



Parçacık Hızlandırıcıları ve Algıçları Yerel Altyapı ve Ar-Ge Çalıştayı

TENMAK-NÜKEN PHT'de Parçacık Hızlandırıcı Geliştirme Çalışmaları ve Proton Demeti Uygulamaları

Dr. Görkem TÜREMEN

PHT ekibi adına

02 Aralık 2023

► Siklotron demeti ile Ar-Ge çalışmaları

- Işınlama sistemi
- Tahribatsız analiz
- Radyasyon hasarı

► Parçacık hızlandırıcı Ar-Ge çalışmaları

- Tıbbi amaçlı ağır iyon hızlandırıcısı geliştirme

► Işınlama hizmetleri

- Proton demeti ile Ar-Ge amaçlı ışınlama
- Proton demeti ile Ge-68 radyoizotopu üretilmesine yönelik ışınlama

NÜKEN Proton Hızlandırıcısı Tesisi

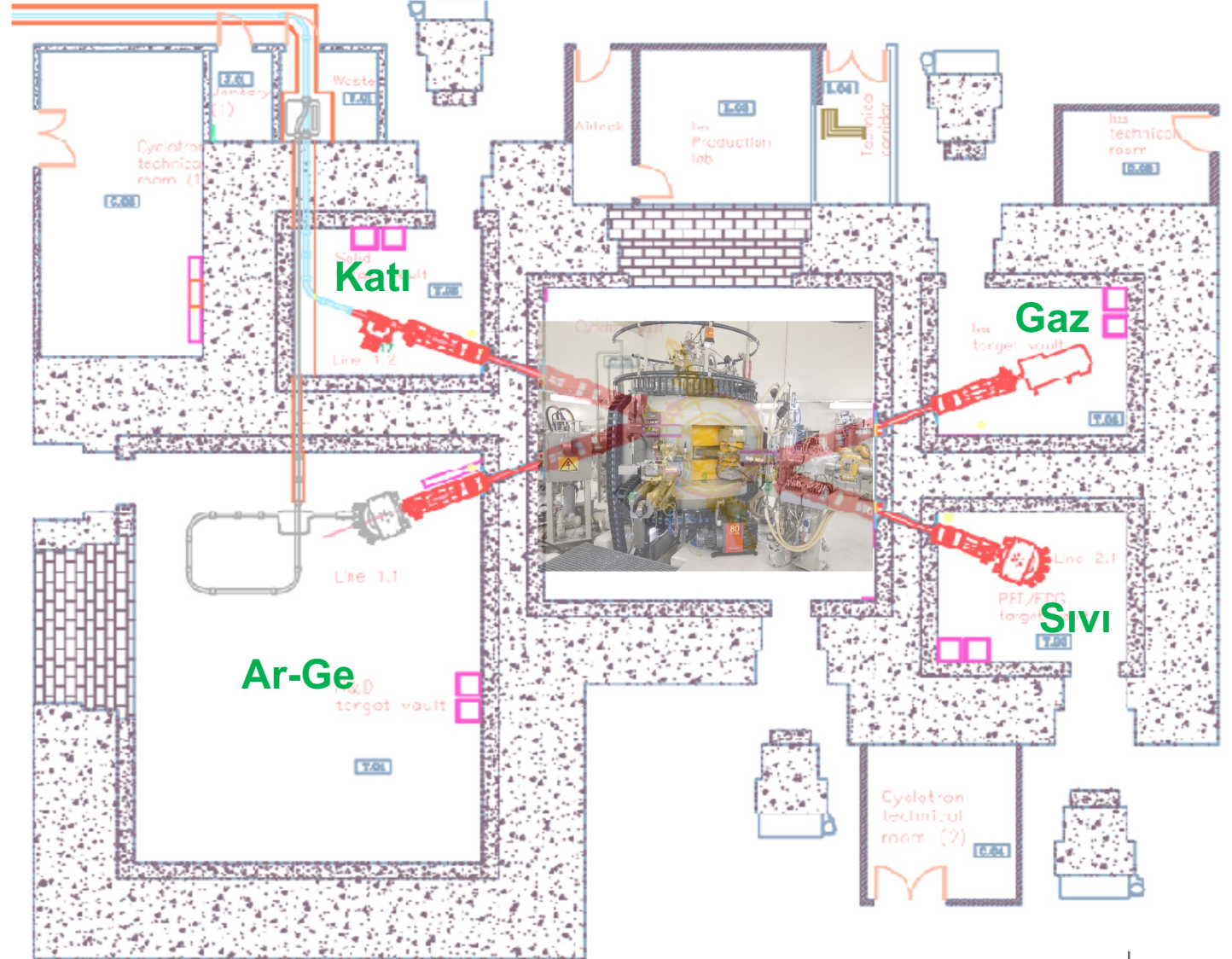


15-30 MeV / 0.1 uA-1.2 mA

~7000 m² alan, ~30 personel

Radyofarmasötik/Radyoizotop
üretimi

- NaI123, TlCl201
- Ge68, Co57 (Ar-Ge)



TAEK-PHT
123I-Nal (Sodyum iyodür)
37 MBq/mL i.V
Enjeksiyonluk Çözelti

Nerelerde kullanılır: 2000, 1000, 500 ve 250 kBq/mL dozları, beyaz-kırmızı renkteki kapaklı şişelerde, 1000 ve 500 kBq/mL dozları, 1000 ve 500 kBq/mL dozları, 1000 ve 500 kBq/mL dozları.

Raf ömrü: 72 saat
Yarı ömrü: 13,2 saat
Eklenen içerik: 1 mCi/ml
İlaç formu (Diy): intravenöz (i.v) sulu çözelti

Saklama koşulları: 25°C
Ambalaj şekli: kuruyun altına beyaz/gri kağıt torba cam flakon

TAEK-PHT
201TlCl (Talyum Klorür)
37 MBq/mL i.V
Enjeksiyonluk Çözelti

Nerelerde kullanılır: 2000, 1000, 500 ve 250 kBq/mL dozları, beyaz-kırmızı renkteki kapaklı şişelerde, 1000 ve 500 kBq/mL dozları, 1000 ve 500 kBq/mL dozları, 1000 ve 500 kBq/mL dozları.

Raf ömrü: 72 saat
Yarı ömrü: 13,2 saat
Eklenen içerik: 1 mCi/ml
İlaç formu (Diy): intravenöz (i.v) sulu çözelti

Saklama koşulları: 25°C
Ambalaj şekli: kuruyun altına beyaz/gri kağıt torba cam flakon

TAEK-PHT
123I-Nal (Sodyum iyodür)
Etkin Maddesi

Nerelerde kullanılır: 2000, 1000, 500 ve 250 kBq/mL dozları, beyaz-kırmızı renkteki kapaklı şişelerde, 1000 ve 500 kBq/mL dozları, 1000 ve 500 kBq/mL dozları, 1000 ve 500 kBq/mL dozları.

Raf ömrü: 72 saat
Yarı ömrü: 13,2 saat
Eklenen içerik: 75 mCi/ml
Saklama koşulları: 25°C
Ambalaj şekli: kuruyun altına beyaz/gri kağıt torba cam flakon

TAEK-PHT
201TlCl (Talyum Klorür)
Etkin Maddesi

Nerelerde kullanılır: 2000, 1000, 500 ve 250 kBq/mL dozları, beyaz-kırmızı renkteki kapaklı şişelerde, 1000 ve 500 kBq/mL dozları, 1000 ve 500 kBq/mL dozları, 1000 ve 500 kBq/mL dozları.

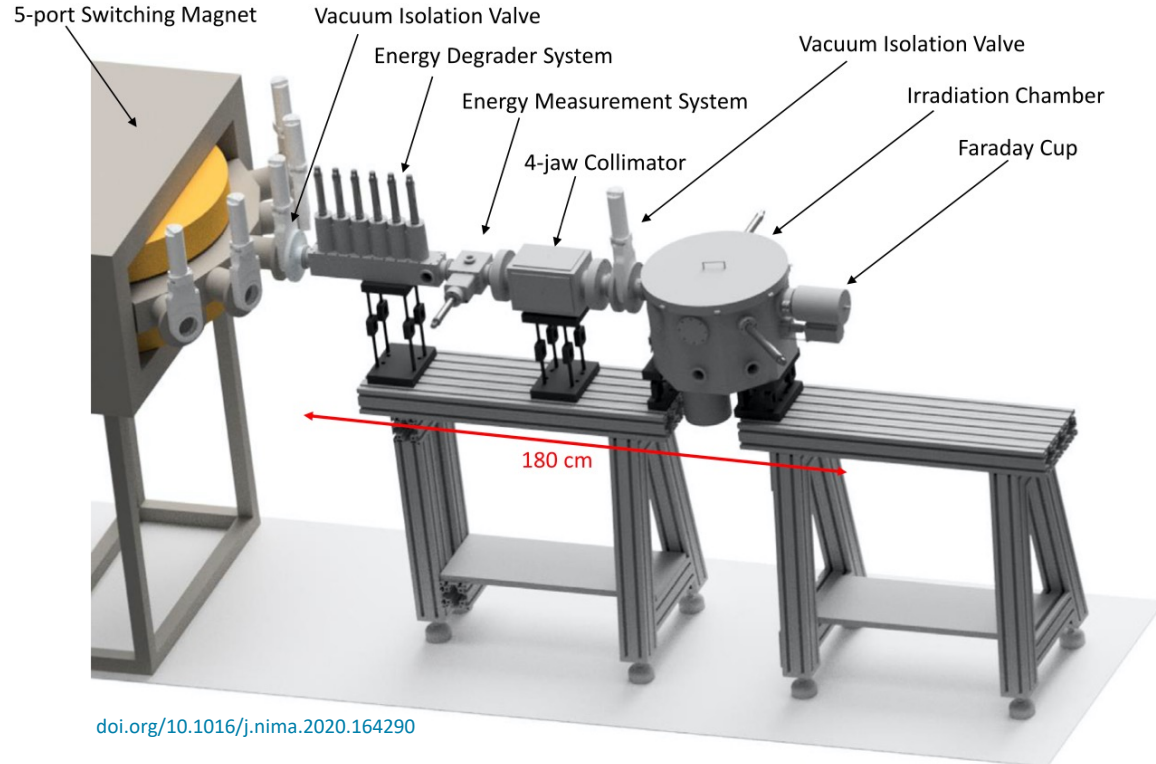
Raf ömrü: 72 saat
Yarı ömrü: 13,2 saat
Eklenen içerik: 75 mCi/ml
Saklama koşulları: 25°C
Ambalaj şekli: kuruyun altına beyaz/gri kağıt torba cam flakon

Ar-Ge demet hattı

İki farklı enerji düşürücü sistemi

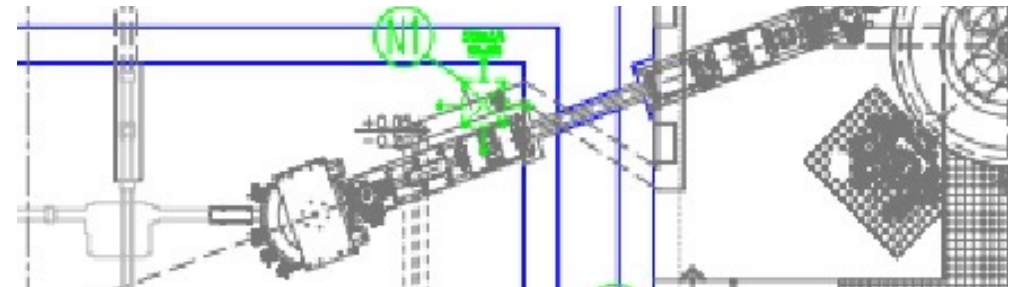
2-30 MeV, 5 pA-20 μ A

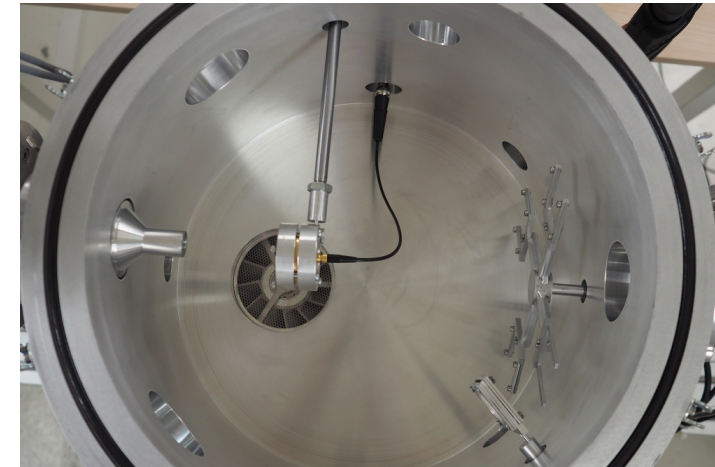
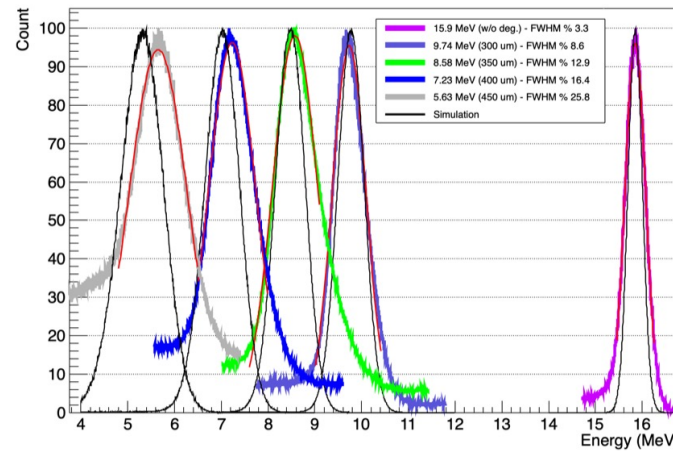
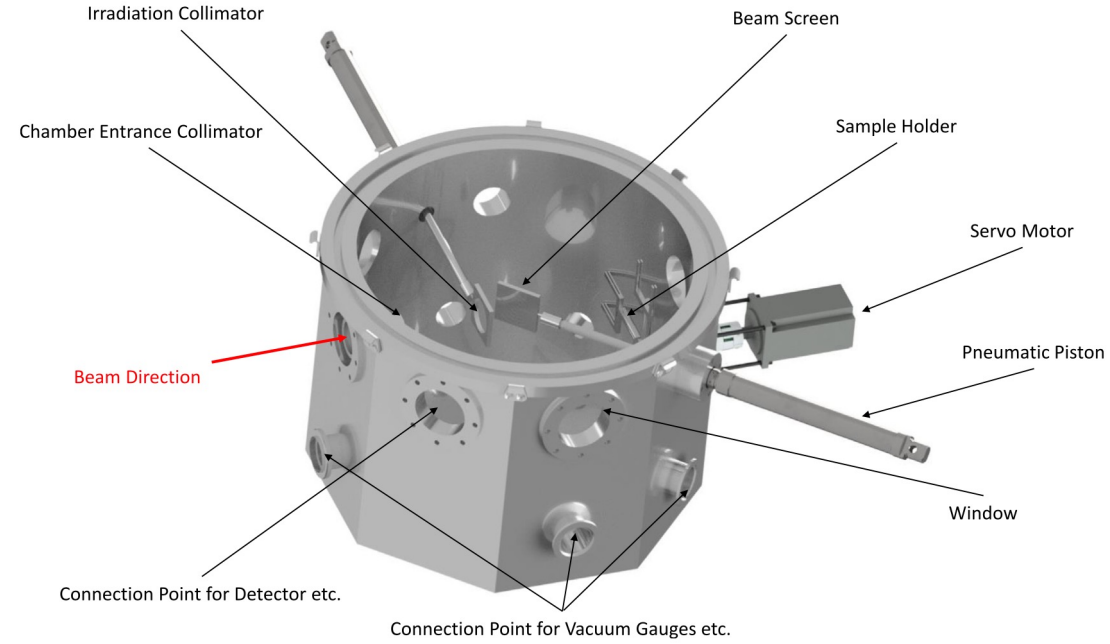
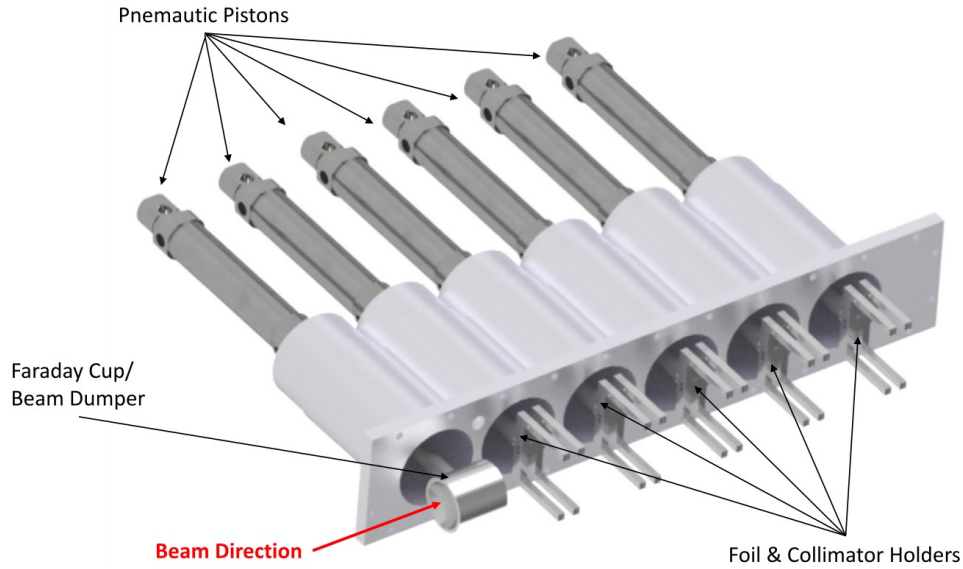
Vakum altında ($4 \times 4 \text{ cm}^2$) ve havada ($15 \times 15 \text{ cm}^2$) ışınlama imkanı



2 dört kutuplu, 2 yönlendirici, 1 iki kutuplu, 1 tarayıcı mıknatıs

3 demet ekranı, 4 FC

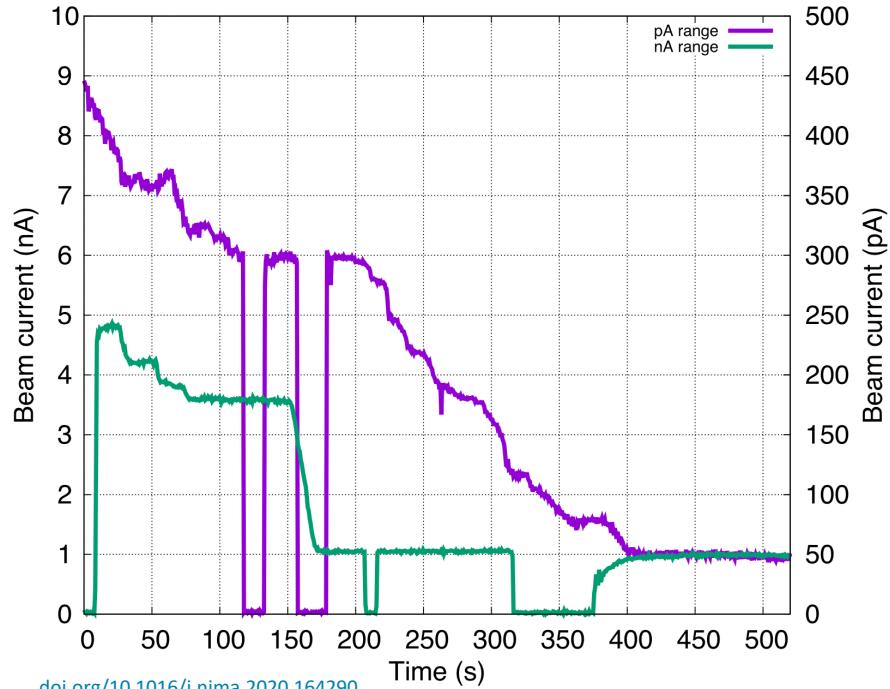
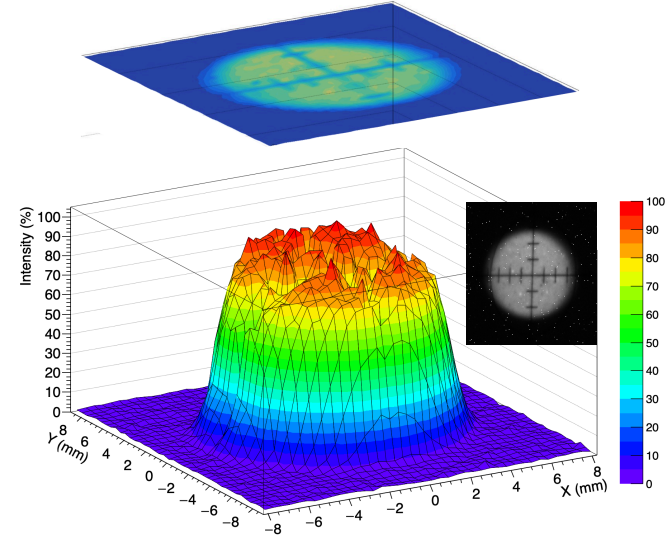




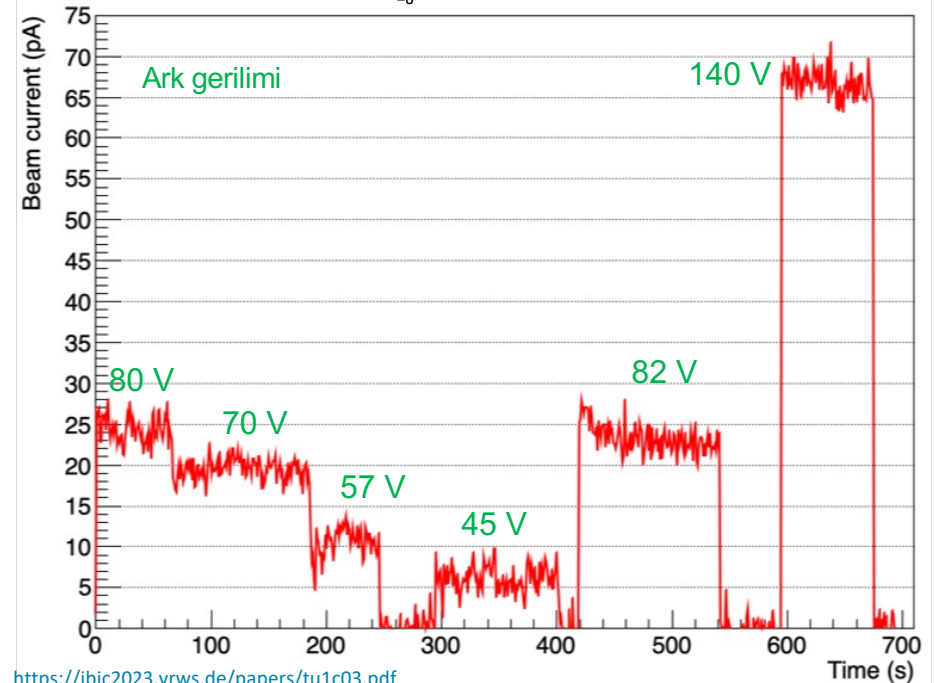
Akım: 4 çeneli kolimatör ve 2 FC

Boyut ve profil: 2 demet ekranı ve CMOS kamera

pA- μ A akım ölçümü, %90 homojenite @ 8 mm (10 mm çap)



doi.org/10.1016/j.nima.2020.164290



<https://ibic2023.vrws.de/papers/tu1c03.pdf>

R&D PLC
Ayarlar
Gecmis

Havada Isinlama Duzenegi

Kati Hedef Isinlama Duzenegi

INPUTS	OUTPUTS
IBA Cell FC IN ●	PHT BEAM READY P1
IBA BEAM ON P1 ●	
IBA BEAM ON P3 ●	
IBA vakum OK ●	PHT BEAM READY P3
ArGe vakum OK ●	
Basincli hava ●	

pkr
ikr

Xkr251

0.0e+00 mBar

Hedef akim 10.00

FC2 toplam 0.00 uAs

FC2 akim 0.00 nA

FC2/FC1 0.0 %

FC1 Akim 0.00 nA

Karbon Degrader Sicaklik 26.9

Sicaklik 24.7 C

Kolimator

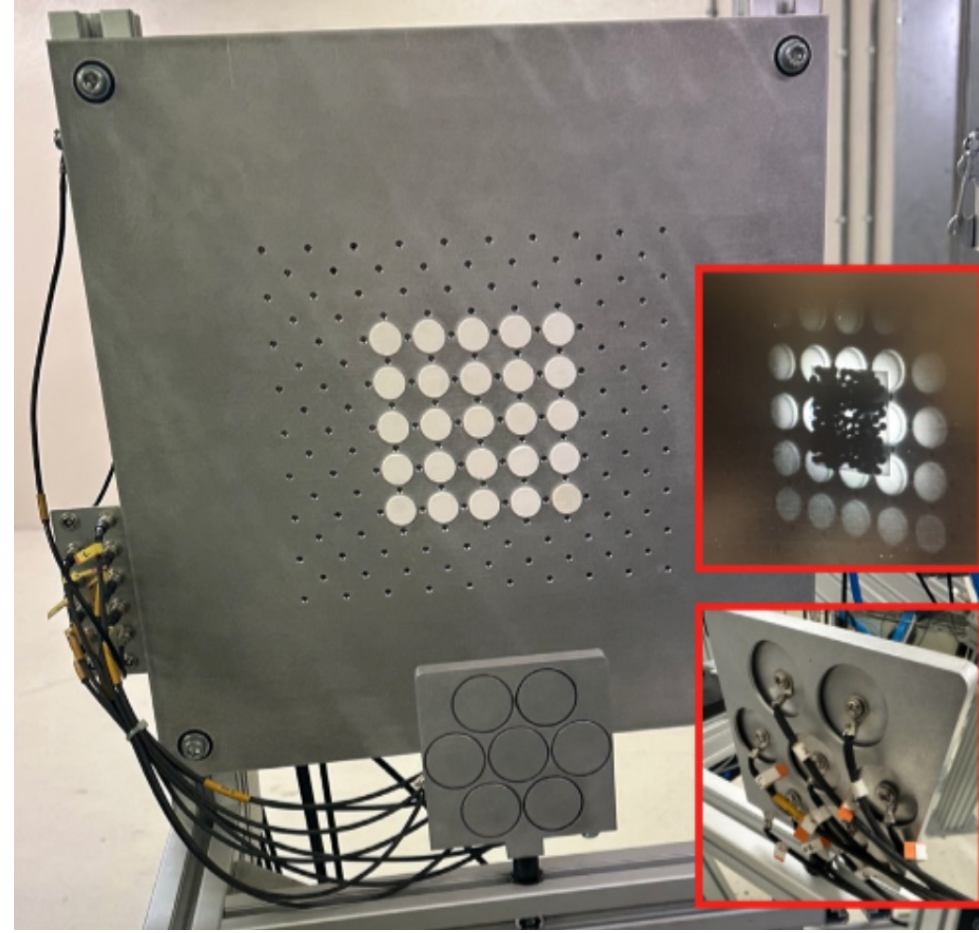
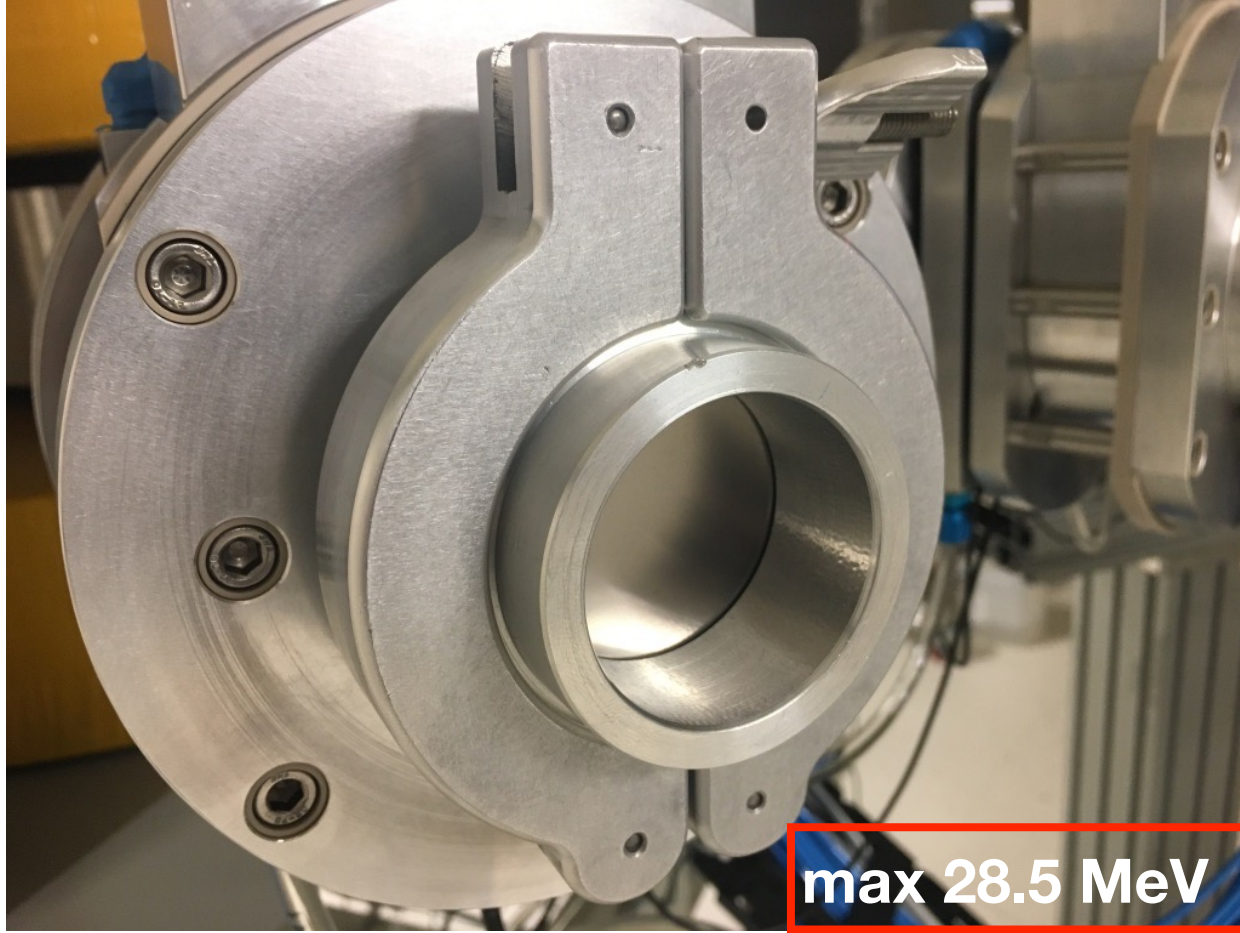
Vakum Kontrol

Pirani 0.0e+00 mBar

Penning 0.0e+00 mBar

APG 0.0e+00 mBar

Sistemi durdur

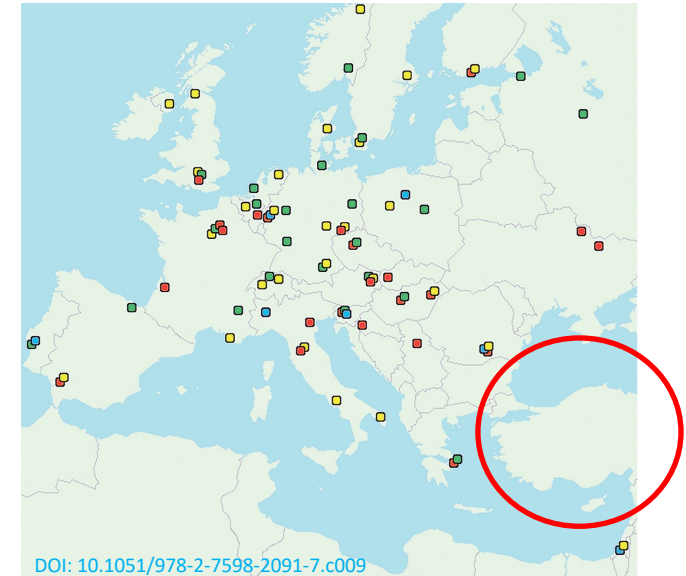
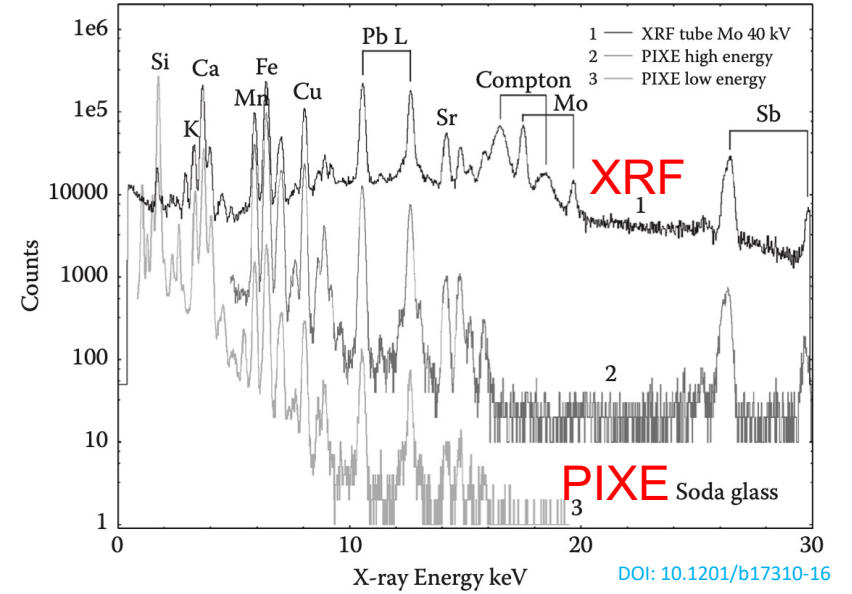
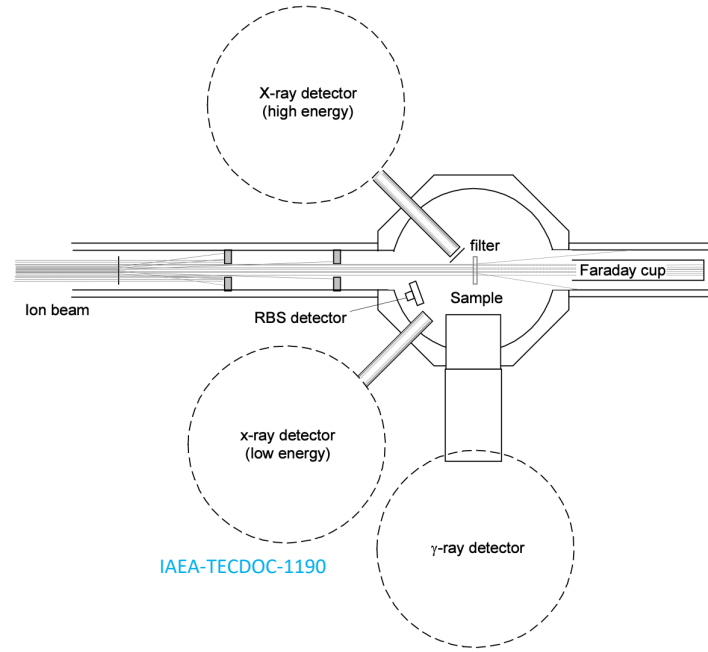


- Ta folyo (70 mm çap, 100 μ m kalınlık)
- 8 kanallı profil ölçüm peteği ve Al₂O₃ diskler

Tahribatsız analiz (PIXE/PIGE/RBS) Motivasyon

Protonlar ile tahribatsız analiz:

- Tarihi eserler ve kültürel miras
- Adli bilim
- Yarı-iletken teknolojisi
- Çevre bilimi
- Maden arama
- Bitki ve hayvan biyolojisi
- Tıp, vb.



İyon demetleri ile tahribatsız analiz ülkemizde yapılamıyor.

Tahribatsız analiz (PIXE/PIGE/RBS) Enerji düşürücü

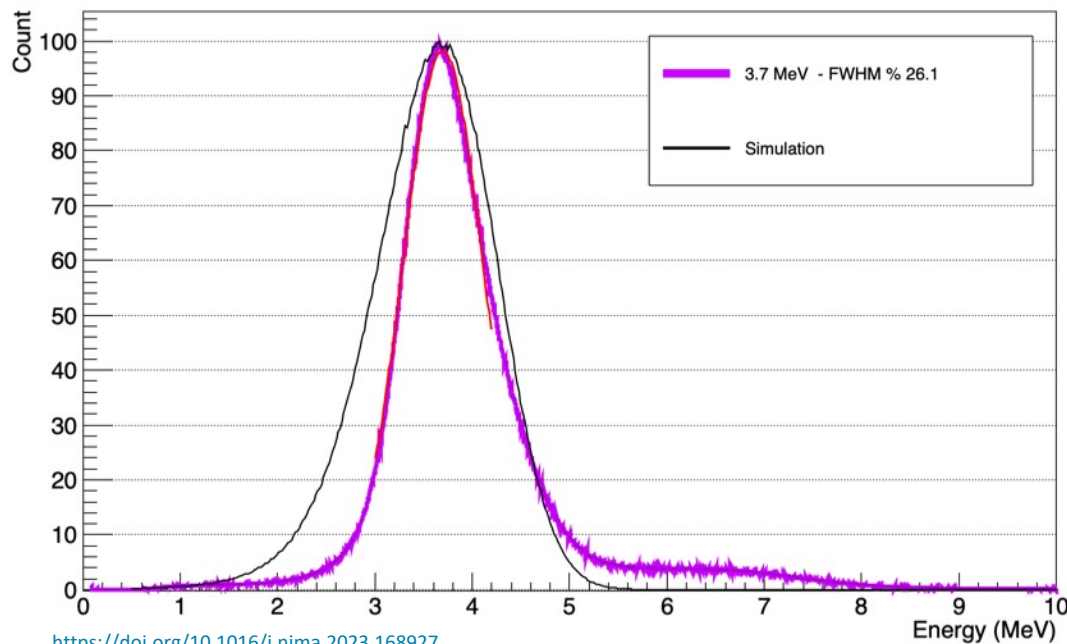
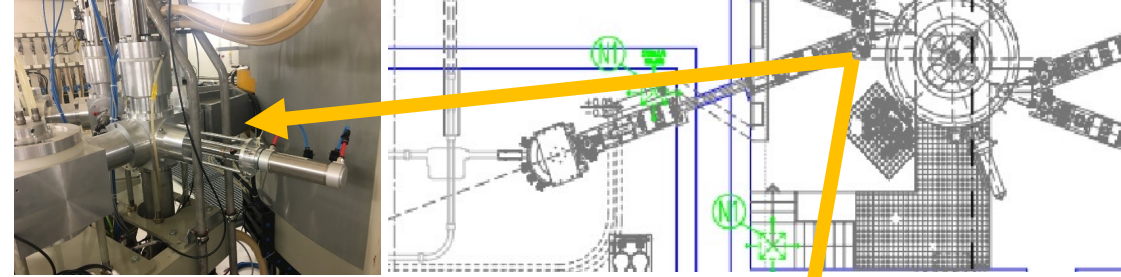
Grafit folyo seti (toplam: 1.3 mm): yüksek erime derecesi

Aluminum kolimasyon: düşük radyoaktivite

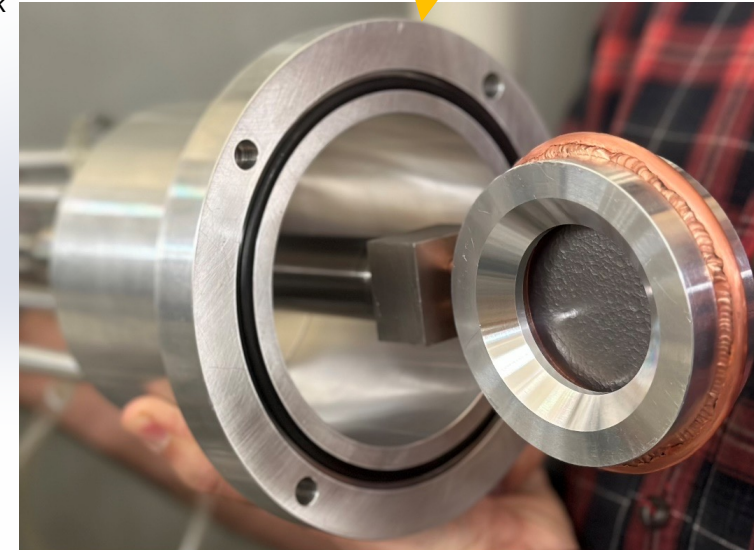
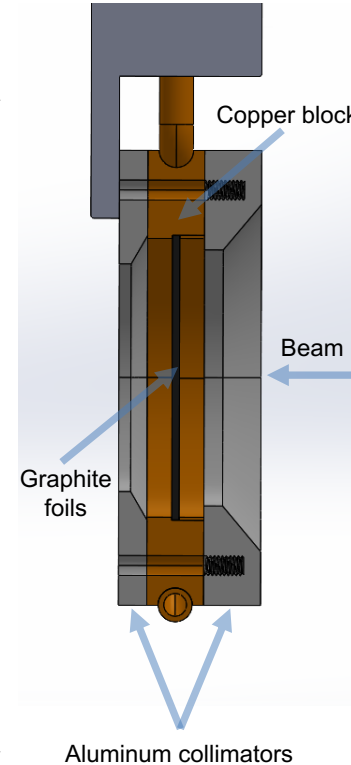
Bakır folyo tutucu: hızlı soğutma (kaynaklı bakır boru)

Siklotron demeti -> 3 MeV

550 kat gama/nötron doz hızı düşüşü



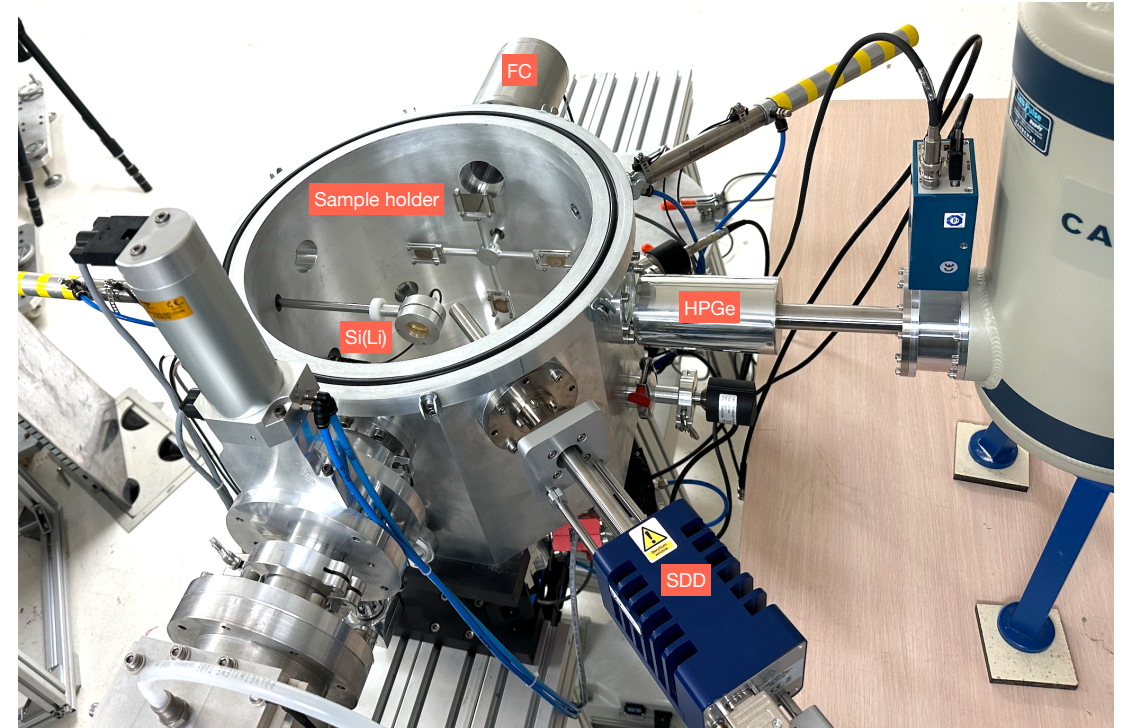
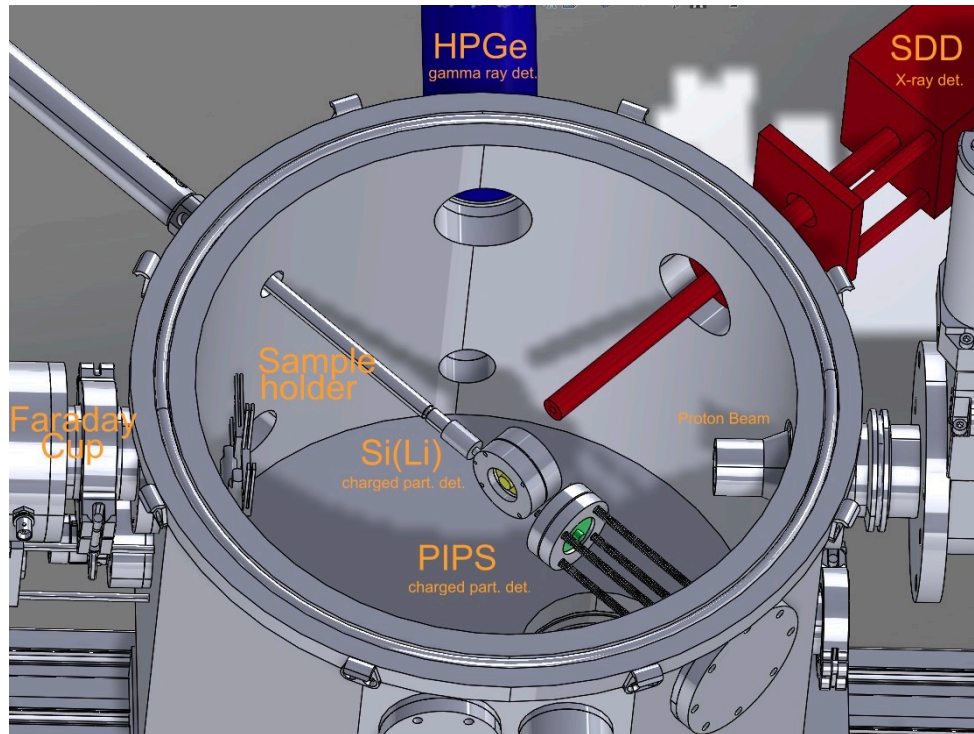
<https://doi.org/10.1016/j.nima.2023.168927>

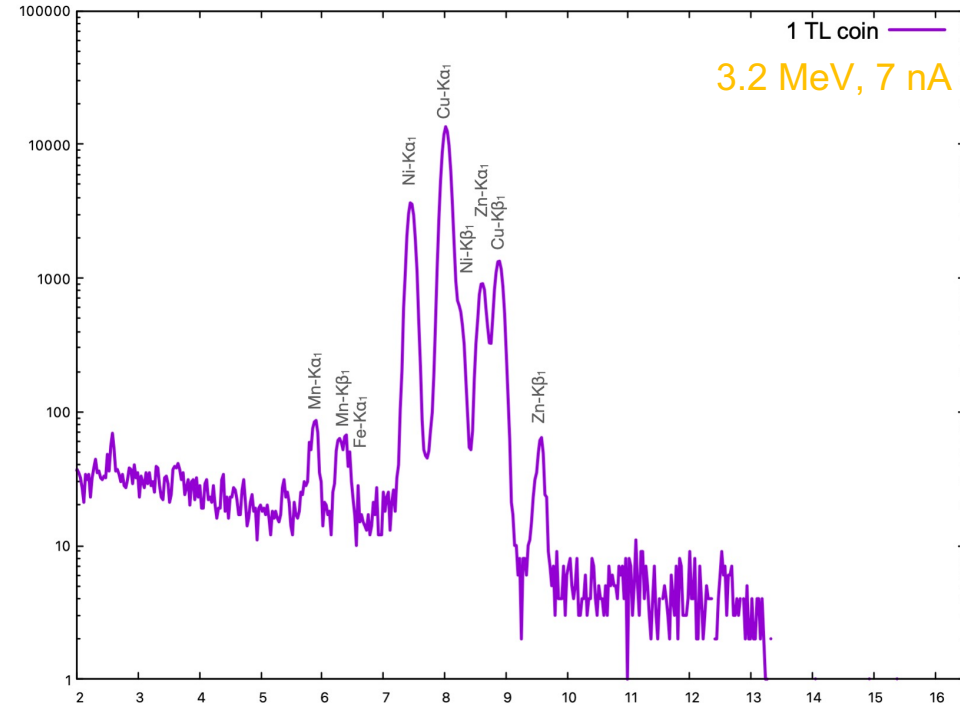
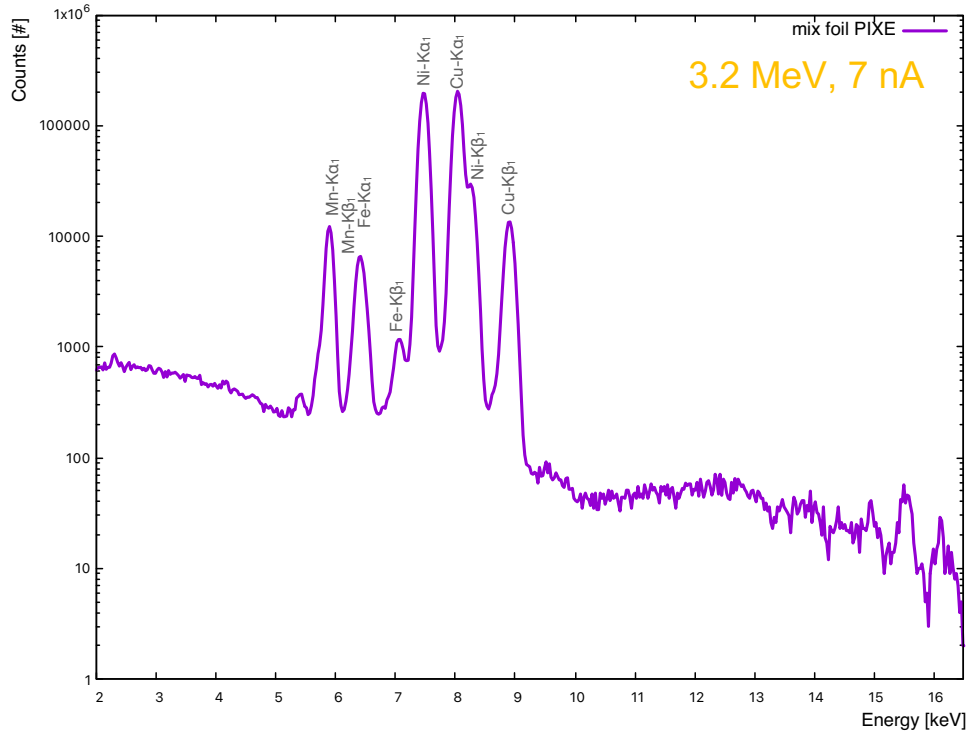


SDD (Rayspec), 133 eV FWHM at 5.895 keV with 40 mm² active area and 8 μm Be window: PIXE

HPGe n-type (Mirion), 2.1 keV FWHM at 1332 keV and % 30 relative efficiency with carbon-fiber endcap: PIGE

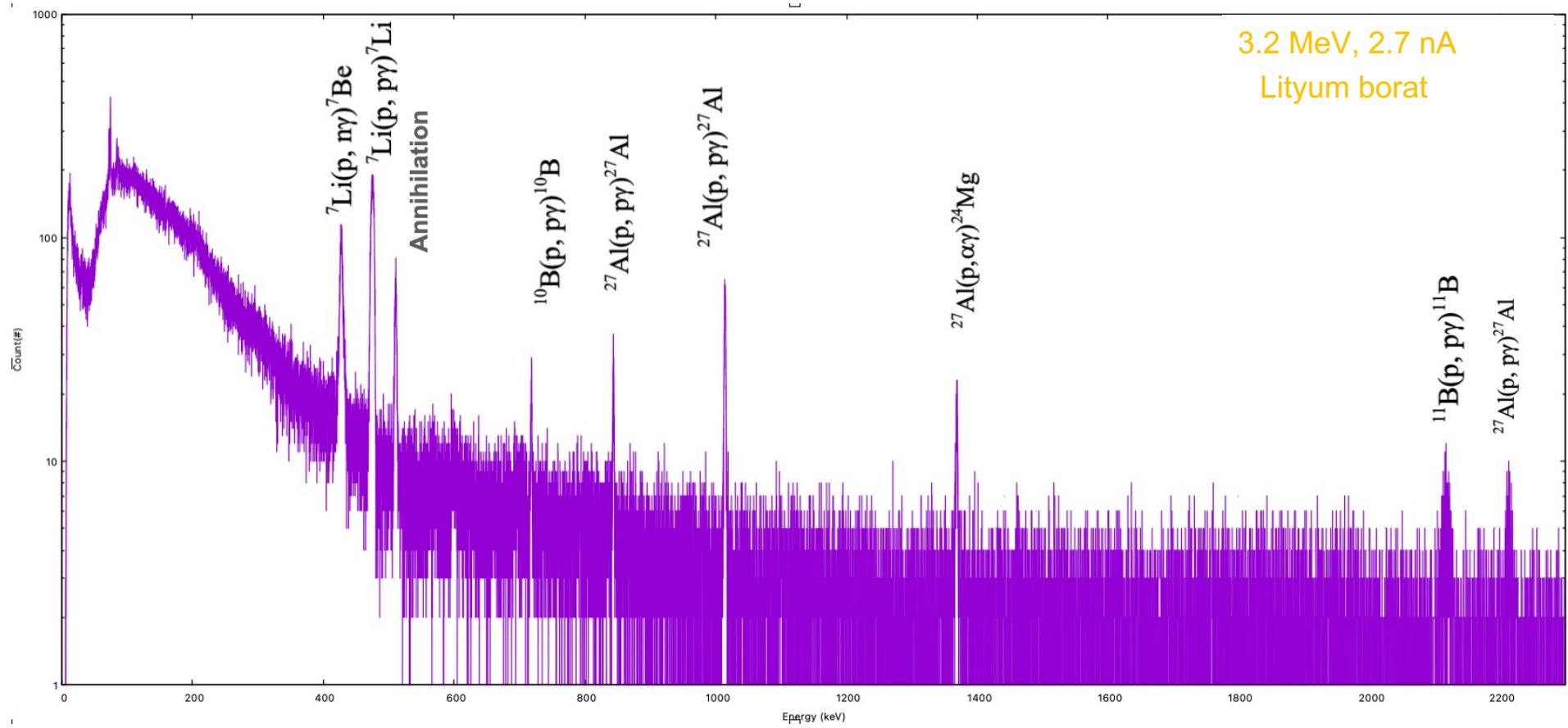
PIPS (Ortec), 19 keV FWHM at 5.486 MeV with 150 mm² active area and 500 μm depletion depth: RBS

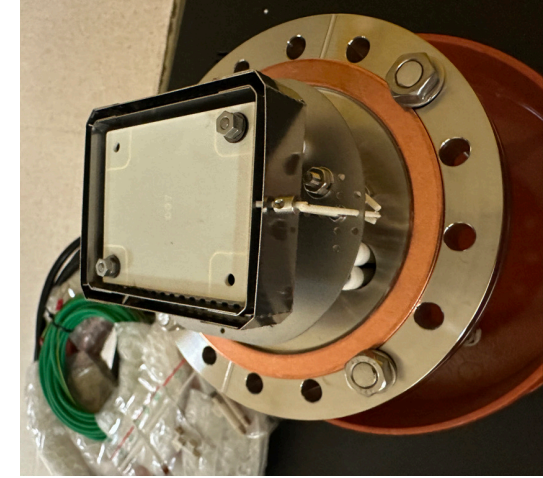
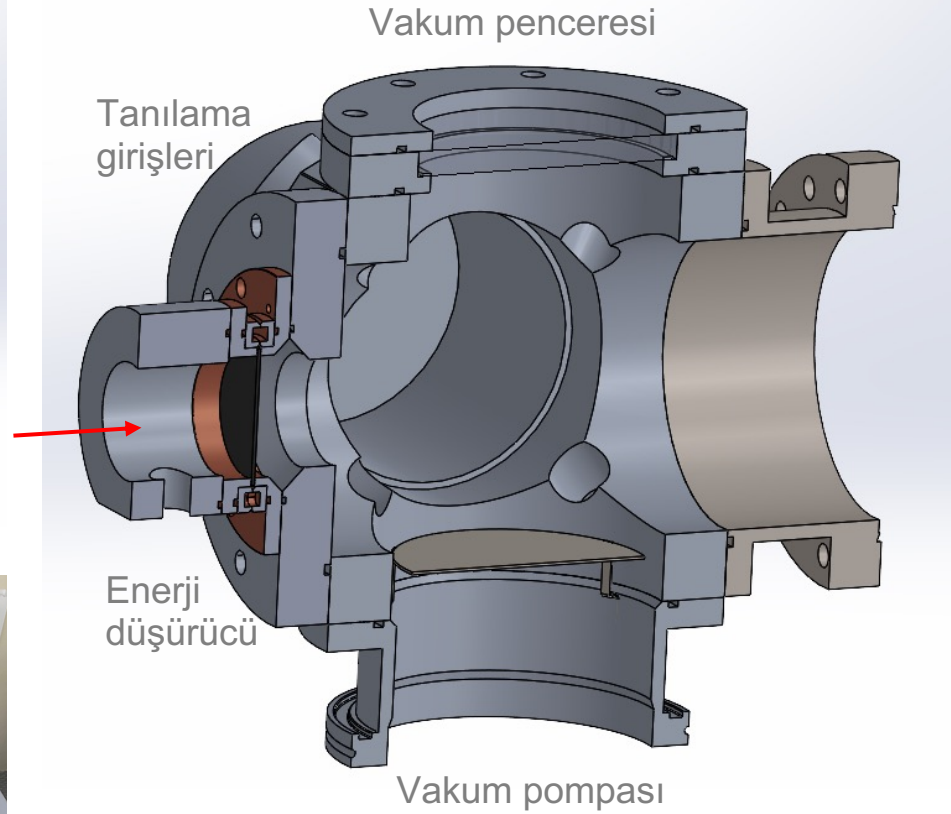
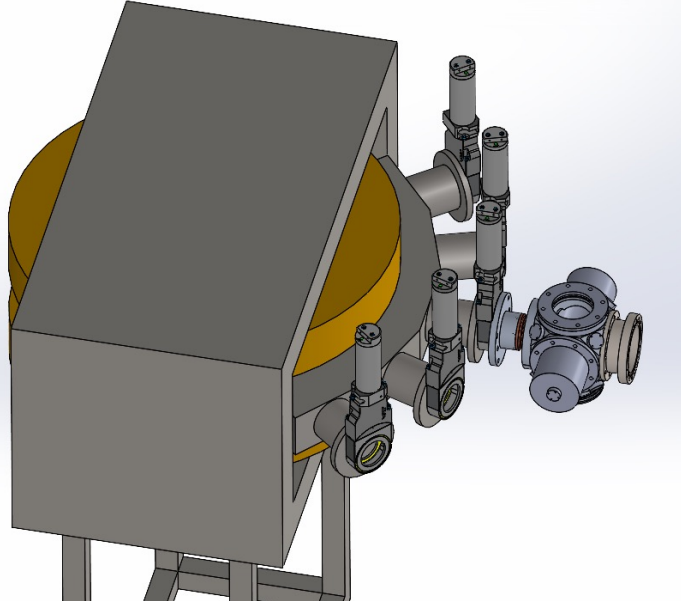




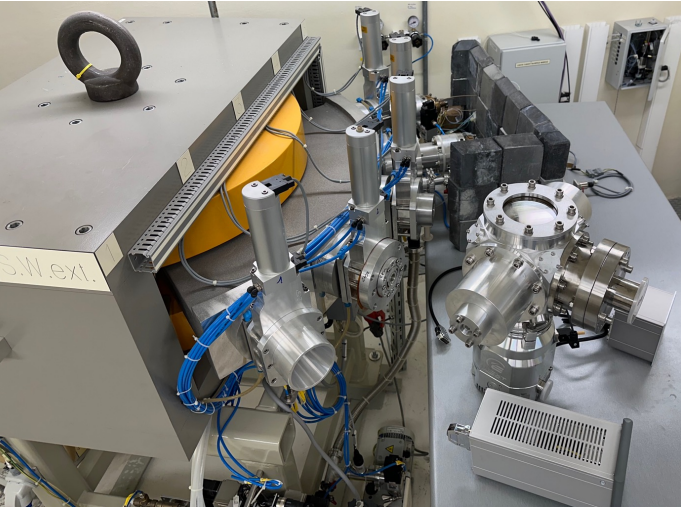
Element	XRF(%)	Unc.(±)	PIXE(%)	Unc.(±)
Copper	56.17	N.A	56.16	0.22
Nickel	41.66	N.A	41.95	0.17
Manganese	1.29	N.A	1.23	0.008
Iron	0.68	N.A	0.57	0.005

Element	1 TL(2009)		1 TL(2015)		1 TL(2022)	
	PIXE %	XRF %	PIXE %	XRF %	PIXE %	XRF %
Copper	73.2	71.78	71.22	70.56	76.70	72.63
Nickel	14.37	15.63	14.78	16.34	15.02	15.96
Zinc	9.12	9.53	8.74	9.13	8.57	8.50
Manganese	0.14	0.13	0.33	0.262	0.15	0.12
Iron	0.17	0.17	0.46	0.44	0.07	0.05





UHV Numune ısıtıcı
1200°C
2.5 x 2.5 cm²

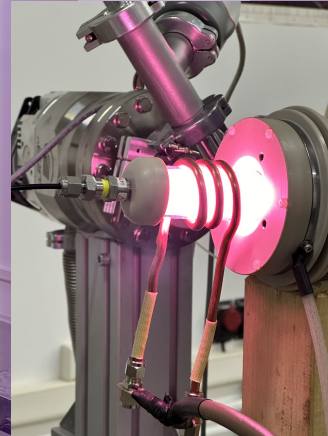


150 m² laboratuvar alanı

Yüksek gerilim, RF güç ve vakum sistemleri

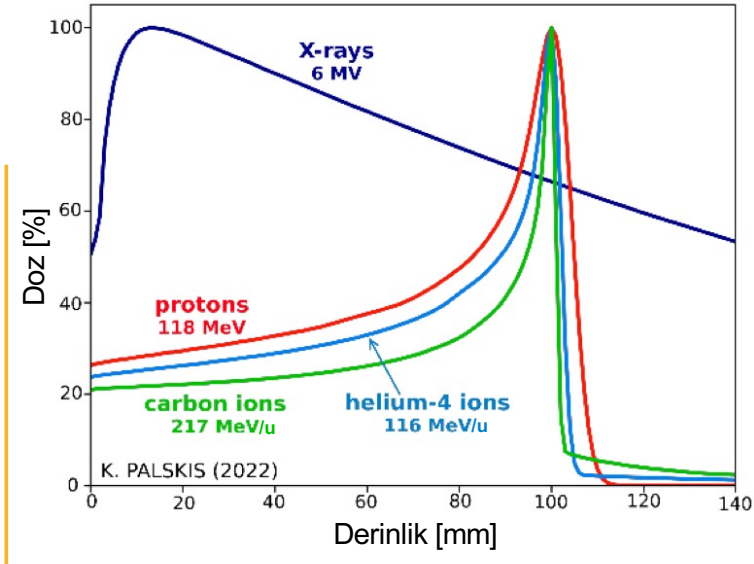
Elektrik, havalandırma, vb. altyapı ihtiyaçları tamamlandı.

Su soğutma sistemi kurulumu devam ediyor!



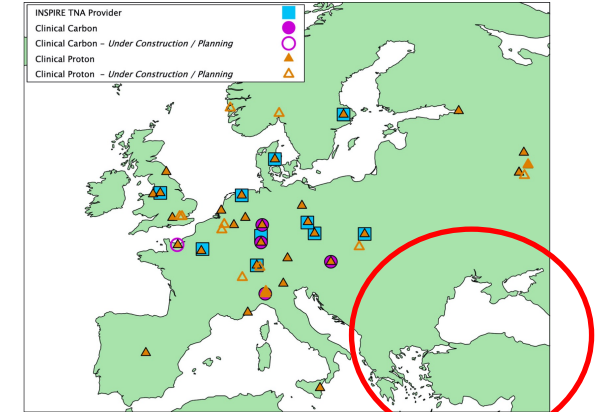
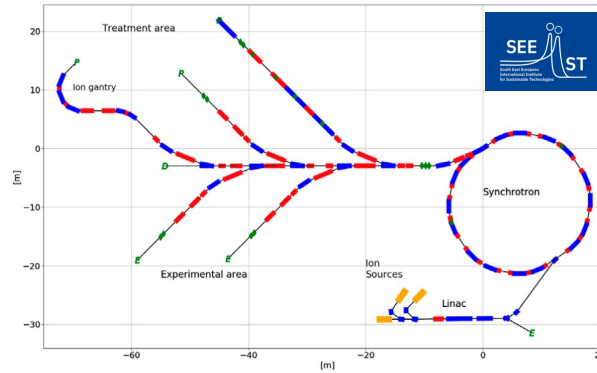
► Hadron tedavi

- Proton demeti ile kanser tedavisi ilk kez 1954 yılında
Protonlar ile kanser tedavi merkezi ~90 adet*
Ağır iyonlar ile kanser tedavi merkezi 14 adet (+5 inşa)*
C iyonları protonlara göre daha etkili
- keskin doz profili
 - radyasyona dirençli tümörler



► Doğrusal hızlandırıcı - RFQ

- C ve He için henüz tedavi amaçlı siklotron yok -> Süper-iletken teknoloji.
Enjektör 7 MeV/u (5-10 m) + Sinkrotron 430 MeV/u (çap: 25 m)
Enerji değiştirebilme frekansı -> «3D dose painting»
Siklotron (50 ms), Sinkrotron (1-2 s), Linak (3 ms)



doi: 10.3389/fphy.2020.565055

► CERN ve SEEIIST

- Balkanlarda hadronlar ile kanser tedavi merkezi ihtiyacı var (yılıda ~3000 hasta**)
SEEIIST (South East European International Institute for Sustainable Technologies) ve CERN işbirliği

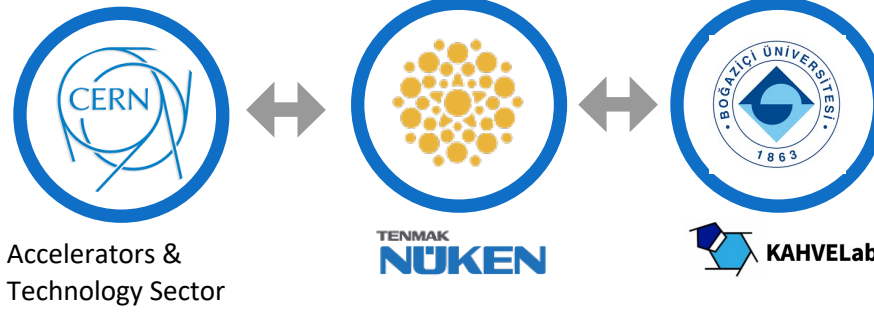
* <https://www.ptcog.site/index.php/facilities-in-operation-public>

** <https://doi.org/10.1016/j.adro.2021.100772>

Tıbbi amaçlı ağır iyon hızlandırıcısı geliştirme çalışmaları



The Next Ion Medical Machine Study
Partner -> TENMAK



2023-2025 (30 ay)

Frequency (MHz)	Ion	Current (mA)	Input energy (keV/u)	Output energy (MeV/u)	Emittance n.rms (urad)
352	C4+	1	15	1	0.2

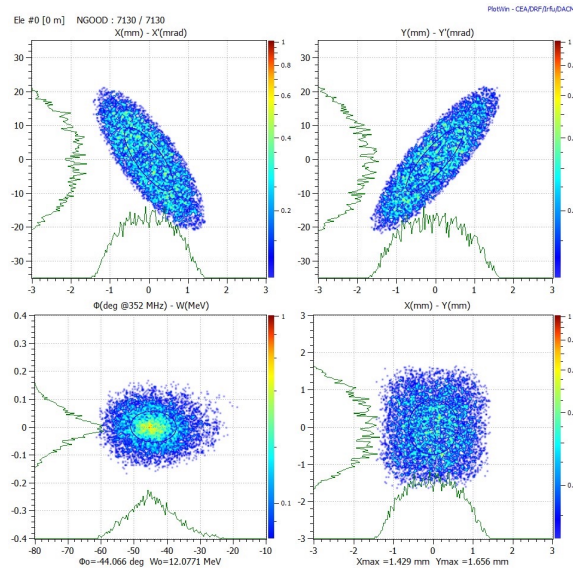
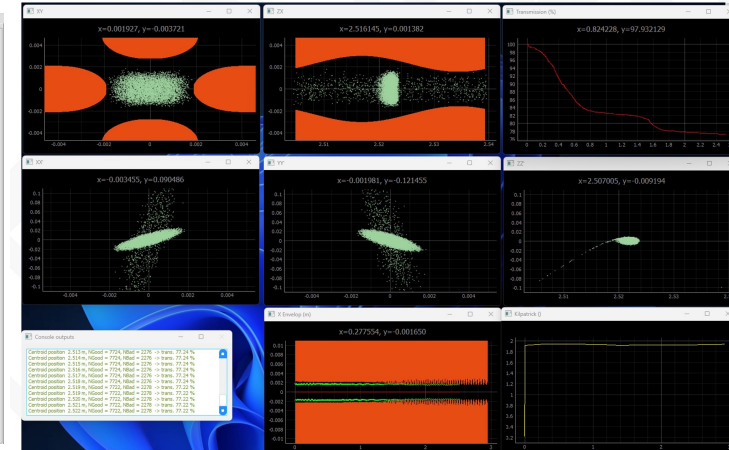
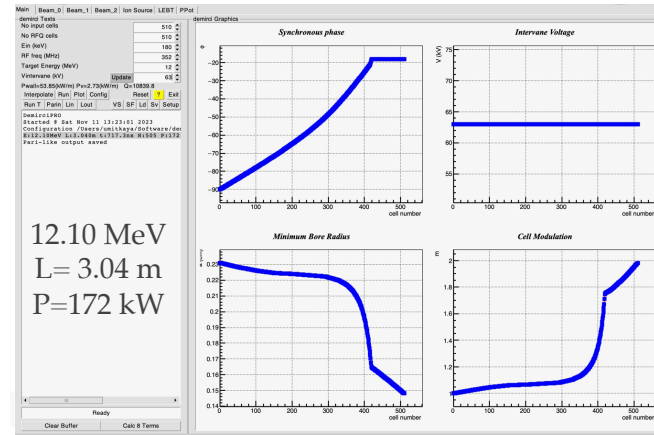
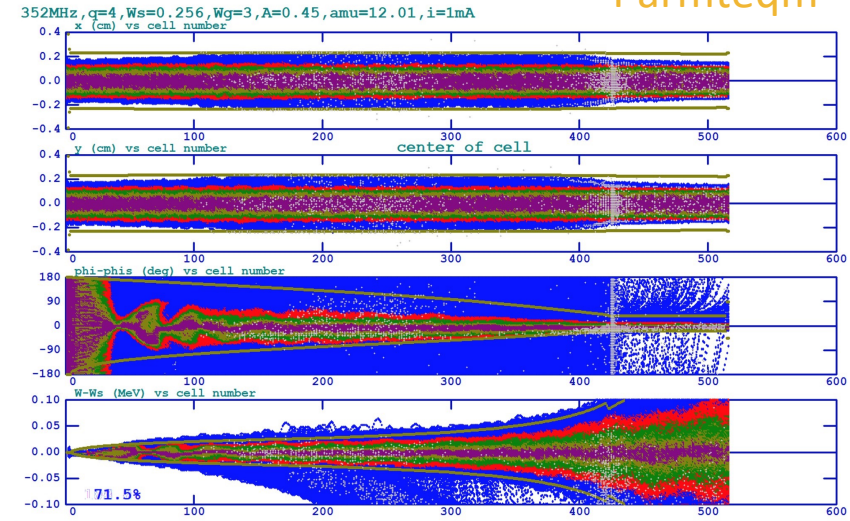
	Vv [kV]	Kilpatrick [*KP]	r0 [mm]	Rho [mm]	a [mm]	m[#]	L [m]	T [acc-%]
D1	82	2.05	3.2	2.88	1.4	3.0	7.1	19.4
D2	67	2.00	2.6	2.34	1.2	2.9	5.3	33.1
D3	65	1.95	2.48	2.24	2.0	1.4	4.7	78.4
D4	61	2.02	2.26	2.03	1.7	1.6	3.5	74.8
D5	63	2.05 (Toutatis: 1.95)	2.31	2.08	1.5	2.0	3.0	71.3 (Toutatis: 69)

Quad Frequency (MHz)	Dipole Frequency (MHz)	Kilpatrick [*KP]	Q (#)	P (kW) w/o beam loading
351.99	341.62	1.94	10921	152.91

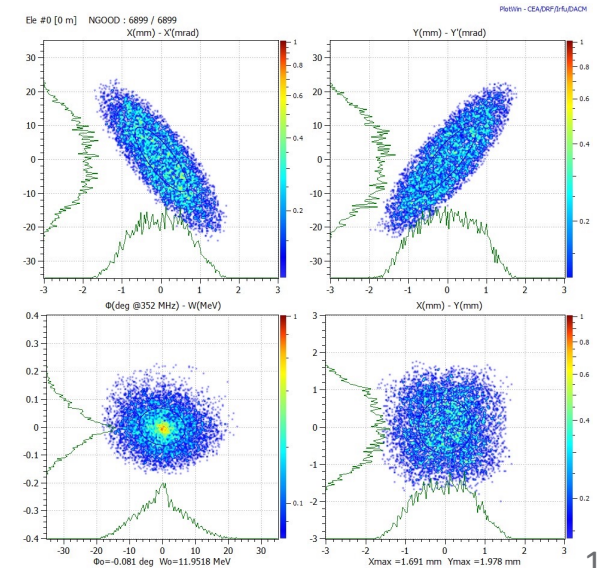
Parmteqm

Demirci

Toutatis



C4+: 12 MeV
He2+: 4 MeV
H+: 1 MeV

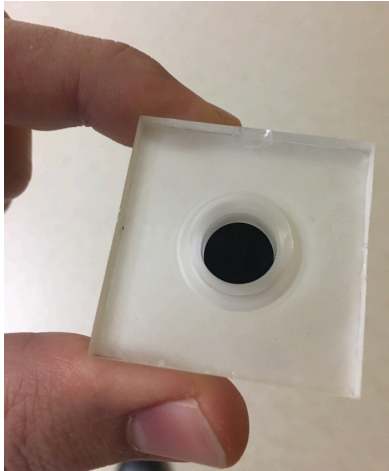




Proton demeti ile Ar-Ge amaçlı ışınlama hizmeti – 75 saat

Proton demeti ile Ge-68 radyoizotopu üretilmesine yönelik ışınlama hizmeti – 50 saat

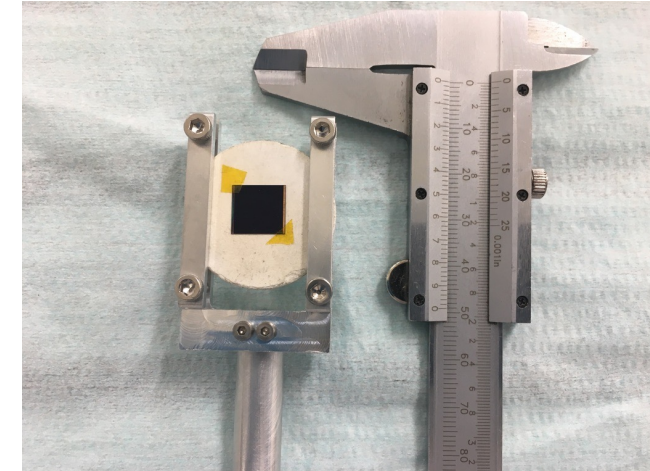
C nanotüp

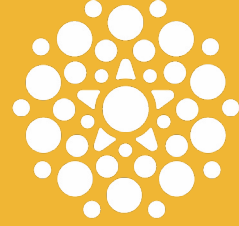


Arpa



Güneş hücresi





TENMAK
TÜRKİYE ENERJİ, NÜKLEER VE
MADEN ARAŞTIRMA KURUMU

TEŞEKKÜRLER
