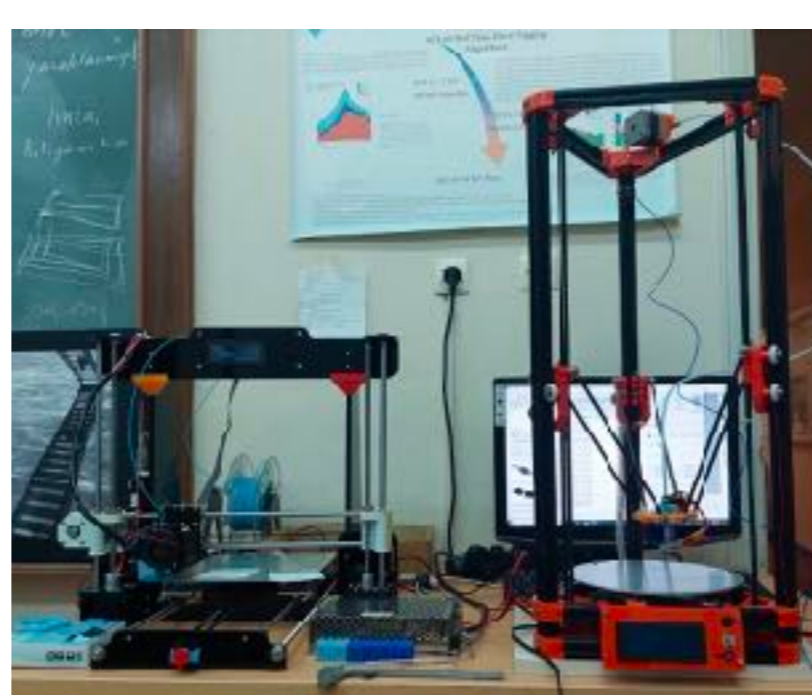
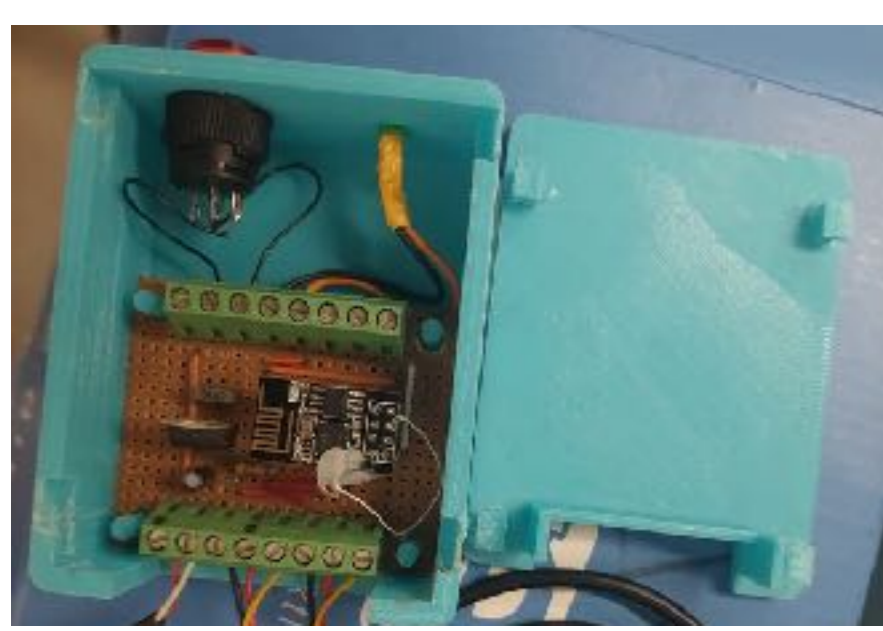


29

Kurulum



~95 um delik çapı



3D printer ile ara eleman
üretimi



bakır kaplama



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_2O_3 , Ferrites üretimi için teknik bilgi
 - Yeni uygulamalar üzerinde çalışma

KAHVE Laboratuvarı

Bünyesindeki Projeler

MBOX: TÜBİTAK 3501

Düşük Enerjili Proton Demetin İçin Ölçüm Kutusu Tasarımı, Üretimi ve Testleri, ProjelID: 119M774
IS: İÜ BAP

Mikrodalga İyon Kaynağı ile Proton Demeti Üretimi Aktarımı ve Ölçümleri ProjelID: 33250
RF:İÜ BAP

Proton hızlandırıcısı için RF güç ölçer ve güvenlik kilidi tasarımı ve üretimi ProjelID: 36823
RF: TÜBİTAK 1005

RF Dolaştırıcısı ve RF İletim Hattı Tasarımı, Benzetimi ve Üretimi ProjelID: 116E221.
RFQ: TÜBİTAK 1001

UHF Bandında Kompakt Proton Hızlandırıcısı ProjelID: 118E838
RHODOTRON : TÜBİTAK 1005

Endüstriyel Uygulamalar İçin MeV Enerjili Elektron Hızlandırıcısı ProjelID: 120F342
RHODOTRON SW: TÜBİTAK 1001

Mev Enerjili Elektron Hızlandırıcısı Tasarım Yazılımı ProjelID: 112F304
EGUN: BOUN BAP

Elektron Tabancası ProjelID: 16B03S10
EGUN: BOUN BAP

Endüstriyel Uygulamalara Uygun Elektron Tabancası Üretimi için LaB6 Katot Kullanımı ProjelID: 18B03M4
EBW: TÜBİTAK 1005

Endüstriyel Uygulamalara Uygun Elektron Tabancası ve Elektron Kaynaklama Cihazı ProjelID: 117F462
DWC : TÜBİTAK 1005

Gecikmeli Tel Odası Tasarımı, Benzetimi ve Üretimi ProjelID: 114F467

Yedekler

RFQ tarihi

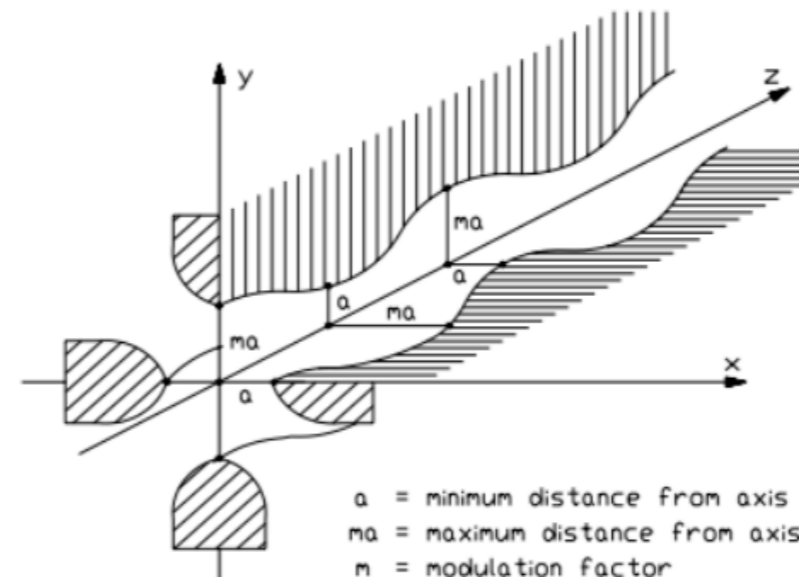
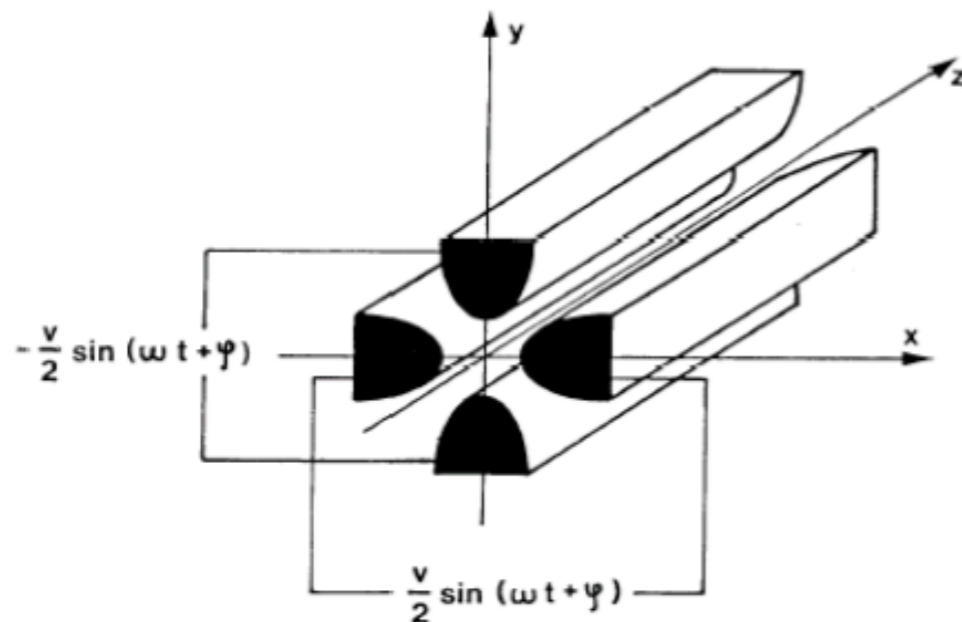
RFQ tipleri

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

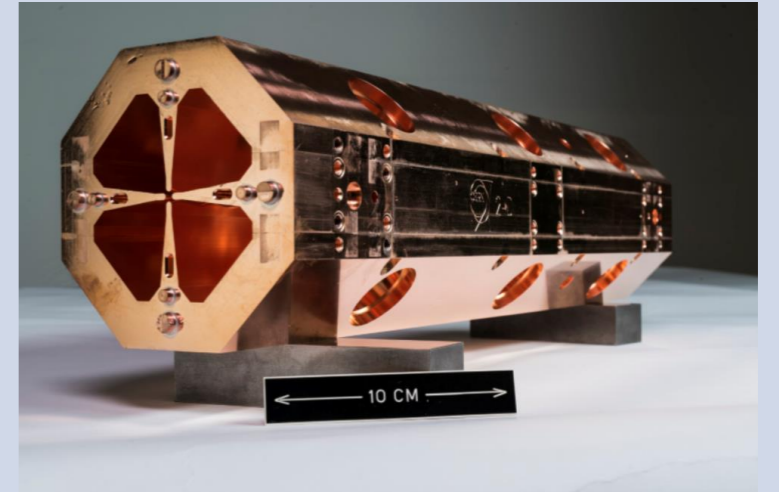
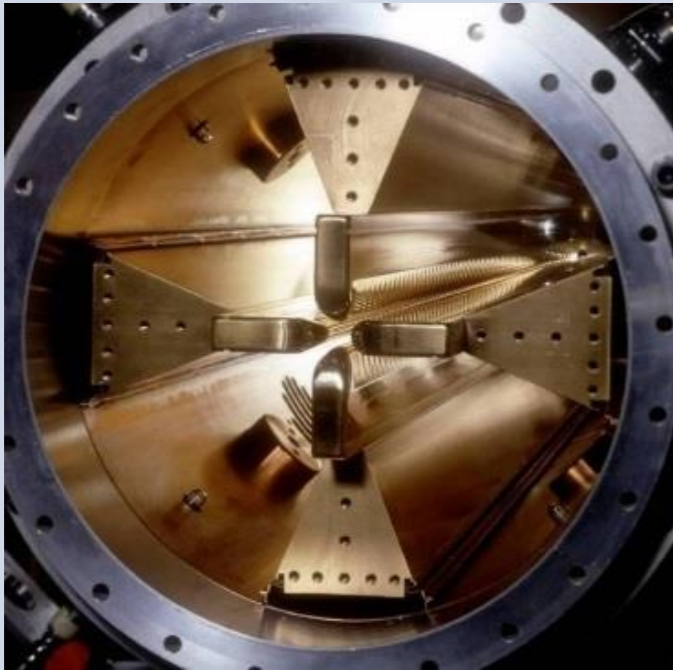
HF RFQ

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

parmteq

TABLE I. Design parameters of the PIXE RFQ.

			PTAK	
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	q_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 μ s	100 μ s ?	
Output beam diameter		0.5 mm	1.34 mm (parmteq)	
Transmission	T_{acc}	30%	0.3	$T_{out}: 60\%$ $T_{wall}: 10\%$
rf wall plug power		≤ 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.

			PTAK @33kV	
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	
			1.38367 KP	

RFQ karşılaştırma 2

Table 2

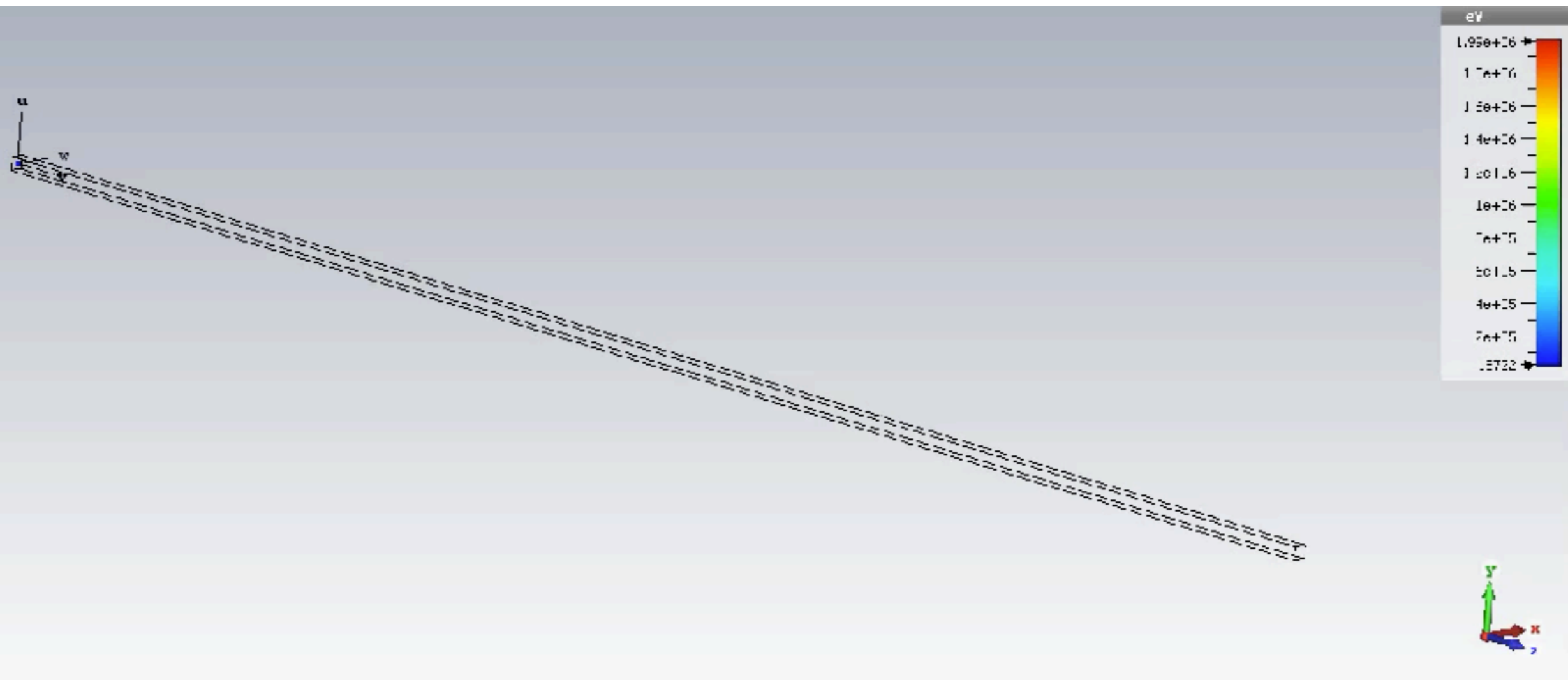
HF-RFQ and PIXE-RFQ Main Parameters.

	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 (μ A)	30	0.2	1
Repetition Rate (Hz)	200	200	200 ?
Pulse Duration (μ 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)	± 0.5	± 0.25	± 0.5 mm (parmt eq)
Accep.(π 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

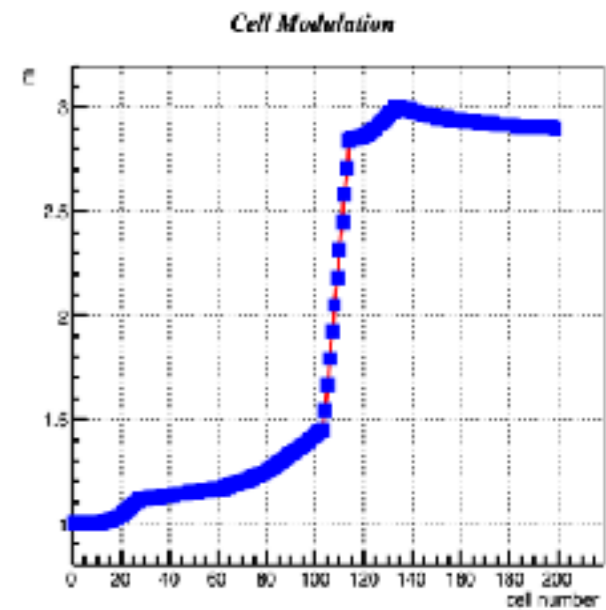
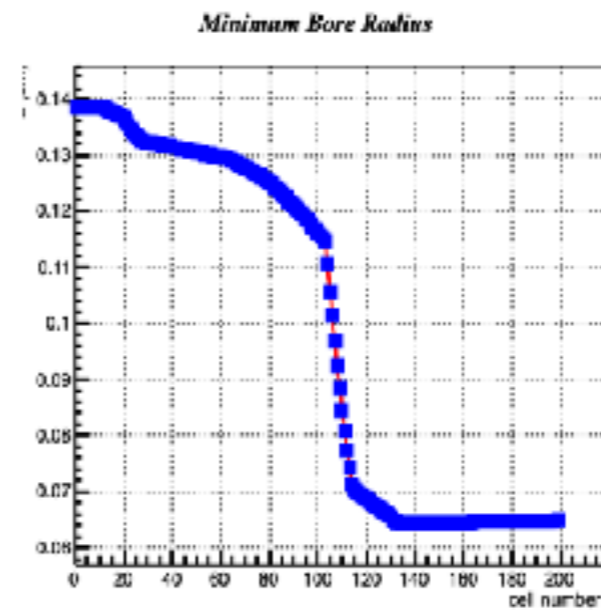
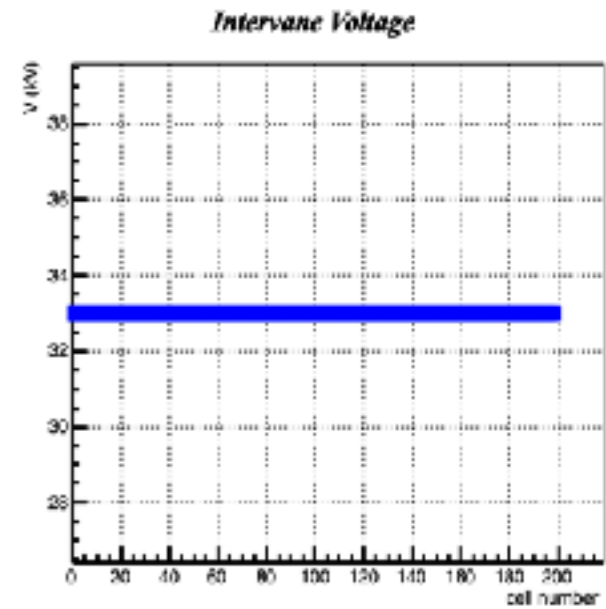
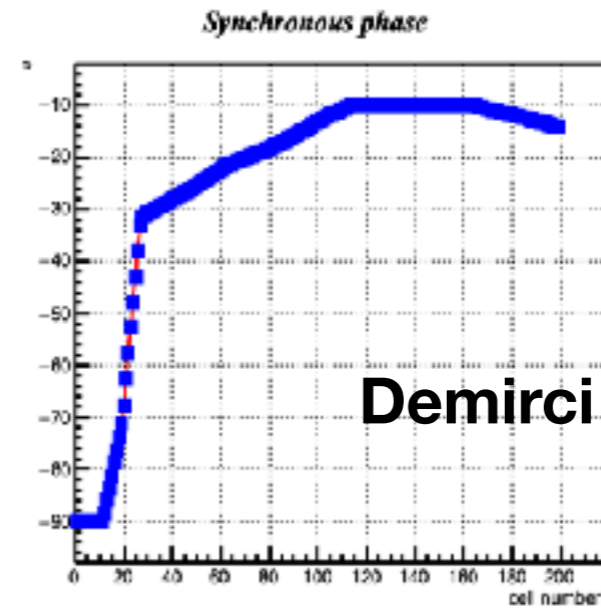
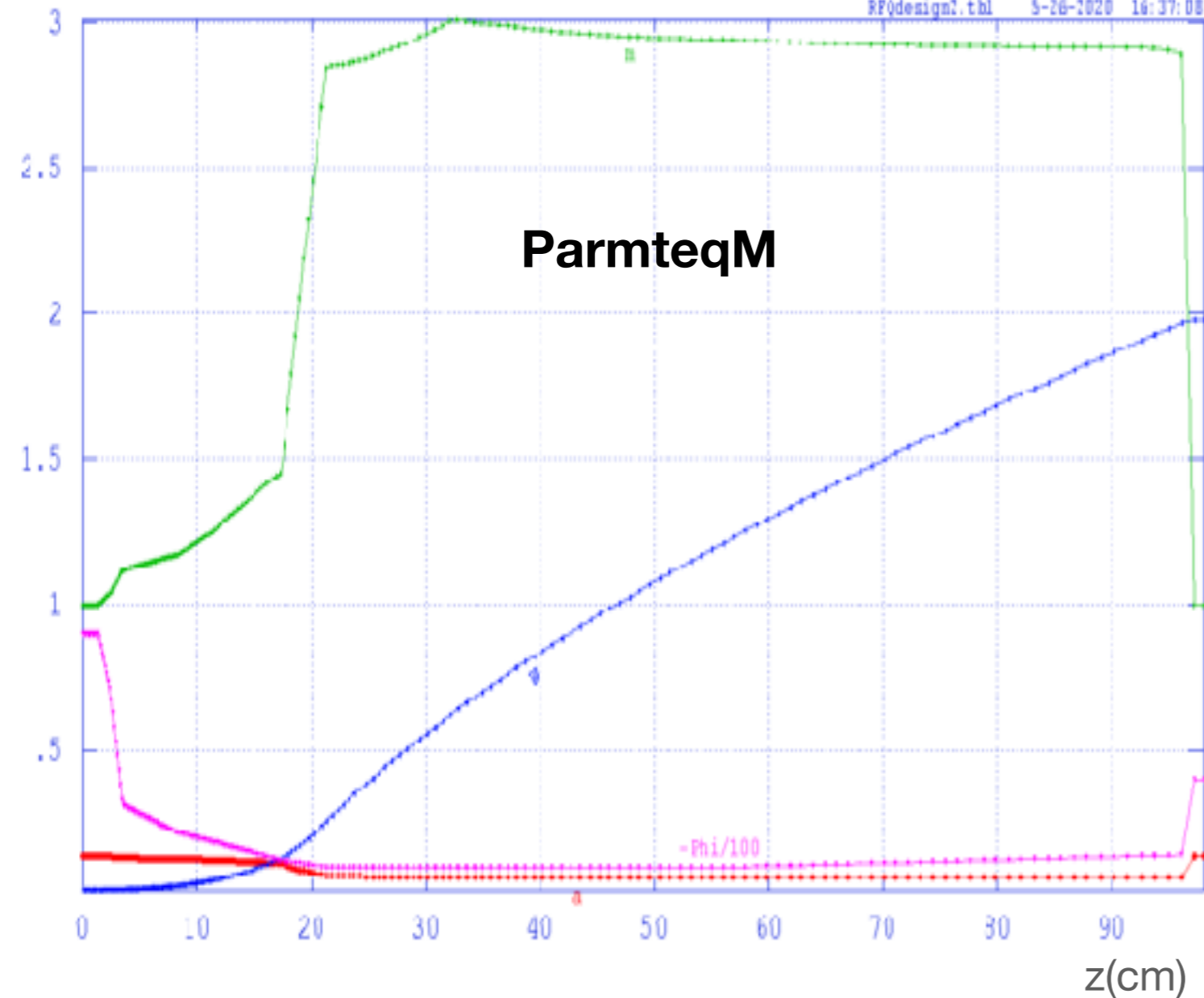
- $\Delta T_{\text{rfq}} = (123.1\text{ns demirci}, 123.8\text{ns Toutatis}) \approx 125\text{ns}$
- pulse duration: 100us, maxRepetition rate = 200Hz
- Total norm Emit. (pi.mm.mrad) = 0.1549 (from parmteq)
- 30% of initial beam is accelerated to 2MeV, 60% exits w/o acceleration, ~10% hits the RFQ wall.

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 χ^2 and minimize it

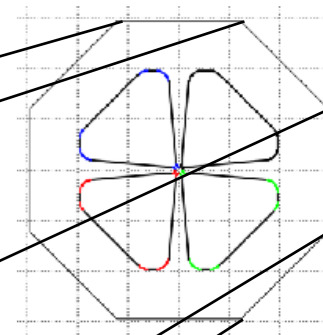
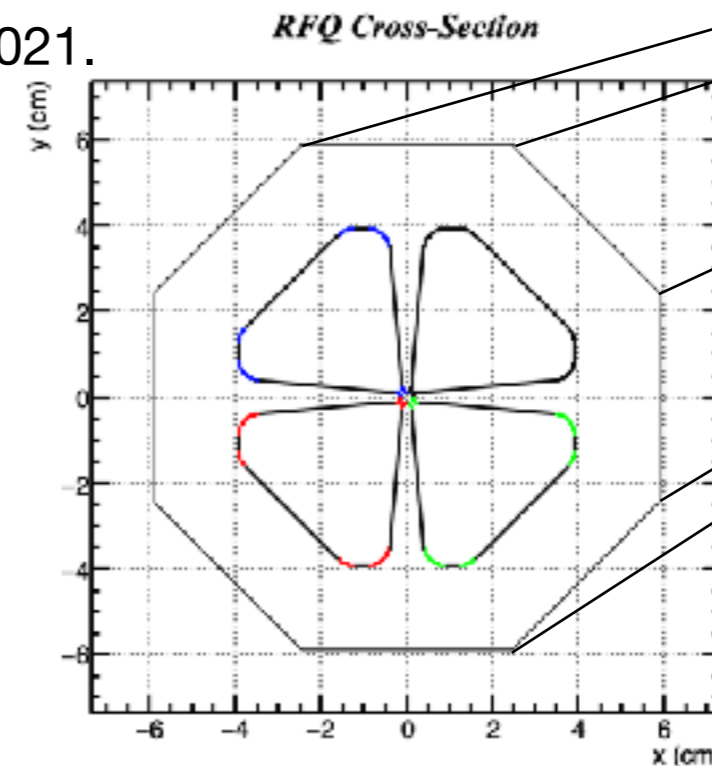
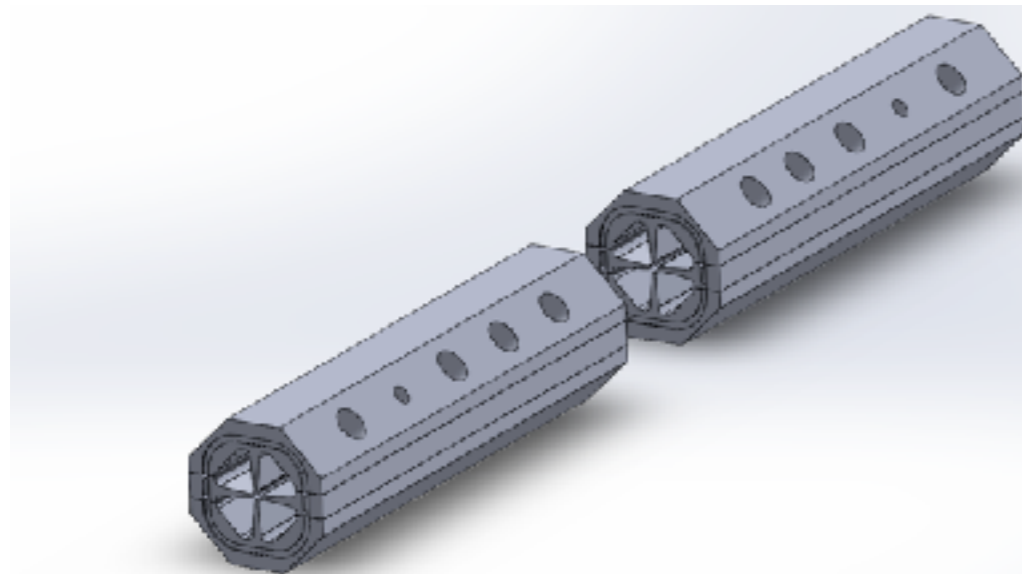
- goal: **min** length, **min** #p hitting the RFQ wall, **min** Tacc ($>\sim 30\%$), **min** RF power

- 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



PTAK RFQ:
 $L \sim 1\text{m}$, $\Phi \sim 13\text{cm}$
 ($\pi, \text{mm}, \text{mrad}$)

	f_{res} (MHz)	E_{in} (MeV)	E_{out} (MeV)	L_v (cm)	$T_{\text{total/acc}}$ (%)	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	98	90/30	48.6	33	1.38	0.02	7036	1.392	1.392