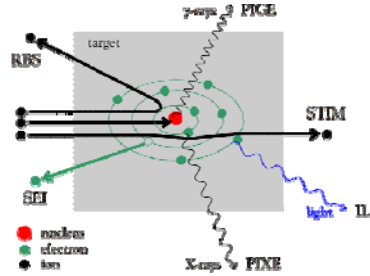




TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi Kapsamı ve Hedefleri



Alper Nazmi YÜKSEL
TAEK-SANEM/ Ankara Üniversitesi

Sunumun Kapsamı

- Siklotron tipi hızlandırıcılar üzerine genel bilgiler sunularak; TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi Projesinin kapsamı, proje ile amaçlanan kazanımlar, yapılacak tesisin imkan ve kabiliyetleri, projede son durum,
- TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisinin teknik özellik ve parametreleri dahilinde, tesiste kısa ve uzun vadede gerçekleştirilmesi hedeflenen gerek üretime yönelik gerekse ARGE maksatlı çalışmalar hakkında bilgi aktarılmaya çalışılacaktır.



İçerik

- Siklotron Tipi Hızlandırıcılar
 - Giriş ve Tanım
 - Tarihsel Gelişim
 - Siklotron Fiziğinin Esasları
 - Siklotron Türleri
 - Siklotron Alt Sistemleri ve Operasyonları
 - Siklotronların Kullanım/Uygulama Alanları
- TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi Projesi
 - Kapsam
 - Vizyon
 - Öncesi
 - Mevcut Durum
 - Mimari Özellikler
 - Teknik Özellikler
 - Yapılması Planlanan Çalışmalar
- Sonuç Değerlendirme



Giriş

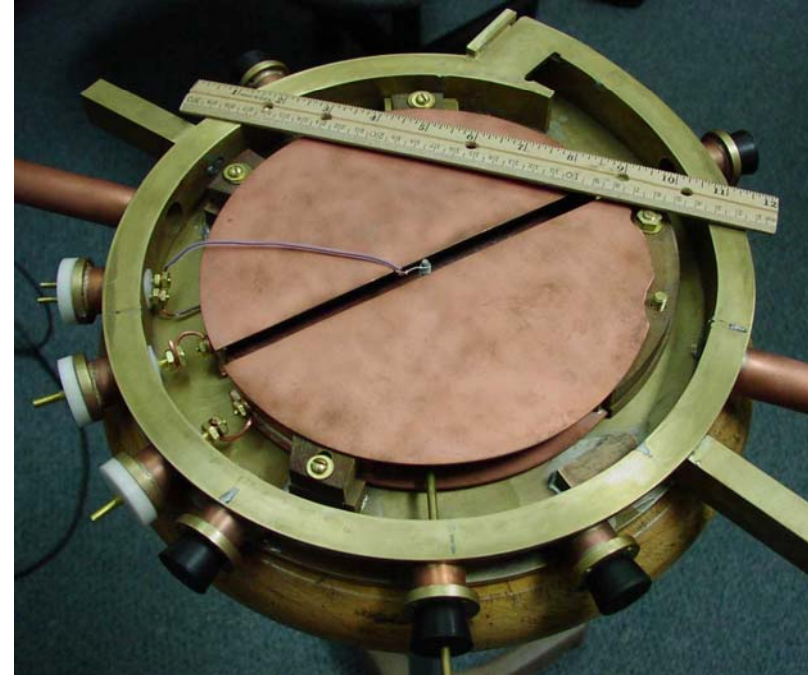
- Hızlandırıcılar yeni uygulama alanlarının ortaya çıkması ile günümüz kritik teknolojileri arasındaki yerini almıştır.
- Bugün itibariyle hızlandırıcıların 400'den fazla uygulama alanı mevcut olup, doğrusal ya da dairesel tiplerde toplam 15.000'den fazla parçacık hızlandırıcısı bulunmaktadır.
- Boyutları itibariyle küçük dairesel hızlandırıcılar grubunda kabul edilen ve daha çok hızlandırılmış ağır parçacıklara ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılan hızlandırıcı türlerinden birisi de **Siklotronlardır**.

HIZLANDIRICILARIN KULLANIM ALANLARI	SAYI
İyon implantasyonu	7000
Radyoterapi	5000
Endüstriyel uygulamalar	1500
İzotop üretimi	200
Parçacık ve nükleer fizik	110
Sinkrotron ışınımı ve FEL	70
Hadronterapi	20
Diğer	1000

Siklotron Tipi Hızlandırıcılar

Siklotronun Tanımı

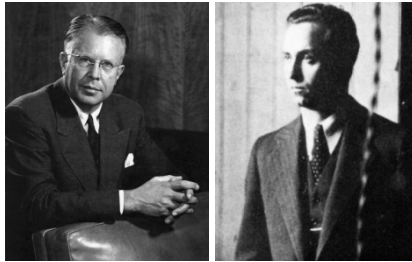
- Siklotronlar tek adımlı elektrostatik hızlandırıcıların alternatifi olarak ortaya çıkan dairesel hızlandırıcılardır.
- Siklotronlar;
 - sabit manyetik alanlı,
 - sabit hızlandırma frekanslı,
 - spiral yörüngeli,
 - ağır parçacık hızlandırıcılarıdır.
- Radyoizotop üretimi, kanser tedavi çalışmaları, endüstriyel uygulamalar ile yüksek enerji fiziği ve nükleer fizik araştırmalarında kullanılmaktadır.



Siklotron Tipi Hızlandırıcılar

Siklotronun Tarihsel Gelişimi

- **1931;** İlk tasarım Lawrence ve Livingston
- **1933;** 1.1 MeV (11 inç, 13 kg, 1.3 T)
- **1935;** H⁺, 3.6 MeV (27 inç ve 80 ton)
- **1937;** 37 inç'lik siklotron
- **1939;** 60 inç'lik siklotron
- **1941;** Radyoizotop üretimi
- **1944;** 100 MeV, 180 inç'lik FM-siklotron
- **1960;** Radyoaktif etiketleme/radyoterapi
- **1963;** İzokron siklotron
- **1968;** Ayrılmış sektör siklotronları
- **1982;** Süperiletken siklotronlar
- **1990;** Proton terapi çalışmaları
- **2000;** Booster siklotronlar
- **2010;** Ağır iyon uygulamaları

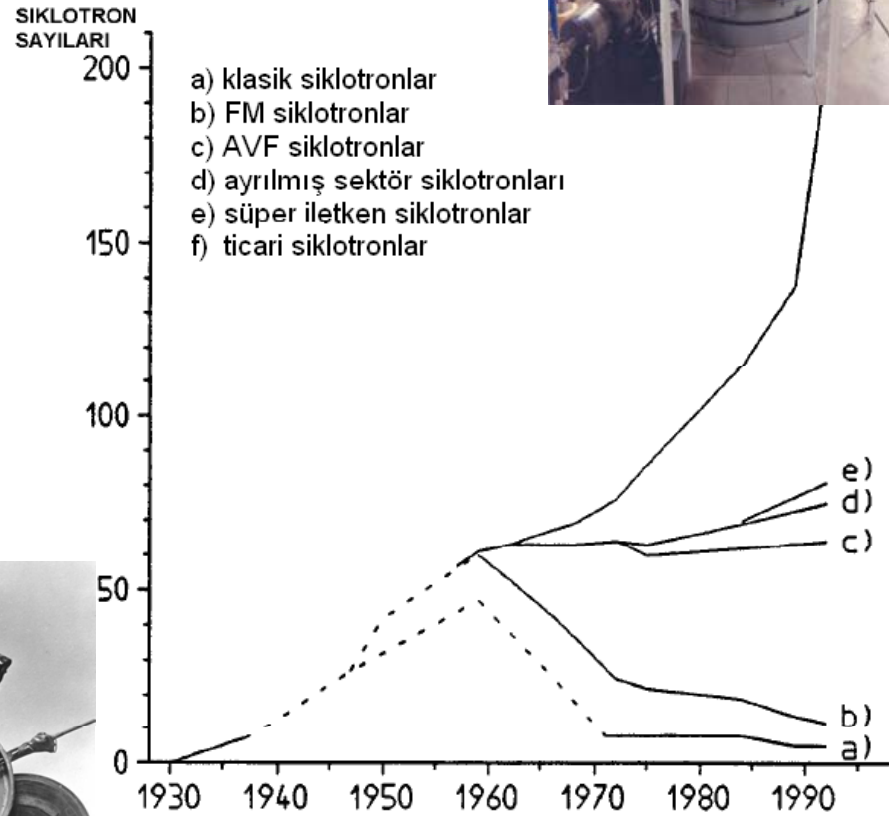


Lawrence ve Livingston

10.09.2009



1931- H⁺, 0.8 MeV (4.5 inç)

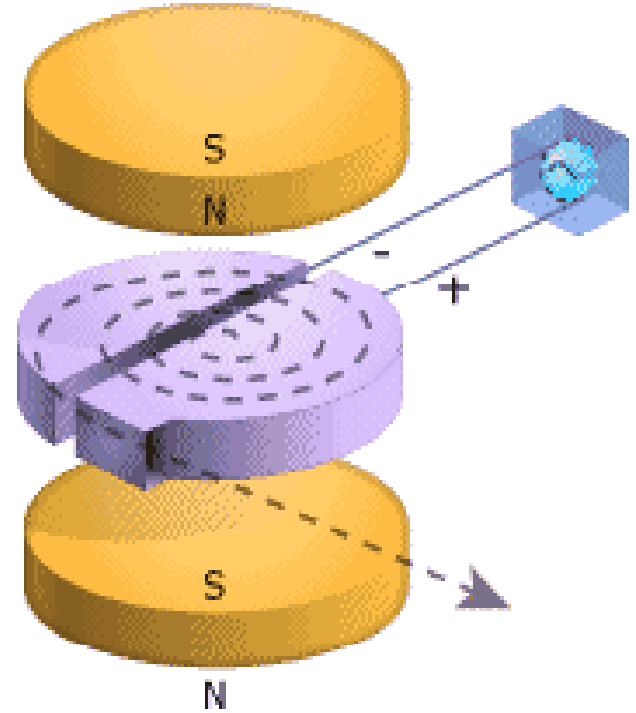


Alper Nazmi Yüksel

Siklotron Tipi Hızlandırıcılar

Siklotron Fiziğinin Esasları

- Parçacık demetleri belirli bir hızlandırma düzeneğinden defalarca geçirilerek hızlandırılmaktadır.
- Yüklü parçacıklar;
 - dairesel yörüngelerde,
 - manyetik alan şiddetine bağlı bir dönme frekansında,
 - parçacıkların dolanım frekansı ile uyumlum bir elektrik alanı etkisinde,
 - ardışık hızlandırma işlemlerine tabi tutulmaktadır.



Siklotron Tipi Hızlandırıcılar

Siklotron Fiziğinin Esasları

RÖLATİVİSTİK OLMAYAN EN GENEL DURUM

$$\vec{F} = \frac{mv^2}{r} \hat{r} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

RF Frekansı:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$f_{par} = \frac{qB}{2\pi m}$$

harmonik modda hızlandırma

$$\omega = 2\pi f = \frac{q}{m} B$$

$$f_{RF} = Hf_{par}$$

Yörünge Yarıçapı:

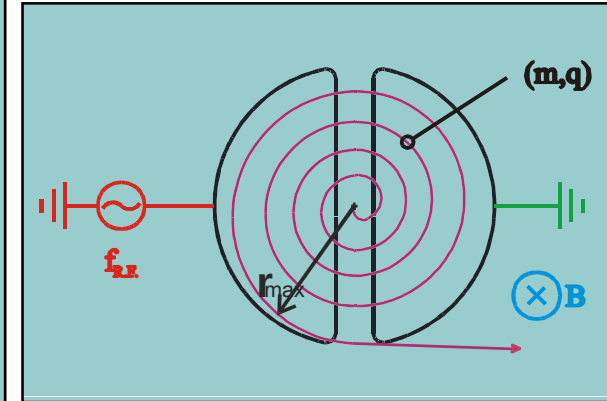
$$r = \frac{mv}{qB} \quad r_{max} = \frac{mv_{max}}{qB}$$

Kinetik Enerji:

$$v = \frac{qBr}{m}$$

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m \left(\frac{q^2 B^2 r^2}{m^2} \right)$$

$$KE_{max} = \frac{q^2 B_{max}^2 r_{max}^2}{2m}$$





Siklotron Tipi Hızlandırıcılar

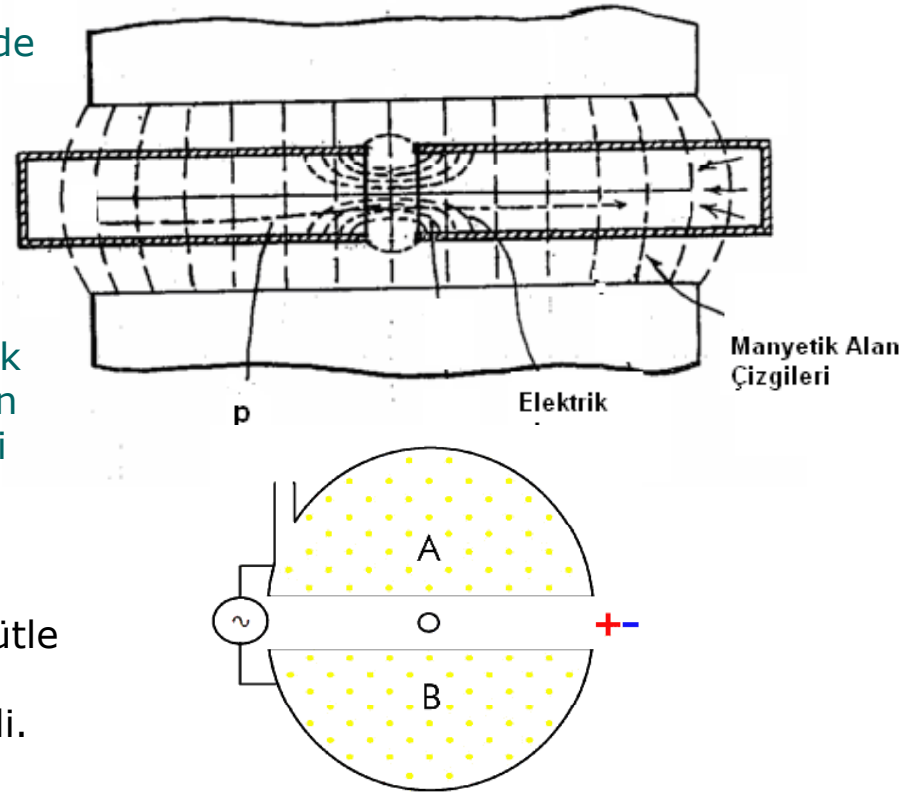
Siklotron Türleri

- Klasik Siklotronlar
- Frekans Modülasyonlu Siklotronlar (Sinkro-Siklotronlar)
- İzokron Siklotronlar (AVF siklotronlar)
- Ayrılmış Sektör Siklotronları
- Süperiletken Siklotronlar

Siklotron Türleri

Klasik Siklotronlar

- Yüklü parçacıklar Dee'ler içerisinde yalnızca manyetik alan etkisinde dairesel bir yörünge izler
- Dee'ler aynı zamanda bir RF sistemine bağlıdır.
- RF Sistemince oluşturulan elektrik alan, Dee'ler arasındaki boşluktan her geçişlerinde parçacıklara belli miktar enerji kazandırır.
- Klasik siklotronlarla rölativistik hızlara ulaşabilmek için; görelî kütle artışı ve odaklama ihtiyacı problemleri çözüm beklemekteydi.



$$f_{RF} = Hf_{par}$$

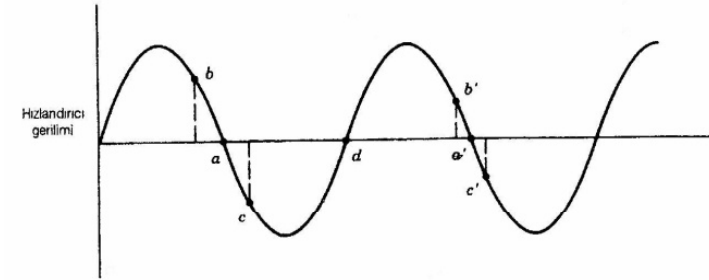
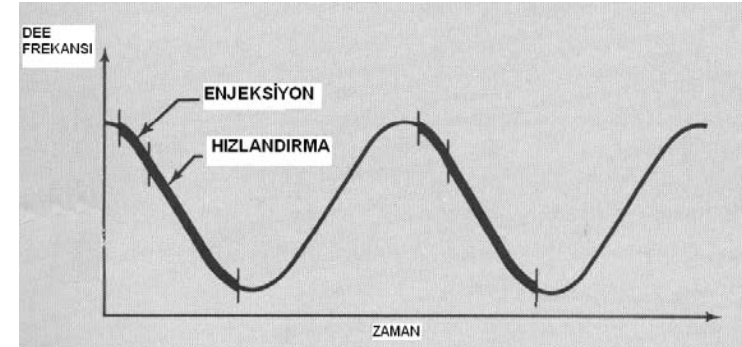
$$f = \frac{qB}{2\pi m}$$

$$v = \frac{qBr}{m}$$

Siklotron Türleri

Sinkro-Siklotronlar

- Klasik siklotronlardaki göreceli kütle artışı ve zayıf odaklama problemi yörünge boyunca değişen bir RF'in kullanıldığı Sinkro-Siklotronlar ile çözüldü.
- Bu sistemlerde eş zamanlı yörünge yarıçapı arttıkça, RF frekansı azalır.
- Hızlandırma işlemi süresince yüklü parçacıklar sürücü RF frekansındaki değişime ve enerji kazanımına karşılık gelen fazda salınırlar.
- Bu nedenle faz odaklamalı siklotronlar olarak da bilinirler. Parçacıklar faz kararlılığı etkisi ile hem hızlandırılır, hem de gruplandırılırlar.



$$f_{rf} = \frac{ZeB}{2\pi\gamma mc}$$

$$f_{rf} \approx \frac{1}{\gamma(t)}$$

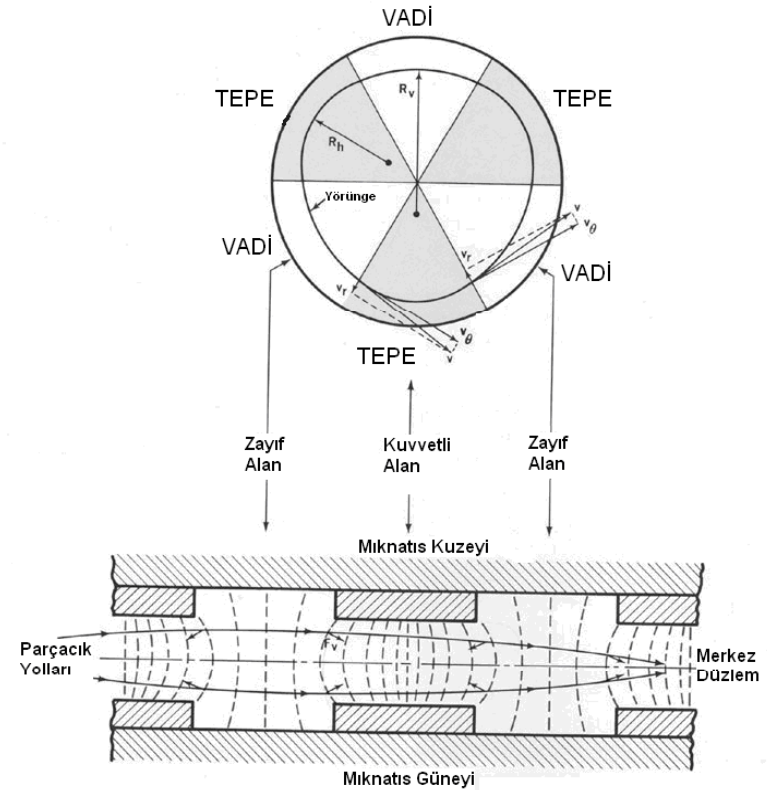
Siklotron Türleri

İzokron-Siklotronlar

- Göreli hızlara yaklaştıkça manyetik alan çizgilerinin içe bükülmesinde kaynaklanan demet dağılımı, bu defa birden çok mıknatıs yapının kullanılarak odaklama etkisinin bölür bölüm iyileştirilmesi ile çözülmüştür. Bu ise manyetik alanın yüksek ve düşük değerli ardışık bölgelere ayrılması, yani sürekli değiştirilmesi anlamına gelmektedir.

$$f_{rf} \sim \frac{B[r(t)]}{\gamma(t)} = \text{sabit}$$

- AVF siklotronların sinkro-siklotronlara göre en büyük avantajı; sürekli demet yapısı ve dolayısıyla daha yüksek demet yoğunluğu sağlamasıdır.



Siklotron Türleri

Ayrılmış Sektör Siklotronları

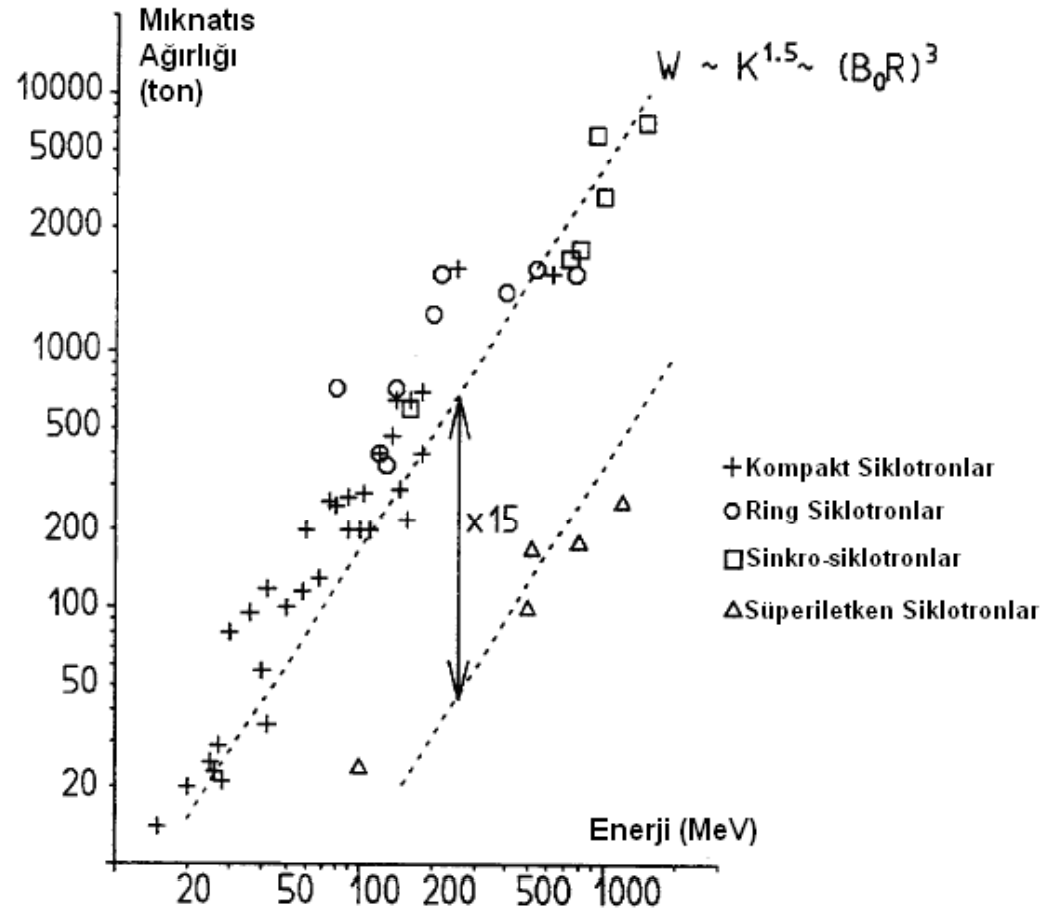
- Yüksek enerji fiziğindeki “mezon fabrikası yarışları” bu siklotronlar ile başlamıştır. Esas amaç nükleer/parçacık fiziği deneylerinde kullanılacak büyük akıllı pion ve müon demetlerini üretmektir.
- Bu siklotronlarda, mıknatıslar arasındaki boşluklara Dee’ler yerine, RF rezonatörler yerleştirilmiştir. Böylece daha yüksek enerjiler küçük çıkış demeti kayıpları ile elde edilebilmektedir.

Siklotron Parametreleri	PSI-I İzokron siklotron	PSI-II Ayrılmış sektör siklotronu
Dönüş sayısı	500	100
Mıknatıs -kutup yapısı -ağırlık - B_{av} , B_{maks}	Tek kutup, $\phi=2.5$ m 470 t <1.6 T, 2.0 T<	4 ayr.sekt, R=3.5 4x180 t, 0.36 T, 1.1 T
RF sistemi -maks.hızl.gerilim -frekans	180 ⁰ Dee 2x70 kV 4.6-17MHz, 50 Hz	2 rezonatör 4x250 kV Sabit 50 Hz
İyon kaynağı -dahili -harici	katot	- cusp
Demet Parametreleri		
Proton (E,İ)	72 MeV, maks. 200 μ A	72MeV,maks. 1.6 mA
Değişken Enerji -proton -dötoron -alfa -ağır iyonlar	10-72MeV, maks. 10 μ A 10-65MeV, maks. 10 μ A 20-120MeV, maks. 5 μ A 130x(Z ² /A) MeV	- - - -
Emittans -yatay -dikey	2.4 π mm.mrad 1.2 π mm.mrad	1.2 π mm.mrad 1.2 π mm.mrad

Siklotron Türleri

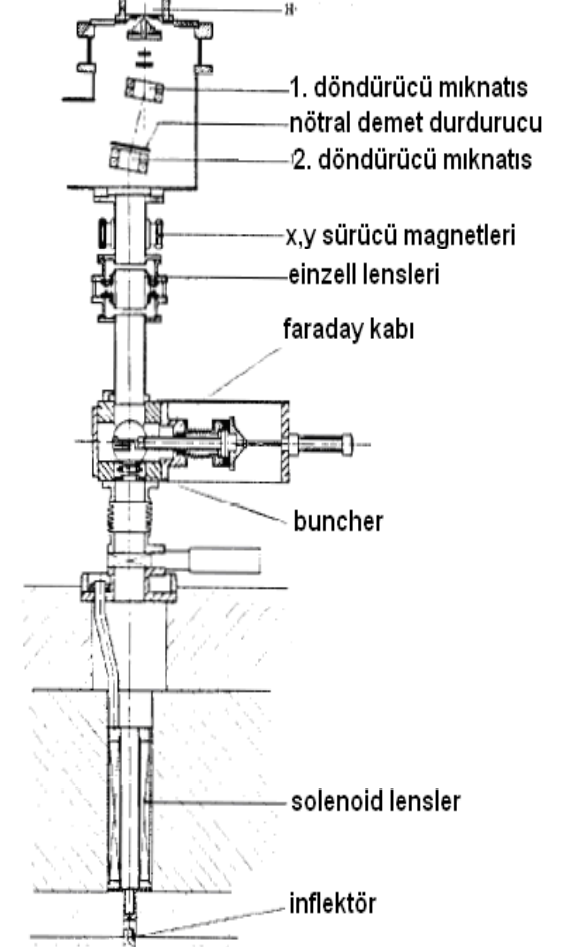
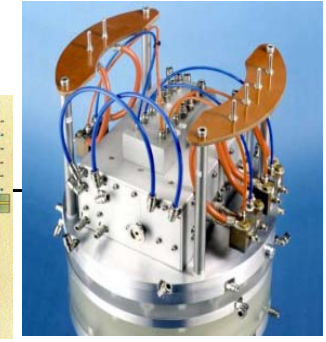
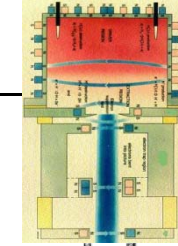
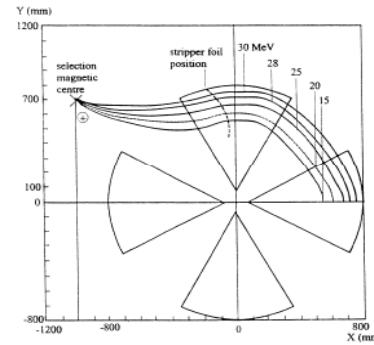
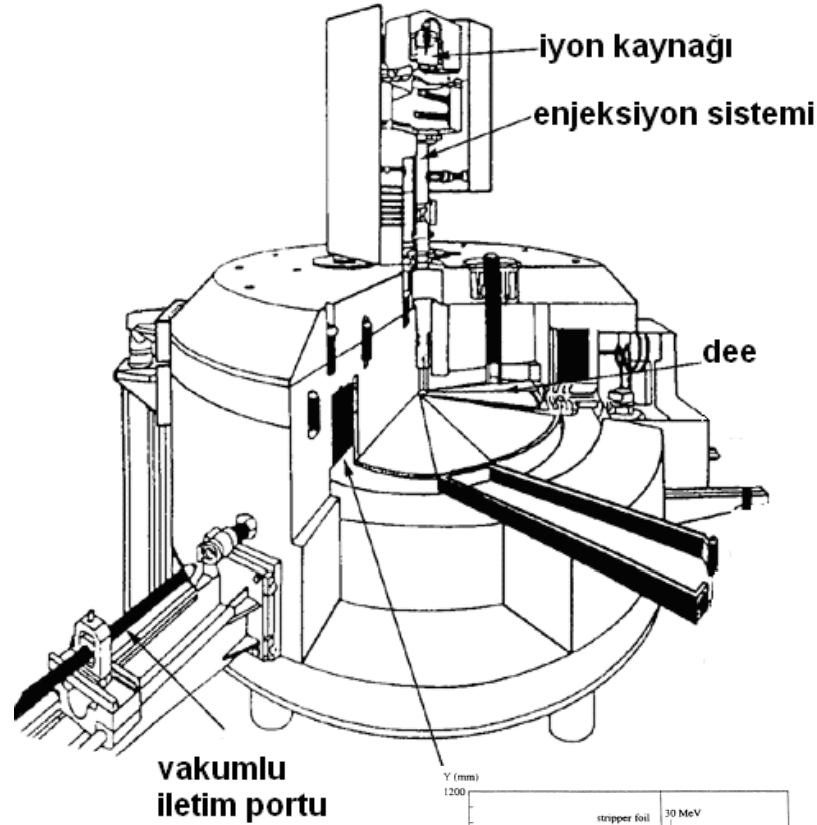
Süperiletken Siklotronlar

- GANIL'deki klasik siklotronla mukayese edildiğinde;
 - yörünge yarıçapı 300 yerine 67 cm,
 - mıknatıs ağırlığı 1700 yerine 100 ton.
- 15 kat daha düşük ağırlıktaki süperiletken mıknatıslar ile aynı demet parametreleri elde edilebilmektedir.



Siklotron Tipi Hızlandırıcılar

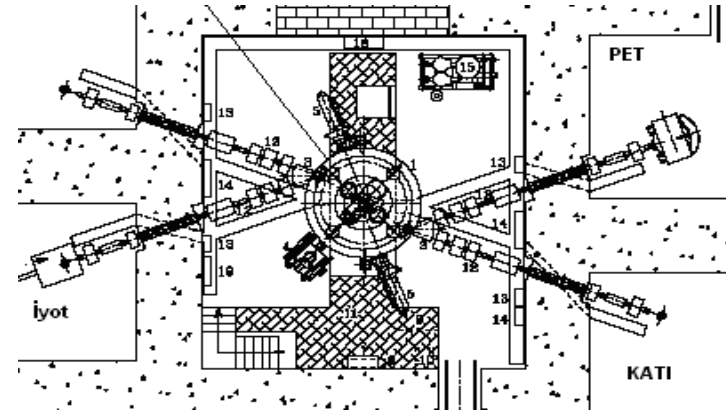
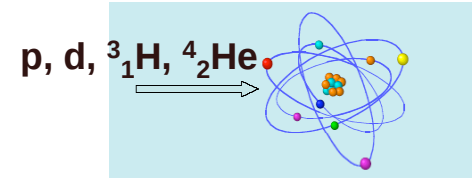
Alt Sistemleri ve Operasyonu



Siklotronların Kullanım Alanları

Radyoizotop Üretimi

- Siklotronlardan elde edilen yüklü parçacık demetleri, iletim hatları vasıtasıyla bir hedef malzeme üzerine gönderilir.
- Hedef malzeme atomları ile etkileşen iyonlar enerjilerini hedef atomuna aktarır, onun kararlı çekirdeği uyararak radyoizotopunu üretir.
- Hedef malzeme içerisinde aktif haldeki radyoizotoplar hedef malzeme bütününden ayrılmak üzere ışınlama noktalarından, işlenmek üzere sıcak hücrelere (hot cell) transfer edilirler.



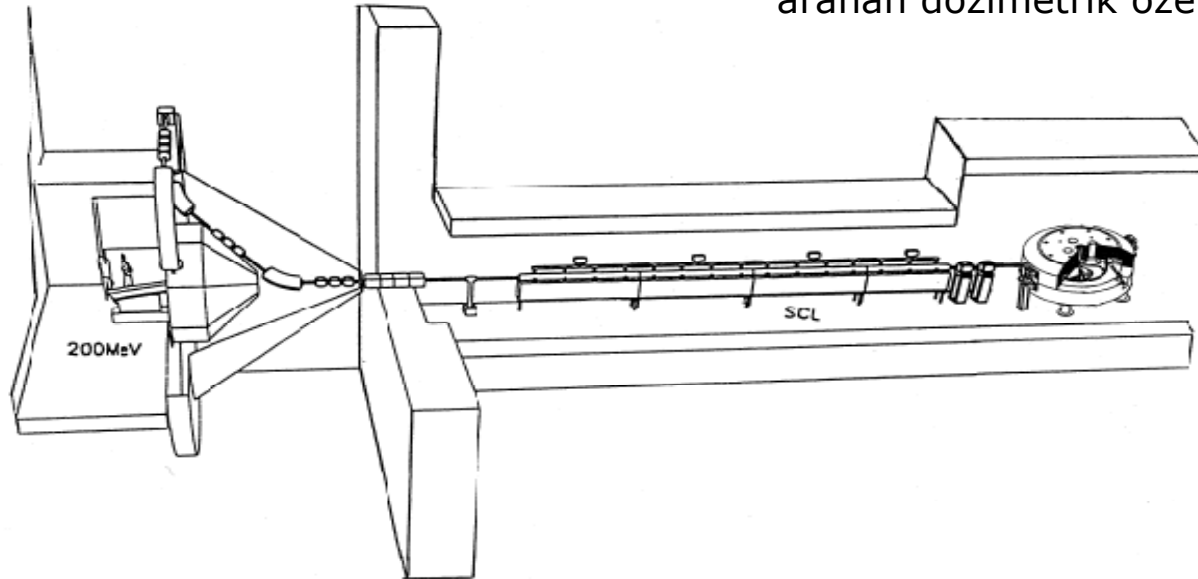
Siklotronların Kullanım Alanları

Tedavi Uygulamaları

- Günümüzde siklotronlar ile üretilen protonlarla ve hatta çok daha ağır iyonlarla (karbon, azot, argon neon vb.) radyoterapi çalışmaları yapılır.
- Elde edilen demetlerin sürekli yapıda olması, iyi bir demet emittansı ve enerji yayılımı sunması önemli avantajlardır.

DOZİMETRİK ÖZELLİK	HIZLANDIRICI PARAMETRESİ
doku içindeki maksimum menzil (suda 32 cm)	enerji (karbon iyonu için 440 MeV)
doz hızı (2 Gy/dk)	demet akımı (5 nA)
uygun pozisyonlama	emittans (özellikle gausyen)

Terapi amaçlı bir siklotron tasarımında aranan dozimetrik özellikler

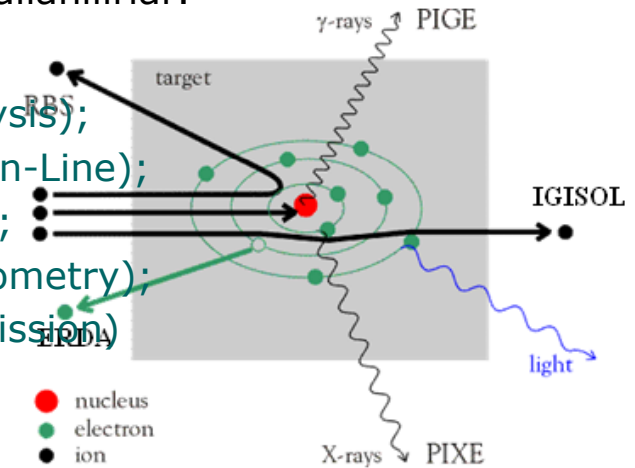


Siklotronların Kullanım Alanları

Spektroskopi Uygulamaları

- Elde edilen yüklü parçacıklar demet iletim hatları vasıtasıyla spektroskopi uygulamaları için tasarlanan deney düzeneklerine yönlendirilirler. Gelen proton demetleri istenen enerji ve akım yoğunluklarda ayarlanarak özellikle malzeme karakterizasyonu çalışmalarında kullanılırlar.

- CPAA (Charged Particle Activation Analysis);
- IGISOL (Ion Guide Isotope Separator On-Line);
- PIXE (Particle Induced X-Ray Emission);
- RBS (Rutherford Backscattering Spectrometry);
- PIGE (Particle Induced Gamma-Ray Emission)

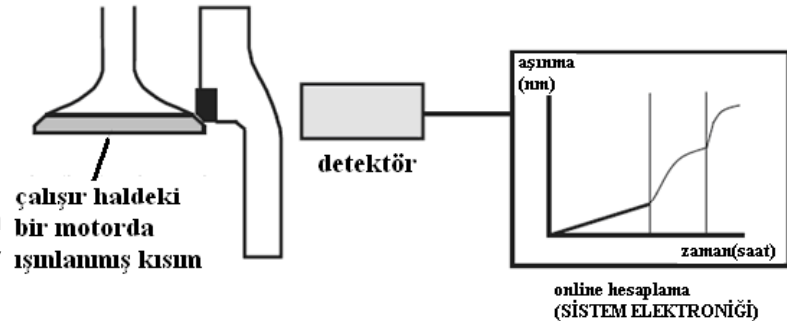
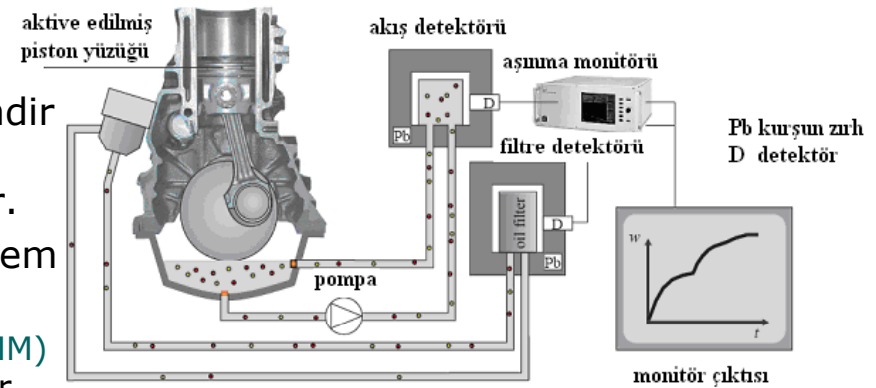


Siklotronların Kullanım Alanları

Endüstride Kullanım Şekilleri

- Endüstrideki en önemli kullanımı yıpranma tespitlerinin yapıldığı tahribatsız muayenedir. Motor, silindir bloğu vb. parçaların korozyon ve aşınma ölçümleri yapılabilmektedir.
- Bu amaçla TLA' e dayanan iki yöntem bulunmaktadır; (Gevre, 1978)

- **Konsantrasyon Ölçüm Yöntemi (CMM)**
Aktif durumdaki aşınmış parçacıklar ölçüm birimine gelir. Parçacıklardan yayılan γ ışınları detekte edilerek, uygun sinyaller sistem tarafından işlenir. Sayım hızı ile hacimsel yıpranma miktarı ($\mu\text{g}/\text{nm}$) ilişkilendirilir.
- **İnce Tabaka Fark Yöntemi (DFM):**
Motorun çalışmasıyla birlikte başlayan aşınma, önceden aktive edilmiş yüzey bölgesinden malzeme kaybına neden olur. Işınlanmış parçanın aşınmadan sonraki aktivite azalması ile aşınma tespiti yapılır. Yıpranma miktarı radyoaktivitedeki azalmayla doğrudan ilişkilendirilmiş olur.



TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Projenin Kapsamı

- Ülkemizde henüz örneği bulunmayan TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi, nükleer bilim ve teknoloji alanında ulusal altyapının oluşturulması adına önemli bir adımdır. Tesisin kurulum çalışmaları;
 - Cyclone30 proton hızlandırıcısı ile bağlı laboratuvarların yer alacağı bina inşaatını,
 - Cyclone30 ve ilgili donanım, sistem ve cihazların teminini,
 - Montaj/test faaliyetlerini
 - Uzman personel eğitimini kapsamaktadır.



TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Vizyon

- TAEK, 2690 sayılı mevcut kanununda tanımlanan “araştırma, geliştirme ve radyoizotop üretimi yapmak” görev ve sorumluluğundan hareketle bu proje ile;
 - Özellikle tıbbi uygulamalarda ihtiyaç duyulan radyoizotoplar ile bunların farmasötiklerinin üretimi, kalite kontrolü ve hasta dozu olarak dağıtımında lider kuruluş olmayı
 - Ülkemizde hızlandırıcı teknolojileri ile bunların uygulama alanları üzerine yürütülecek araştırma ve geliştirme çalışmalarına öncülük etmeyi hedeflemektedir.



TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Projenin Öncesi

- Bu vizyona hizmet edecek bir hızlandırıcı tesisinin kurulumu için bu alanda uluslararası düzeyde tanınan Advanced Cyclotron System (ACS-Kanada) ile Ion Beam Application (IBA-Belçika) firmalarından teklif alınmıştır. (11-15 .12.2005)
- Teknik ve fiyat hususlarında yapılan incelemeler neticesinde arzu edilen özellikleri karşılayan ve fiyat açısından daha makul olan IBA'nın teklifi uygun bulunmuştur. (16.12.2005).
- Müzakereler neticesinde 11.600.000,00 Euro meblağ üzerinden anlaşmaya varılarak ticari sözleşme imzalanmıştır. (29.08.2006)



TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Mevcut Durum

- TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi ile Destek Tesislerine ait inşaat işlerinin TOKİ Başkanlığınca yapılmasına yönelik Bakanlık Oluru alınarak (26.12.2008), TOKİ Başkanlığı ile Protokol yapılmıştır.(26.12.2008)
- Tesis Bina İnşaatı İhalesine esas teşkil edecek; uygulama projeleri(07.04.2009) ve teknik şartnameler (27.04.2009) hazırlanarak TOKİ'ye teslim edilmiştir.
- [Geline son durum itibariyle ;](#) TOKİ Başkanlığınca 18.09.2009 tarihinde Tesis inşaatı için ihaleye çıkılacağı ilan edilmiştir. Cihaz yüklenicisi tarafından ise , beş aşamadan oluşan proje takvimine göre üçüncü iş paketi "cyclotron assembling phase" geride kalmıştır. RF mapping testleri sürmektedir.(23.06.2009)



TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Dünyada Cyclone30

Kullanımda Olanlar

Ülke	Adet
ABD	4
Brezilya	1
Belçika	3
Hollanda	2
Fransa	1
Japonya	4
Avustralya	1
İran	1
Suriye	1
Çin	2
Endonezya	1
Güney Kore	1

Benzer Tesisler

IR	Karaj	AEOI - ATOMIC ENERGY ORGANIZATION OF IRAN	1994
BE	Ottignies-Louvain-la-Neuve	UCL - Centre des recherches du cyclotron	1988
SY	Damascus	Atomic Energy Commission of Syria	1999
ID	Batan	AEC of Indonesia	1998
IN	Calcutta	Dept of Atomic Energy	2008

İnşaat Halindekiler

Vietnam	1
Hindistan	2

TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Genel Özellikler- Konum

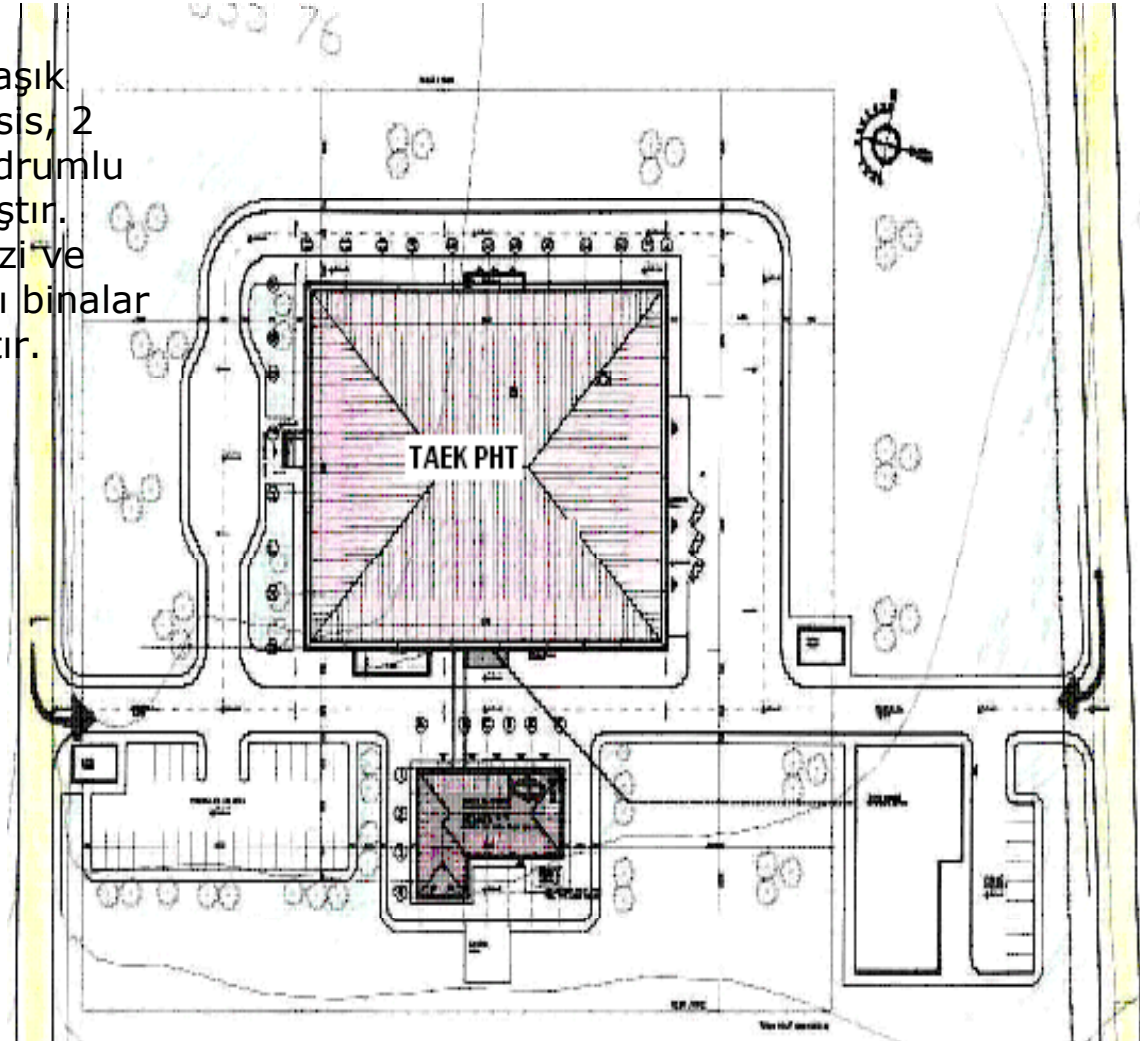
- Tesis, Ankara'nın Kazan İlçesi Saray Mevkii civarında, şehir merkezine yaklaşık 40 km mesafede, TAEK mülkiyetindeki SANAEM Müdürlüğü arazisi üzerine inşa edilecektir.
- SANAEM; gerek ulaşım kolaylığı sunması, genişlemeye imkan verecek büyüklükte olması, gerekse mevcut laboratuvar altyapısı, insan gücü sayesinde Tesise gerekli desteği verecek kapasitededir.



TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Genel Özellikler- Yerleşim Planı

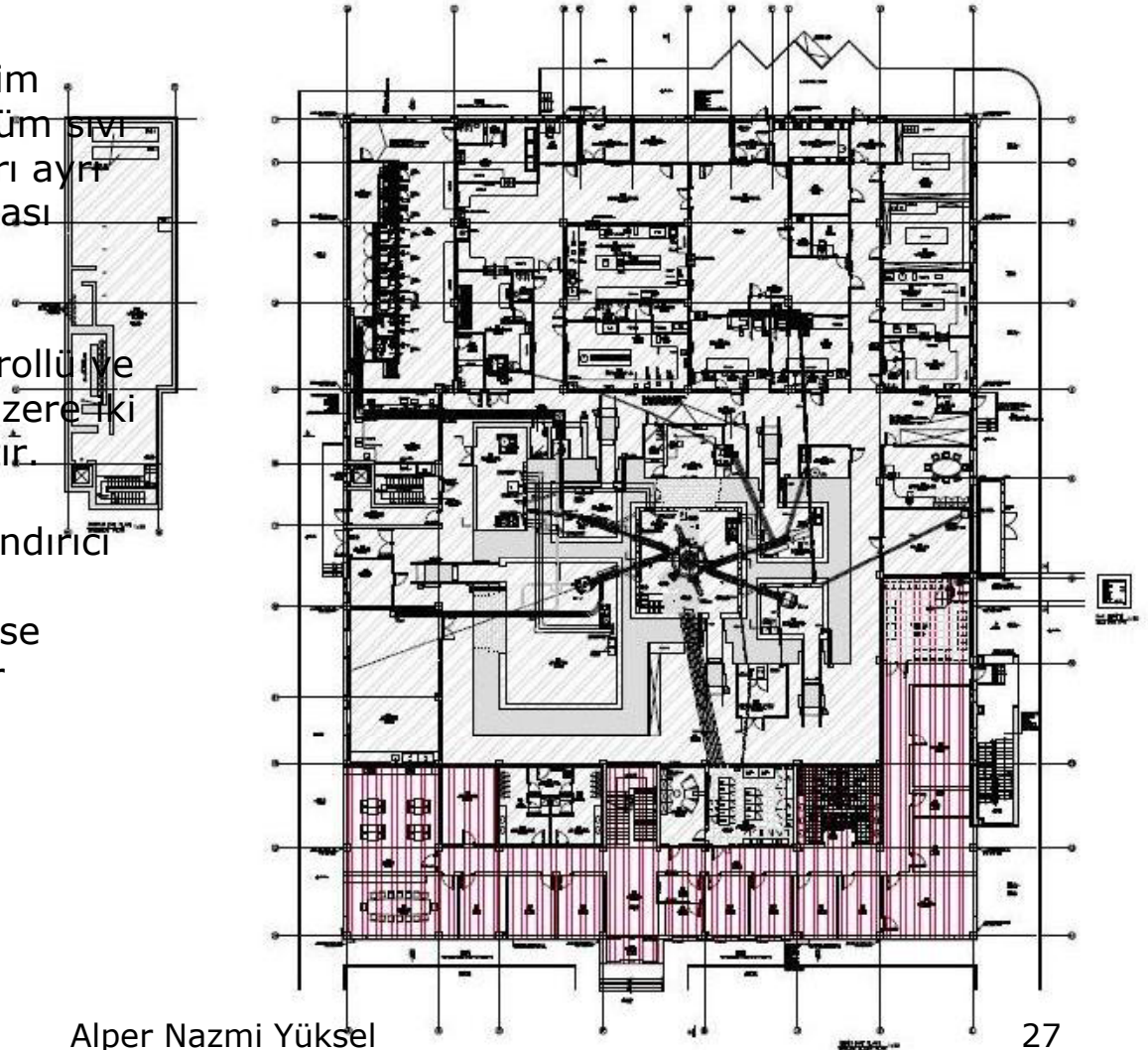
- Taban alanı yaklaşık 3100 m² olan Tesis, 2 katlı ve kısmi bodrumlu olarak planlanmıştır. Tesisin ısı merkezi ve trafo binaları ayrı binalar olarak yapılacaktır.



TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Genel Özellikler- Yerleşim Planı

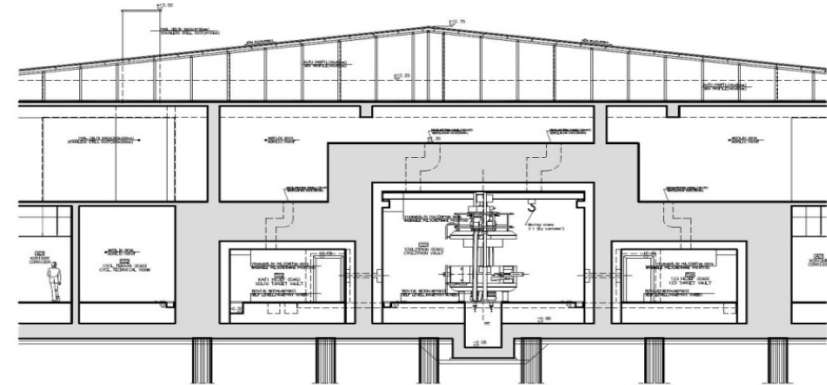
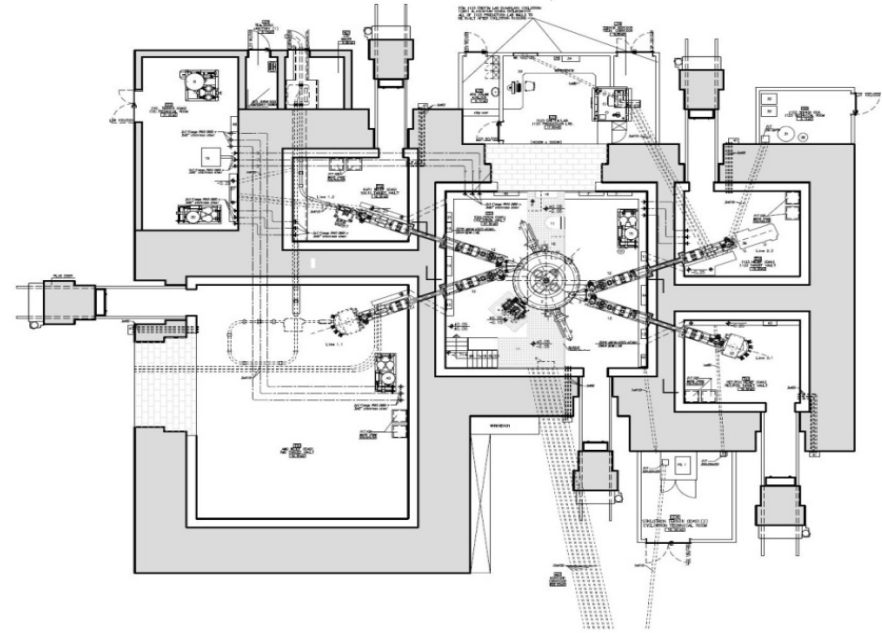
- Bodrum Katta üretim esnasında oluşan tüm sıvı ve katı atıkların ayrı ayrı depolandığı atık odası bulunacaktır.
- Zemin kat ise kontrollü ve kontrolsüz olmak üzere iki kısımdan oluşacaktır. Kontrollü alanda laboratuvarlar, hızlandırıcı ve hedef odaları, kontrolsüz alanda ise kafeterya ve ofisler bulunacaktır.



TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Genel Özellikler- Yerleşim Planı

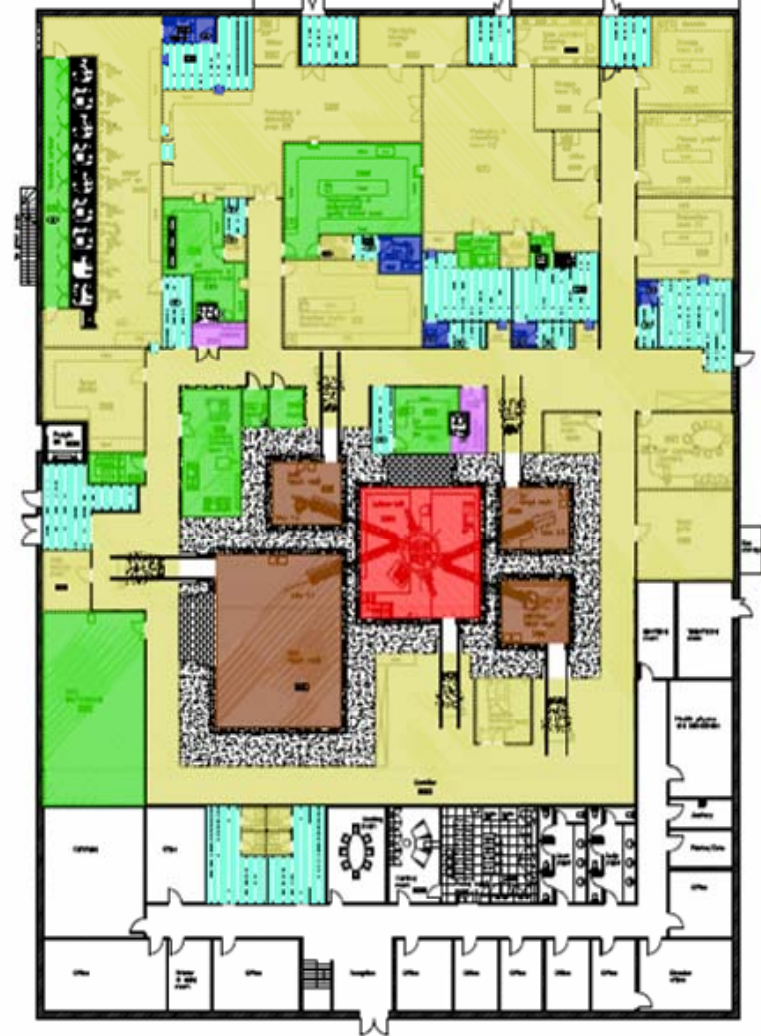
- Siklotron ve hedef odalarına giriş özel tasarımı otomatik tapa kapılar ile yapılacaktır.
- Kontrollü alan içerisindeki tüm mahaller temiz oda tasarım kriterlerine uygun şekilde planlanmıştır.
- Siklotron ile ışınlama sistemlerinin bulunduğu merkez bölgedeki perde duvar kalınlıkları 2.2-2.4 m.



TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Genel Özellikler- Yerleşim Planı

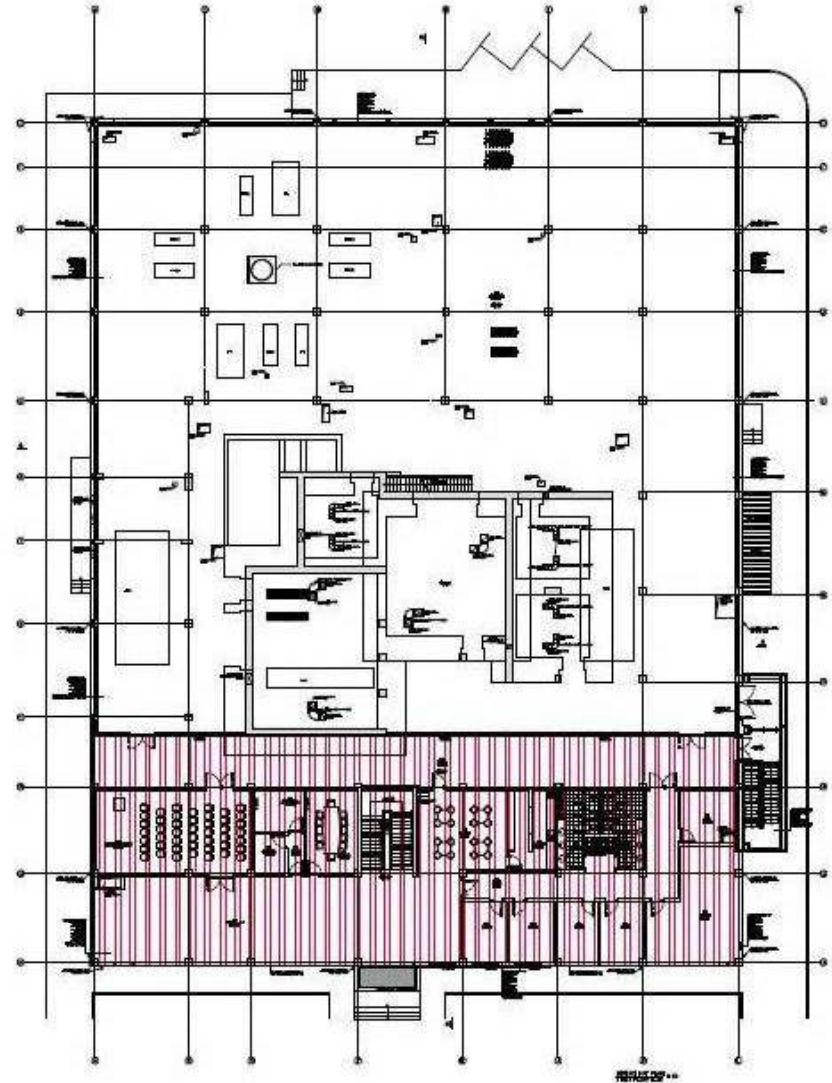
- Tesisin fonksiyonu gereği kontrollü alanda yer alan mahaller, farklı basınç değerlerinde tutulmaktadır.
- Farklı basınç değerlerindeki bu mahaller arasındaki geçişler ara bölme (airlock) ve malzeme nakil bölmeleri (pass through boxe) ile sağlanacaktır.
- Kontrollü alana yalnızca dezenfeksiyon odası ile ona irtibatlı soyunma odalarından ulaşılmaktadır.



TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Genel Özellikler- Yerleşim Planı

- Birinci katta ise ofis, seminer salonu, fuaye, kafeterya, kütüphane ile High Ventilation and Air Conditioning (HVAC) sisteminin monte edildiği bölüm bulunacaktır.



TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

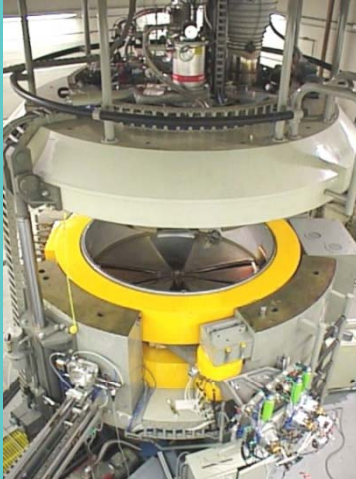
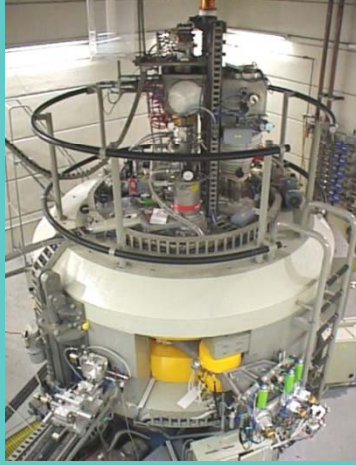
Teknik Özellikler- Cyclone 30

- Kurulacak sistemin kalbini IBA tasarımı siklotron tipi bir hızlandırıcı olan "CYCLONE 30" Proton Hızlandırıcısı teşkil etmektedir.
- CYCLONE 30'dan elde edilen proton demeti, değişken enerjili olup, 15–30 MeV aralığındadır. Demet akımı da yine değişken olup, hedef üzerindeki maksimum toplam akım 1.2 mA'dır.



TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Teknik Özellikler- Cyclone 30

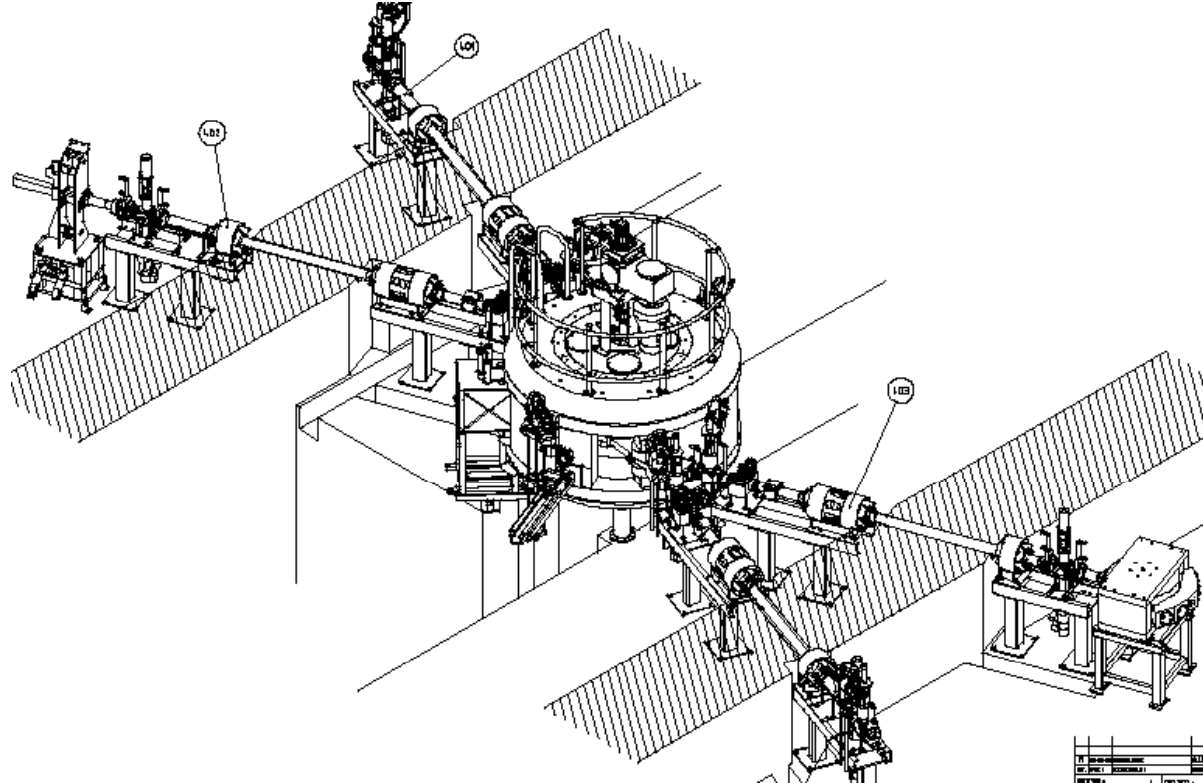


Tipi	Siklotron
Model	Cyclone 30
Üretici Firma	IBA (Belçika)
Tek bir demet çıkışındaki hat sayısı	2
Eş zamanlı oluşturulan demet sayısı	2
Toplam demet hattı sayısı	4
Hızlandırılan iyon türü	^{-}H
Elde edilen iyon türü	^{+}H
Demet enerjisi	15-30 MeV, değişken demet enerjisi
Demet akımı	1,2 mA * değişken demet akımı
Normalize emittans	Boyuna ≤ 15 mm.mrad, Enine ≤ 10 mm.mrad
Enerji yayılımı	400 keV
Dee sayısı	2
Sektör sayısı	4
Manyetik alan	0,12-1,7 Tesla
Mıknatıs ağırlığı	45 + 4; yaklaşık 50 ton
İyon kaynağı sistemi	harici negatif (multicusp)
RF sistemi	65.5 MHz frekanslı 50 kV'luk dee gerilimli
Maksimum güç tüketimi	150-180 kW (30 MeV/ 1,2 mA için)

TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Teknik Özellikler- Sistem

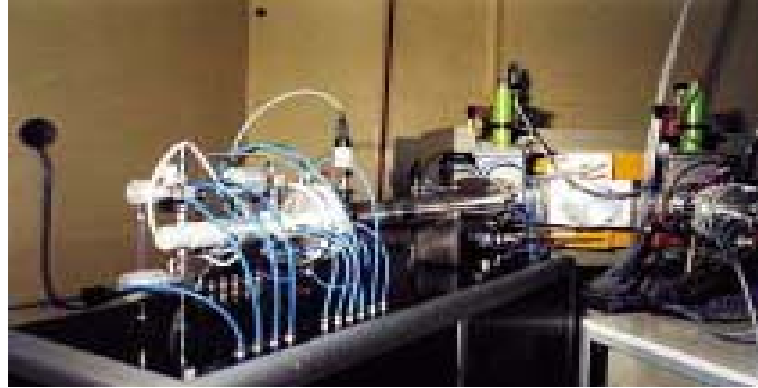
- Sistem aynı zamanda üç tanesi radyoizotop üretimi, bir tanesi ise araştırma/egitim maksatlı kullanılacak toplam dört adet ana demet hattını içermektedir. Demet hatlarının her biri, ayrı hedef sistemlerinin bulunduğu ışınlama odaları ile irtibatlıdır.



TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Teknik Özellikler- Sistem

- ^{111}In , ^{67}Ga ve ^{201}Tl üretimi için otomatik katı hedef ışınlama sistemi.
- ^{123}I üretimi için otomatik gaz hedef ışınlama sistemi.
- $^{18}\text{F}^-$ üretimi için otomatik sıvı hedef ışınlama sistemi.



TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Teknik Özellikler- Laboratuvar Yeteneği

- Üretilen radyoizotopların radyofarmasötik kitleri halinde sentezlendiği, AB'nin "iyi üretim, iyi laboratuvar, iyi radyofarmasötik uygulamaları (GMP/GLP/GRP)" mevzuatına uygun;

- SPECT izotopu işleme ve etiketleme laboratuvarları
- PET izotopu işleme ve etiketleme laboratuvarları
- ^{123}I işleme ve etiketleme laboratuvarları
- Sıvı ve katı radyoaktif atık depolama tankları
- Dekontaminasyon odası
- Hedef kaplama odası
- Sterilite test laboratuvarı
- Radyokimyasal kalite kontrol laboratuvarı
- Kalite kontrol laboratuvarı
- Paketleme ve depolama odaları
- 10 adet D, 11 adet C , 2 adet B sınıfı temiz oda

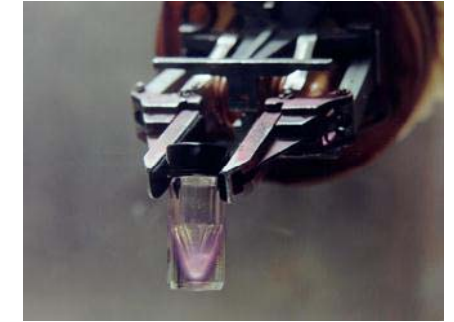


TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Tesisin Ana Hedefleri- Üretim Maksatlı 3 Ana Demet Hattı ile

○ Kısa vadede;

- Konvansiyonel gama kameralarda sintigrafi maksatlı kullanılan ^{123}I ,
- Bilgisayarlı tek foton emisyon tomografisinde (SPECT) kullanılan ^{111}In , ^{67}Ga , ^{201}Tl ,
- Pozitron emisyon tomografisinde (PET) kullanılan ^{18}F radyoizotopları ile bunların radyofarmasötiklerinin üretimi, kalite kontrolü ve hasta dozu olarak dağıtımı.



○ Uzun Vadede;

- ^{103}Pd , ^{124}I , ^{15}O , ^{11}C , ^{13}N gibi ilave SPECT ve PET radyoizotoplarının üretimi ile bunların radyofarmasötiklerinin sentezlenmesi ve geliştirilmesi
- Radyoizotop ve radyofarmasötik üretimi ile ilgili eğitim ve kurs faaliyetleri



**TAEK PROTON HIZLANDIRICISINDA KISA ve UZUN VADEDE ÜRETİLEBİLECEK
RADYOİZOTOPLAR ve KULLANIM ALANLARI**

KULLANIM ALANLARI	İZO TOP	AÇIKLAMA
PET GÖRÜNTÜLEME Positron Emission Tomography	¹⁸F	Beyin üzerine sürdürülen çeşitli çalışmalarda radyoizleyici ve PET görüntüleme
	¹²⁴I	Uzun yarı ömüre sahip olduğu için (101 saat) değişik araştırma ve uygulama çalışmalarında tercih edilmektedir. Yavaş fizyolojik proseslerde yararlıdır. Son dönemlerde gen terapisi ve kemoterapide kullanılmaktadır.
	¹¹C	Bazı özel beyin fonksiyonlarının izlenmesi için kullanılmaktadır. Bu izotop kısa yarı ömürlüdür (20 dakika), bu nedenle üretildiği siklotron tesisi hastane yada kliniklere çok yakın olmalıdır.
	¹⁵O	PET görüntüleme sistemlerinde kullanılmaktadır ve çok kısa bir yarı ömüre (122 saniye) sahiptir.
SPECT ve GAMA GÖRÜNTÜLEME	¹²³I	Beyin, tiroid, böbrek ve miyokardial görüntüleme, beyindeki kan akışının görüntülenmesi ve nörolojik hastalıkların teşhisi (Alzheimer vb.)
	¹¹¹In	Organ nakillerinde organın vucut tarafından kabul edilip edilmediğinin anlaşılması, abdominal enfeksiyonların tespiti, antikor etiketleme ile vücudun bağışıklık sistemi faaliyetlerinin izlenmesi, ⁶⁷ Ga ile birlikte kullanıldığında da yumuşak doku enfeksiyonlarının tespiti, kemik iliği iltihaplarının (osteomyelitis) tespiti, karaciğerde, böbreklerdeki organ konsantrasyonlarının takibi, beyaz kan hücrelerinin izlenmesi, hücre dozimetrisi, miyokardial taramalar, lösemi tehditinin tespiti, tümörlerin görüntülenmesi
	⁶⁷Ga	Abdominal enfeksiyonların tespiti, Hodgkins/non-Hodgkins lenf kanserinin (lemfoma) tespiti, ¹¹¹ In ile birlikte kullanıldığında yumuşak doku enfeksiyonu ile tehditinin tespiti, akciğerlerdeki partikül etkili hastalıkların tespiti
	²⁰¹Tl	Klinik kardiyojoloji, kalp görüntüleme, düzlemsel ve SPECT görüntülemede Tc-99m'den daha düşük (arzu edilen) nükleer özellik gösterme, miyokardial perfüzyon ve hücresel dozimetri
	¹⁰³Pd	Prostat kanseri tedavisi (brakiterapi yöntemi). 1,2 mA'lik ekstraksiyon akımının iletebildiği R&D vault'unda, yapılacak düzenlemeler ile seri üretimin mümkün olabilecektir.
	⁵⁷Co	Doz kalibratörleri, gama kamera ve ölçüm sistemlerinde kaynak olarak ve endüstride makine parçalarının aşınma ve korozyon hesaplamasında yararlanılmaktadır. Ayrıca bir organın büyüklüğü ile yerinin tespitinde faydalanılmaktadır.

TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Tesisin Üretim Kapasitesi

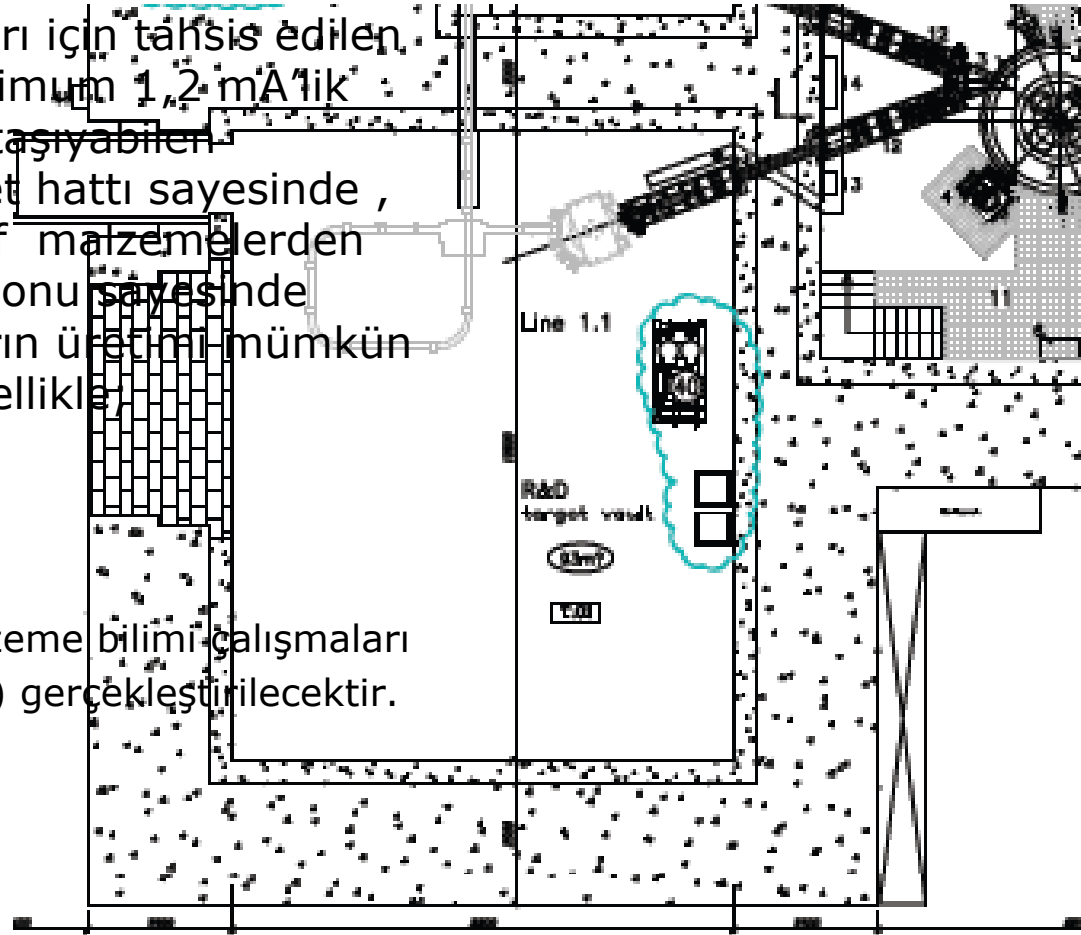
ÜRETİLECEK RADYOİZOTOP	Üretim Reaksiyonu	Proton Demet Enerjisi (MeV)	Proton Demet Akımı (μA)	Ortalama Işınlama Süresi (Sa)	Kimyasal İşleme Süresi (sa)	Çalıştırma Başına Aktivite	Kullanılabilir Aktivite	Hasta Başı Doz (mCi)	Hasta Sayısı
I-123 (13.3 sa)	1) $^{124}\text{Xe} (p,2n) ^{123}\text{Cs-}$ [5,8 dk] 2) $^{123}\text{Cs} \rightarrow ^{123}\text{Xe}$ (2,1 sa) $\rightarrow ^{123}\text{I}$	29-30	70	5-10	1,5	4-5 Ci	0.25-0.31 Ci (2 gün sonra)	0.2-1	300
F-18 (FDG) (110 dk)	$^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$	18	40	1-2	1,5	5 Ci	2.5 Ci (2 yarılanma sonunda)	5-10	25
In-111 (2.8 gün)	$^{112}\text{Cd} (p,2n)^{111}\text{In}$	28,5	250	9,5	1,5	12 Ci/25 ml	3 Ci	0.3-10	500
Ga-67 (78 sa)	$^{68}\text{Zn} (p,2n)^{67}\text{Ga}$	28,5	250	9,5	1,5	12 Ci/25 ml	3 Ci (2 yarılanma sonunda)	4-10	300
Tl-201 (74 sa)	1) $^{203}\text{Tl}(p,3n) ^{201}\text{Pb}$ (9,4 sa) 2) $^{201}\text{Pb} \rightarrow ^{201}\text{Tl}$	28,5	200	9,5	1,5	3 Ci/25 ml	750 mCi (2 yarılanma sonunda)	1.5-2	300

TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Tesisin Ana Hedefleri- ARGE Maksatlı 4. Demet Hattı ile

- ARGE çalışmaları için tahsis edilen bölmeye maksimum 1,2 mA'lık proton demeti taşıyabilen dördüncü demet hattı sayesinde , Li, Be vb. hedef malzemelerden (p, xn) reaksiyonu sayesinde ikincil nötronların üretimi mümkün olacağından özellikle

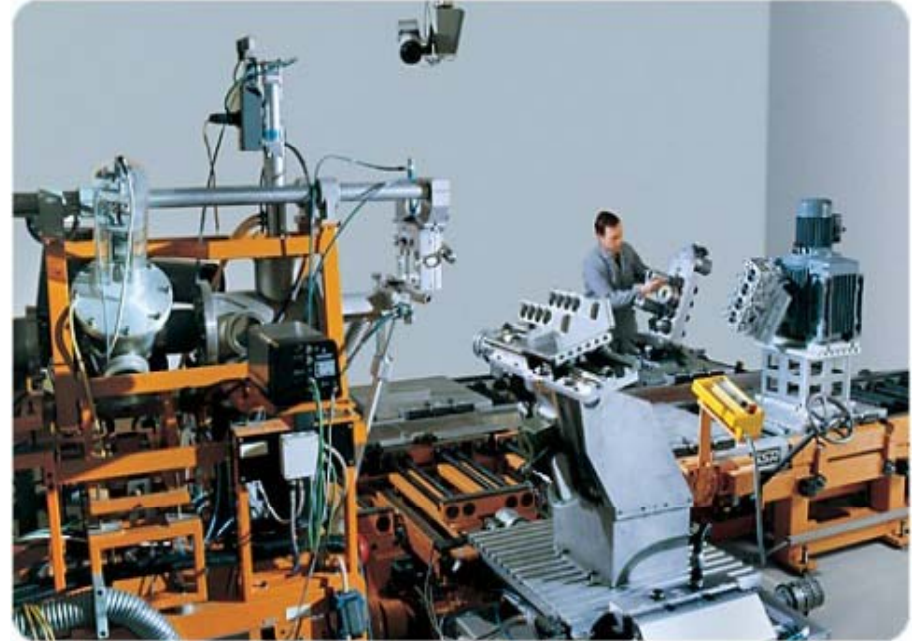
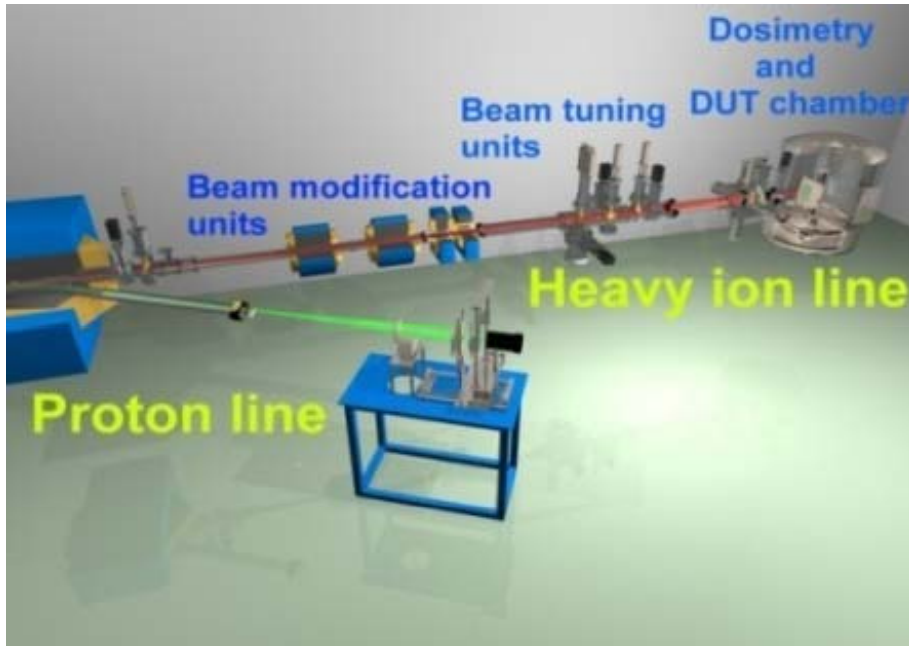
- Nötron Aktivasyon Analizleri
- Uygulamalı Nükleer Fizik ve Malzeme bilimi çalışmaları
- BNCT (laboratuvar ön denemeleri) gerçekleştirilecektir.



TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Tesisin Ana Hedefleri- ARGE Maksatlı 4. Demet Hattı ile

- Potansiyel kullanıcılar tarafından planlanan diğer ARGE konuları;
 - PIXE -Particle Induced X-Ray Emission
 - CPAA - Charged Particle Activation Analysis
 - IGISOL - Ion Guide Isotope Separator On-Line
 - Endüstriyel Uygulamalar





TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

CERN’de görevli bulunulan süre içerisinde...

- Hali hazırda TAEK-SANAEM bünyesinde demet iletim hattı ve enstrümanları üzerine temel araştırmalar sürdürülmekte, özellikle mıknatıs tasarımı ve yapımı ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.
- İleride TAEK PHT ARGE bölmesinde potansiyel kullanıcılar tarafından; **PIXE, IGISOL, CPAA, NAA vb.** analizlerin yapılması hedeflenmektedir.
- Bu maksatla proton demetlerini siklotrondan bu analizlerin yapılacağı deney istasyonuna iletebilecek demet hattı tasarımlarına esas projeler sürmektedir. Bu kapsamda ihtiyaç duyulan demet dinamiği çalışmalarına **PARMILA** programı ile başlanılmış olup, söz konusu çalışmanın tamamlanmasının ardından **MAD-X** programı ile de bir simülasyonun yapılarak sonuçların mukayese edilmesi hedeflenmektedir.
- Bununla birlikte **CLIC/CTF3** deneyi kapsamında demet dinamiği ve ilgili konular üzerine çalışmalarda bulunan uzmanlar ile görüşülerek iletişim tesis edilmeye çalışılmıştır.
- Ayrıca demet hattı tasarımında oldukça önemli olan Beam Profile Monitoring (demetin kesit boyutu, yayılımı, enerji yayılımı, enerjisi...) konusu üzerinde fikir alışverişinde bulunularak faydalı teknik dokümanlar temin edilmiş. PHIN foto-enjektörü incelenmiştir.

TAEK Proton Hızlandırıcı Tesisi

Sonuç ve Değerlendirme

- Halihazırda ülkemizde tıp merkezleri ve hastanelerce teşhis ve tedavi maksatlı kullanılan radyofarmasötiklerin büyük bir kısmı ithal edilmektedir. TAEK PHT’de bu radyofarmasötiklerin üretimi ile yerli sermayenin yurt dışına çıkışı önlenerek ülke ekonomisine büyük bir katkı sağlanacaktır.
- Ayrıca TAEK PHT ülkemizin nükleer teknoloji alanındaki ARGE altyapısının da önemli bir parçası olacaktır. Tesiste proton demetleriyle yapılabilecek araştırma çalışmalarında kullanılacak demet iletim hatları ile bunların enstrümanlarının tasarımı, demet dinamiği, teşhisi, kontrolü üzerine birikim oluşturulacaktır.
- Böylelikle gelecekte ülkemizde bu tip tesis ve laboratuvar sayısının artmasıyla; CERN vb. uluslararası oluşumlarda Ülkemizin daha çok söz sahibi olması, bilim insanı altyapımızın daha güçlü hale gelmesi mümkün olacaktır.



TEŞEKKÜRLER...

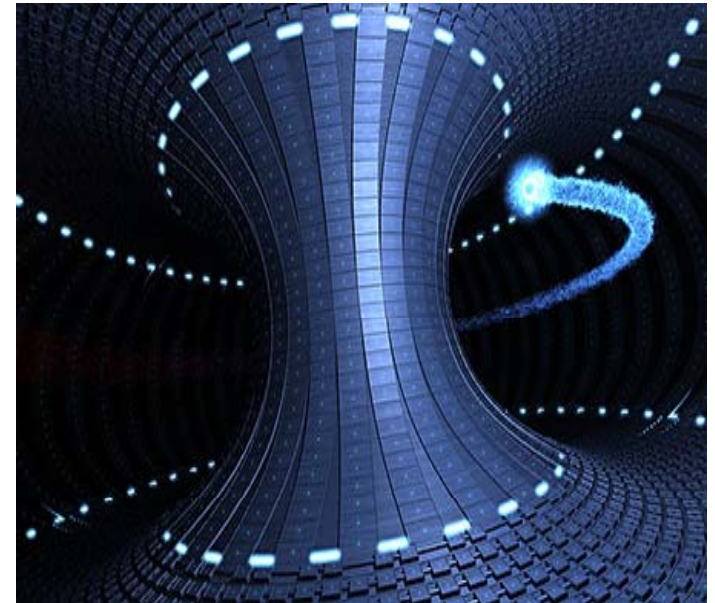
THE CYCLOTRONIST'S NIGHTMARE

By Arthur Roberts

Once upon a midnight dreary
The cyclotron crew was weak and weary;
In walked the Boss with a smile so cheery,
In walked the Boss with a very broad smile.
"Boys," he said "Here's a wonderful chance"
"Boys," he said, "It'll make you want to dance"
"Boys," he said, "We must activate some iron,
Eighty millicuries by half-past nine!"

REFRAIN:

Round and round and round go the deuterons
Round and round the magnet swings them
Round and round and round go the deuterons
Smack! in the target goes the ion beam.





Kaynaklar

- Anferov, V. 2003. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. Elsevier, 496, 1; 222-227 p
- Baron, E. and Lieuvin M. [ed] 1999. 15th International Conference on Cyclotrons and their Applications: Cannes, France, 15-19 June 1998 Proceeding. Institute of Physics Publishing, 880 p, Bristol.
- Bechtold, V. 1996. Isotope Production with Cyclotrons. CAS CERN Accelerator School: Cyclotrons, Linacs and their Applications, La Hulpe, Belgium, 28 Apr-5 May 1994: proceedings; 329-342.
- Bhandari, R. K. 2007. Medical Cyclotron Facility at Kolkata Web Site: <http://felino.elettra.trieste.it/cyc07/papers/WEPPRA21.pdf> 10.10. 2007
- Blosser, H. G., 1988 Annual report of the National Superconducting Cyclotron Laboratory; 107, Michigan State University
- Botman, J. I. M. and Hagedoorn, H. L. (1996). Extraction from Cyclotrons. CAS CERN Accelerator School: Cyclotrons, Linacs and their Applications, La Hulpe, Belgium, 28 Apr-5 May 1994: proceedings; 169-186.
- Corne, J. [ed] 1996. 14th International Conference on Cyclotrons and their Applications: Cape Town, South Africa, 8-13 October 1995 Proceeding. World Scientific Publishing Co., 858 p, Singapore.
- Dutto, G. and Craddock, M. K. [ed] 1993. 13th International Conference on Cyclotrons and their Applications: Vancouver, BC, Canada, 6-10 July 1992 Proceeding. World Scientific Publishing Co., 949 p, Singapore.
- Edwards, D. A. and Syphers, M. J. 1992. An Introduction to the Physics of High Energy Accelerators. Wiley & Interscience, 304 p, New York.
- Jungwirth, H. N. and Villiers, J.G. [ed] 1992. 13th International Conference on Cyclotrons and their Applications Proceeding, Vancouver; 709-712.
- Koscielniak, S. 2005. AVF and FFAG Accelerators-Past, Present and Future. TRI-DN-05-11 DESIGN NOTE; 2-4, Vancouver.
- Lewis, D. M. 1996. Designing a Radioisotope Facility. CAS CERN Accelerator School: Cyclotrons, Linacs and their Applications, La Hulpe, Belgium, 28 Apr-5 May 1994: proceedings; 343-362.
- Lewis, D. M. 2003. Accelerators in Industry. Web Sites: <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/e96/PAPERS/ORALS/FRX01A.PA.PDF> Erişim Tarihi: 10.12. 2007
- Mandrillon, P. 1996. Injection into Cyclotrons. CAS CERN Accelerator School: Cyclotrons, Linacs and their Applications, La Hulpe, Belgium, 28 Apr-5 May 1994: proceedings; 153-168.
- Mandrillon, P. 1996. Cyclotrons in Radiotherapy. CAS CERN Accelerator School: Cyclotrons, Linacs and their Applications, La Hulpe, Belgium, 28 Apr-5 May 1994: proceedings; 313-328.
- Martin, F. [ed] 2001. 16th International Conference on Cyclotrons and their Applications: East Lansing, MI, USA, 13-17 May 2001 Proceeding. American Institute of Physics, New York.
- Meyroneinc, S. 2001. Proceeding of: Therapy Which Place for Heavy Charged Particles In Radiotherapy CAS Particle Accelerators for medicine and Industries, 25 p, Pruhonice.



Kaynaklar

- Podgorsak, E.B. [ed] 2005. Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students. IAEA Publications, 696 p, Vienna.
- Saha, G. B. 2004. Fundamentals of Nuclear Pharmacy, Springer Science & Business Media Inc. 383 p, New York.
- Scherge, M. K., Pöhlmann, A. G. 2003. Wear Measurement Using Radionuclide-Technique (RNT). Elsevier Science, 254; 801–817 p
- Siegbahn, K. and Howard, F. T. [ed] 1962. International Conference on Sector-focused Cyclotrons: Los Angeles, CA, USA, 17-20 April 1962 Proceeding. Nuclear Instruments and Methods Pub., 647 p, Los Angeles.
- Stambach, T. 1996. Introduction to Cyclotron. CAS CERN Accelerator School: Cyclotrons, Linacs and their Applications, La Hulpe, Belgium, 28 Apr-5 May 1994: proceedings;113-138.
- Trinks, U. 1996. Exotic Cyclotrons- Future Cyclotrons. CAS CERN Accelerator School: Cyclotrons, Linacs and their Applications, La Hulpe, Belgium, 28 Apr-5 May 1994: proceedings; 187-228.
- Wiedemann, H. 1993. Particle Accelerator Physics I. Springer-Verlag, 948 p, Berlin.
- Wiedemann, H. 1995. Particle Accelerator Physics II. Springer-Verlag, 472 p, Berlin.
- Podgorsak, E.B. [ed] 2005. Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students. IAEA Publications, 696 p, Vienna.
- Saha, G. B. 2004. Fundamentals of Nuclear Pharmacy, Springer Science & Business Media Inc. 383 p, New York.
- Scherge, M. K., Pöhlmann, A. G. 2003. Wear Measurement Using Radionuclide-Technique (RNT). Elsevier Science, 254; 801–817 p
- Siegbahn, K. and Howard, F. T. [ed] 1962. International Conference on Sector-focused Cyclotrons: Los Angeles, CA, USA, 17-20 April 1962 Proceeding. Nuclear Instruments and Methods Pub., 647 p, Los Angeles.
- Stambach, T. 1996. Introduction to Cyclotron. CAS CERN Accelerator School: Cyclotrons, Linacs and their Applications, La Hulpe, Belgium, 28 Apr-5 May 1994: proceedings;113-138.
- Trinks, U. 1996. Exotic Cyclotrons- Future Cyclotrons. CAS CERN Accelerator School: Cyclotrons, Linacs and their Applications, La Hulpe, Belgium, 28 Apr-5 May 1994: proceedings; 187-228.
- Wiedemann, H. 1993. Particle Accelerator Physics I. Springer-Verlag, 948 p, Berlin.
- Wiedemann, H. 1995. Particle Accelerator Physics II. Springer-Verlag, 472 p, Berlin.
- Yuksel, A. N. 2008 Radioisotope Production by The Cyclotron Type Accelerator and Utilization of These Radioisotopes in Medical/ Industrial Areas, Master Thesis Supervised by O.Yavas, University of Ankara Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Engineering Physics