

Hızlandırıcı Alt Sistemleri I-II

Prof. Dr. Zafer NERGİZ

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fizik Bölümü
znergiz@ohu.edu.tr

İÇERİK

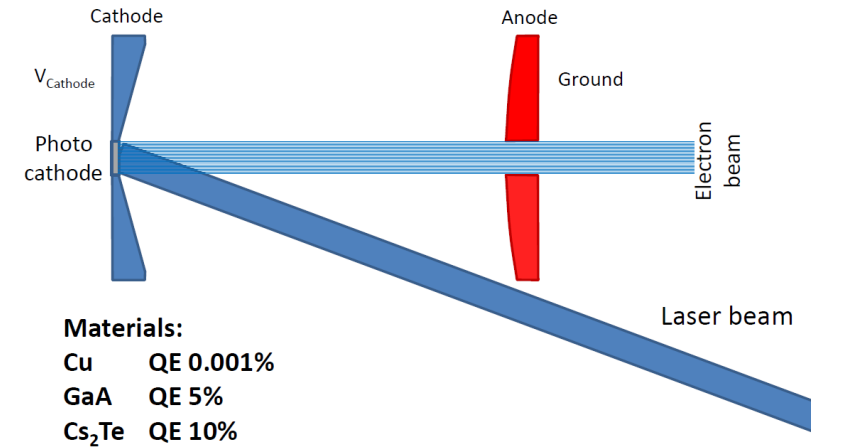
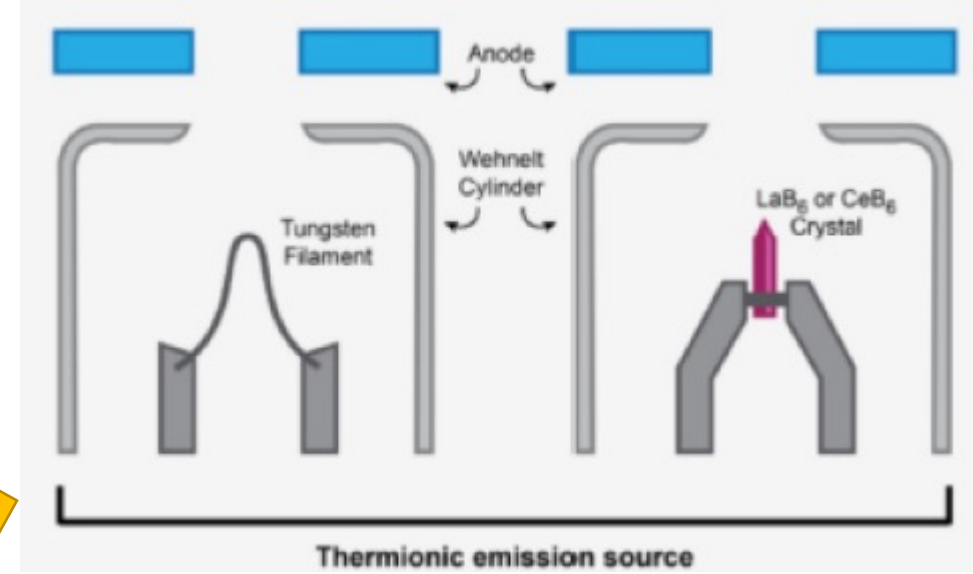
- Katot Sistemleri
- Enjektör Sistemi
- RF Sistemleri
- Vakum Sistemi
- Demet Paketleyiciler
- Demet Durdurma Sistemleri
- Radyasyon güvenliği

KATOT SİSTEMLERİ

- Bütün makinanın en önemli kısmıdır. Parçacık yok ise gerisinin bir önemi yoktur.
- Parçacık kaynaklarında parçacıklar iyonize edilir veya serbest elektronlar üretilir.

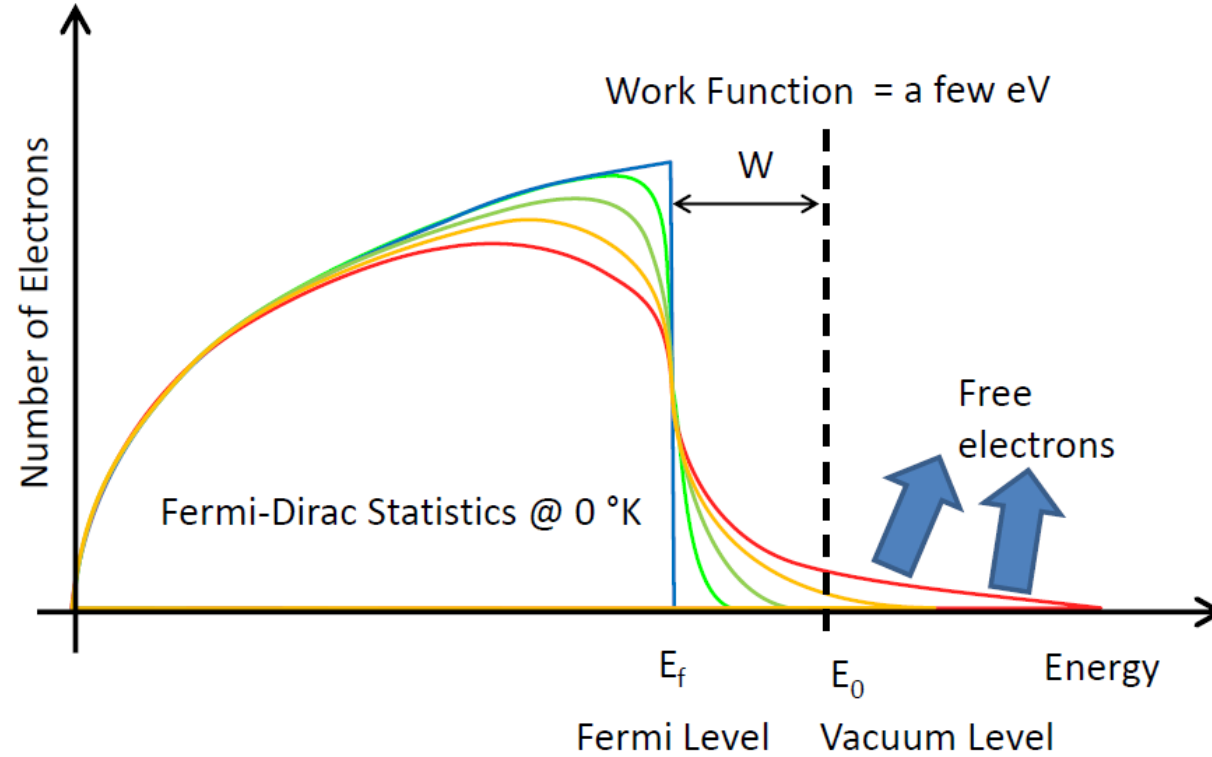
Elektron Kaynaklarında:

- Termionik Katot
- Fotokatot



KATOT SİSTEMLERİ

Termionik Katot



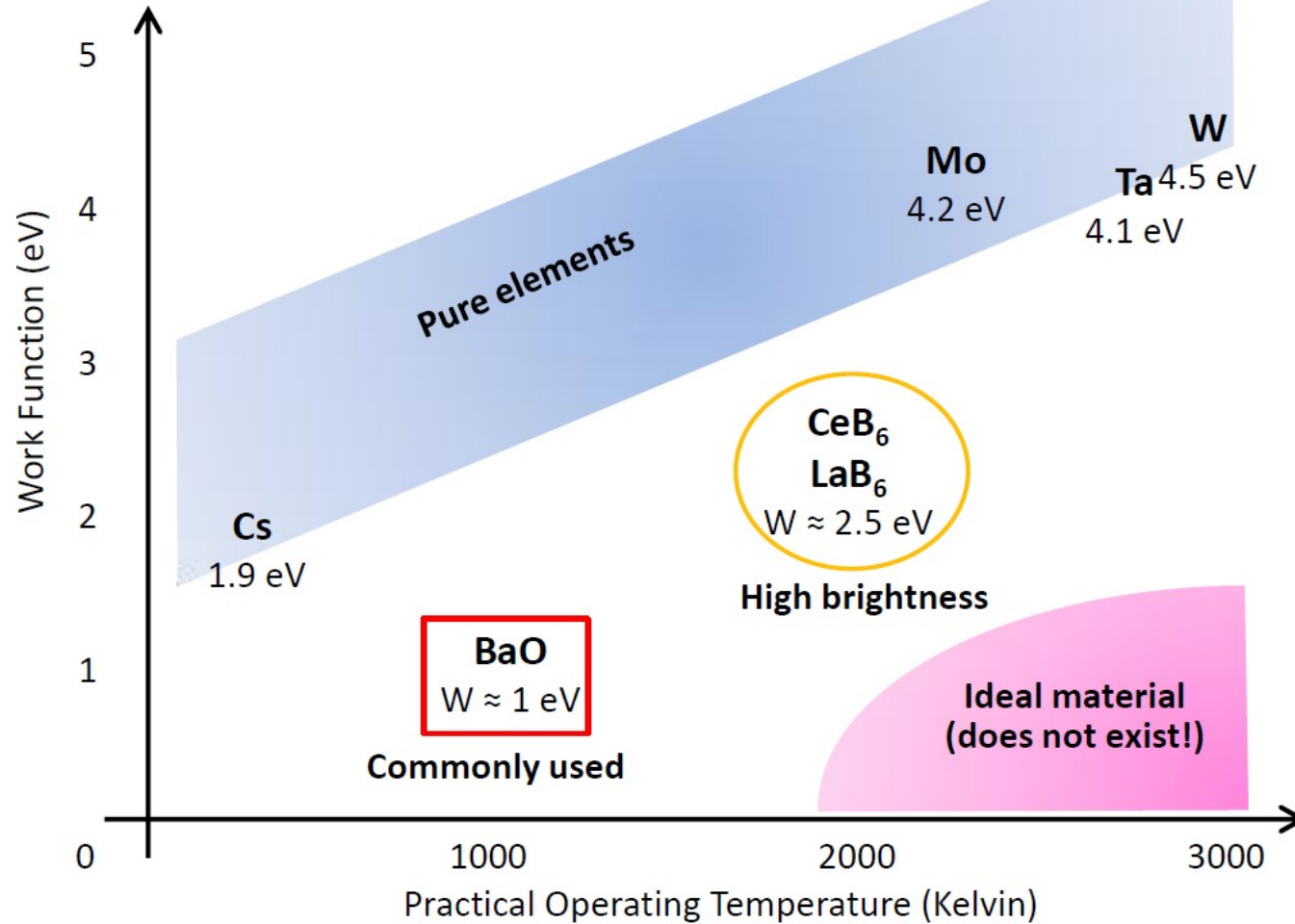
$$J = A_G T^2 e^{\frac{-W}{kT}}$$

Burada J akım yoğunluğu, T metalin sıcaklığı, k Boltzman sabiti ve W metalin iş fonksiyonudur. $A_G = \lambda_r A_0$; $A_0 = 1.20173 \times 10^6 \text{ Am}^{-2}\text{K}^{-2}$ Evrensel sabit, λ_r genelde 0.5 mertebesinde olan malzemenin düzeltme faktörüdür.

İyi bir elektron yayınlayıcısı için mümkün olduğunca düşük iş fonksiyonu ve yüksek sıcaklık gereklidir.

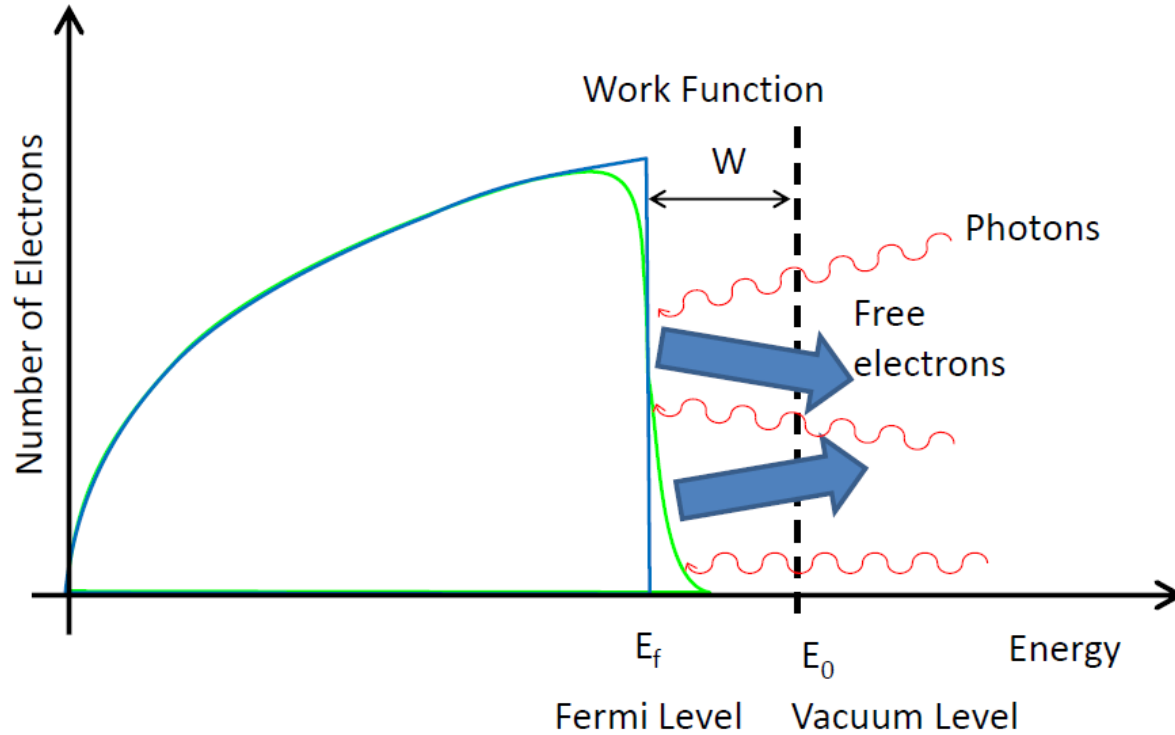
KATOT SİSTEMLERİ

Cathode Materials



KATOT SİSTEMLERİ

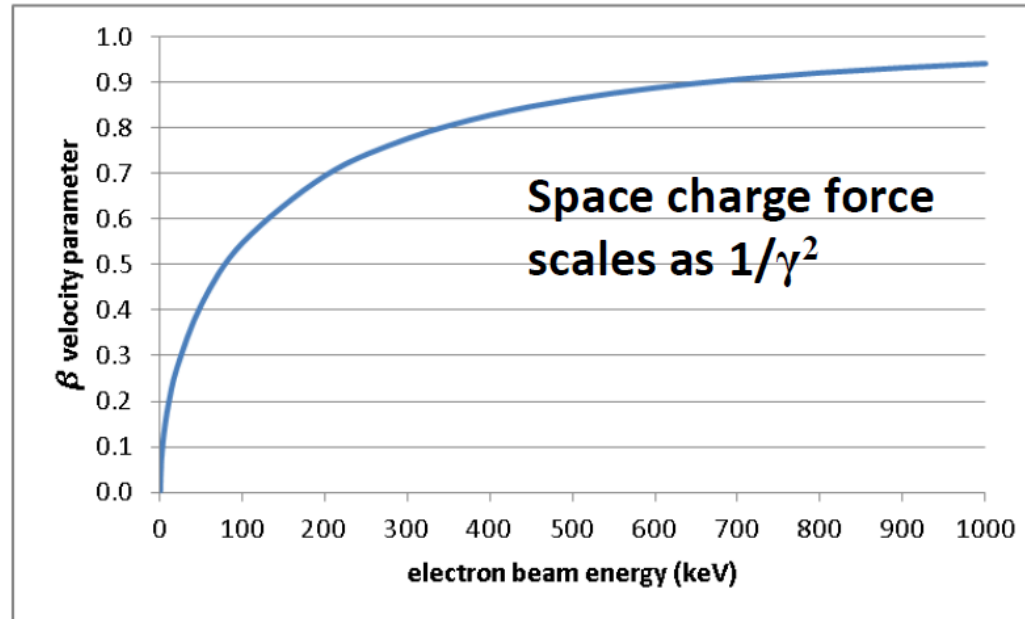
Photo electric emission



$$\text{Quantum efficiency (QE)} = \frac{\text{Number of electrons produced}}{\text{Number of incident photons}}$$

ENJEKTÖR SİSTEMLERİ

Space Charge

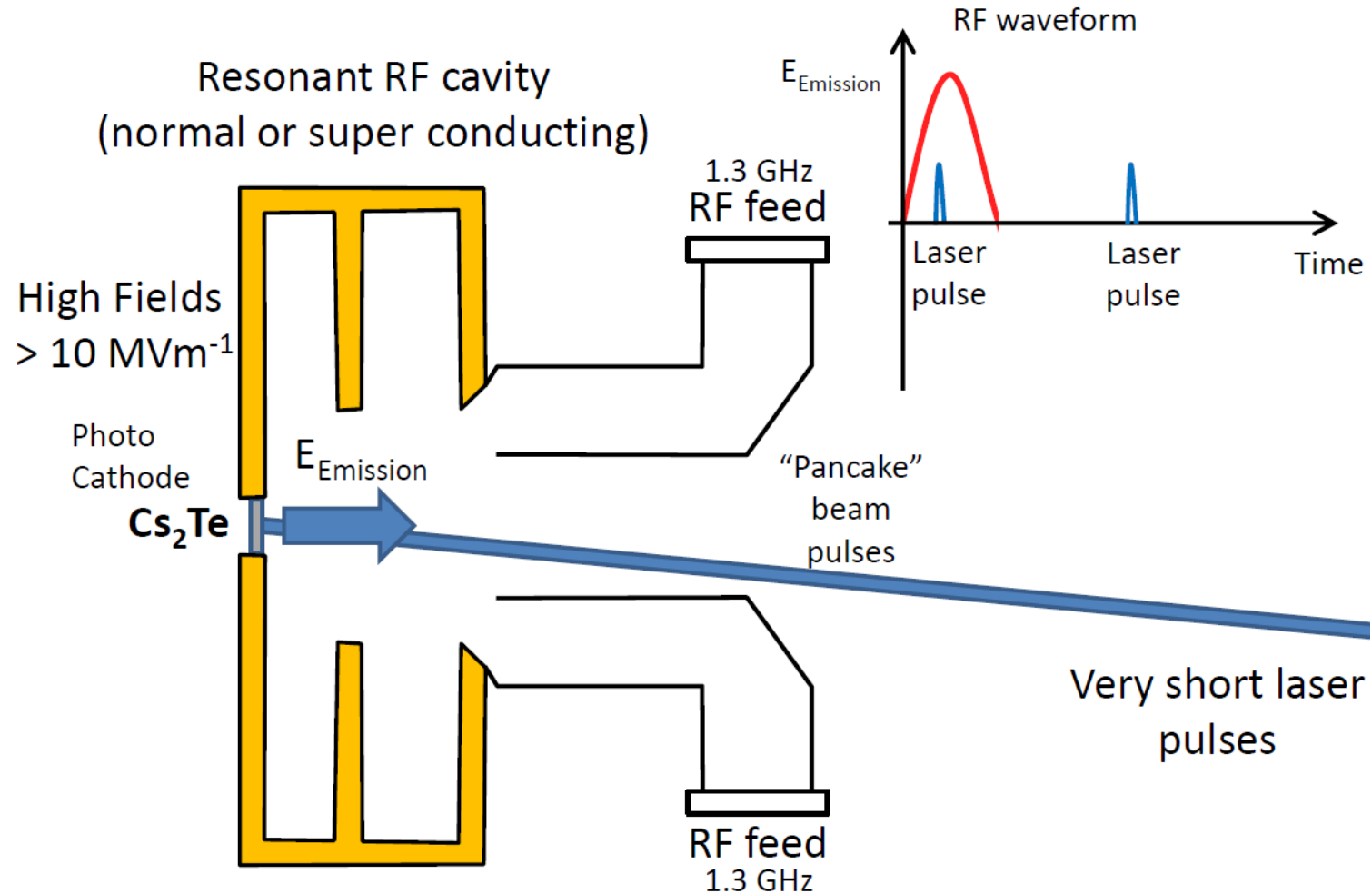


At 500 keV
electron $\gamma = 2$

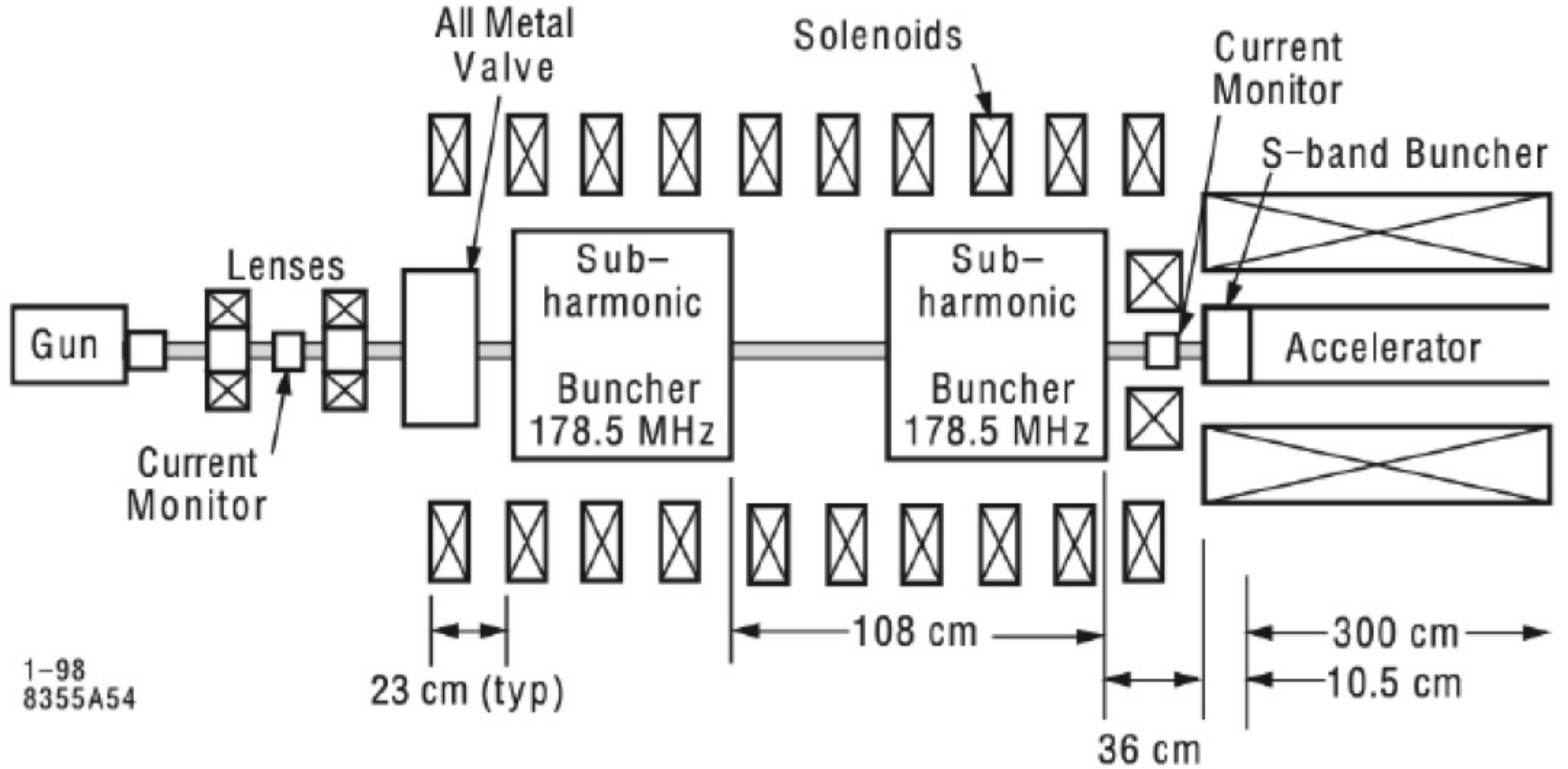
(940 MeV
proton $\gamma = 2$)

ENJEKTÖR SİSTEMLERİ

RF Photemission Source



ENJEKTÖR SİSTEMLERİ



RF SİSTEMLERİ

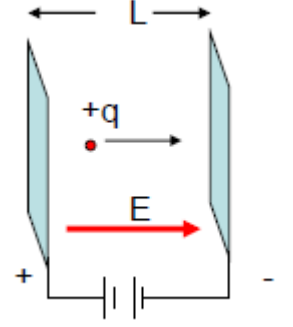
Elektrostatik Hızlandırıcılar

Bu hızlandırıcılar iki iletken arasındaki statik potansiyel farkını kullanarak enerji aktarımı yaparlar $\Delta K = Qv_0$

İlk hızlandırıcılar Cockcroft-Walton generatörü ve Van de Graff Jeneratörüdür. 25 MV ulaşılmış en büyük voltaj değeridir. 20 MV'dan daha büyük DC statik alan oluşturmak oldukça zordur.

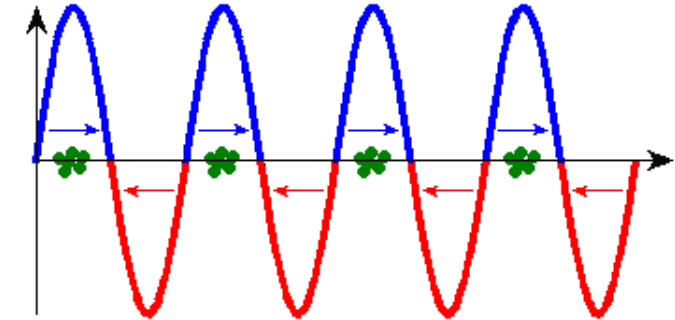
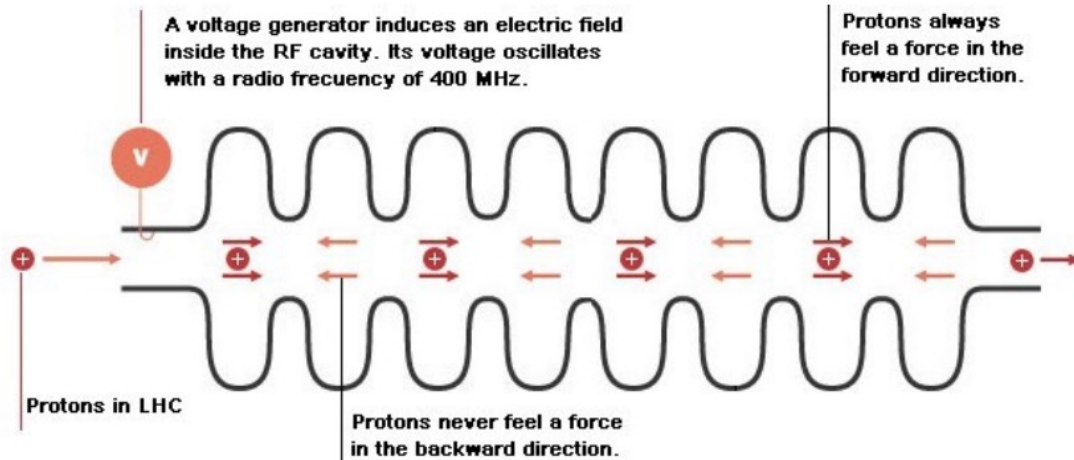


Cockcroft-Walton generator



RF kovuklar (Kaviteler)

- RF kovuklar (rezonans kovuklar olarak da isimlendirilir) en gelişmiş hızlandırma yöntemidir.



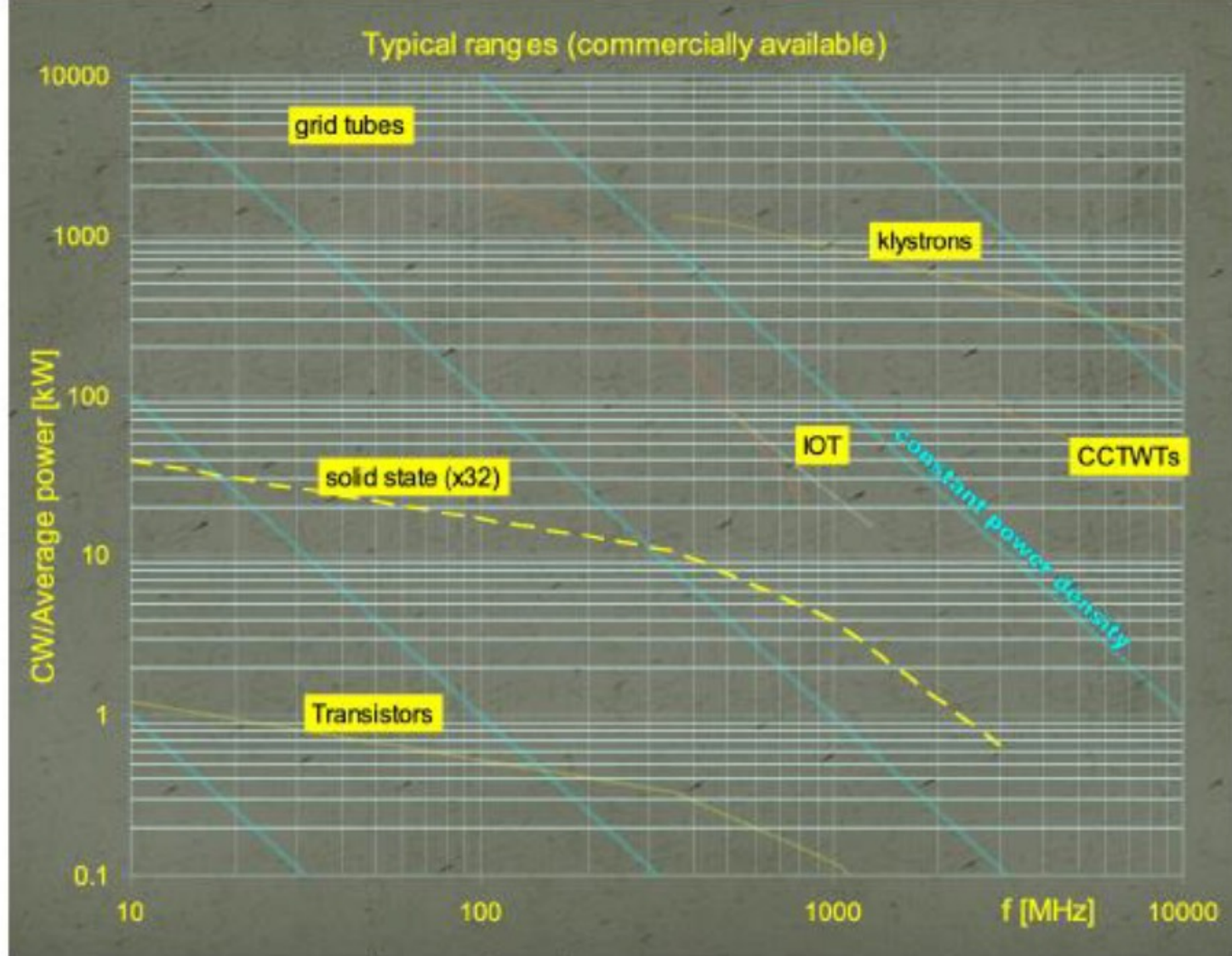
Animasyon Veli Yıldız 2014 yılı sunumundan alınmıştır

RF SİSTEMLERİ

- RF Sistemleri Modulatörden sağlanan yüksek voltaj pulslarını, pulslu Radyo Frekans enerjisine dönüştürür.
- Bu RF pulsları hızlandırıcı yapılara gönderilerek yüklü parçacıkların hızlandırılması için kullanılır.
- Bir RF sisteminin ana bileşeni mikrodalga kaynağıdır.
- Mikrodalga sinyallerini oluşturmak ve yükseltmek için çeşitli mikrodalga tüpleri vardır.
- Magnetronlar ve Klystronlar yaygın olarak kullanılan örnekleridir.

RF SİSTEMLERİ

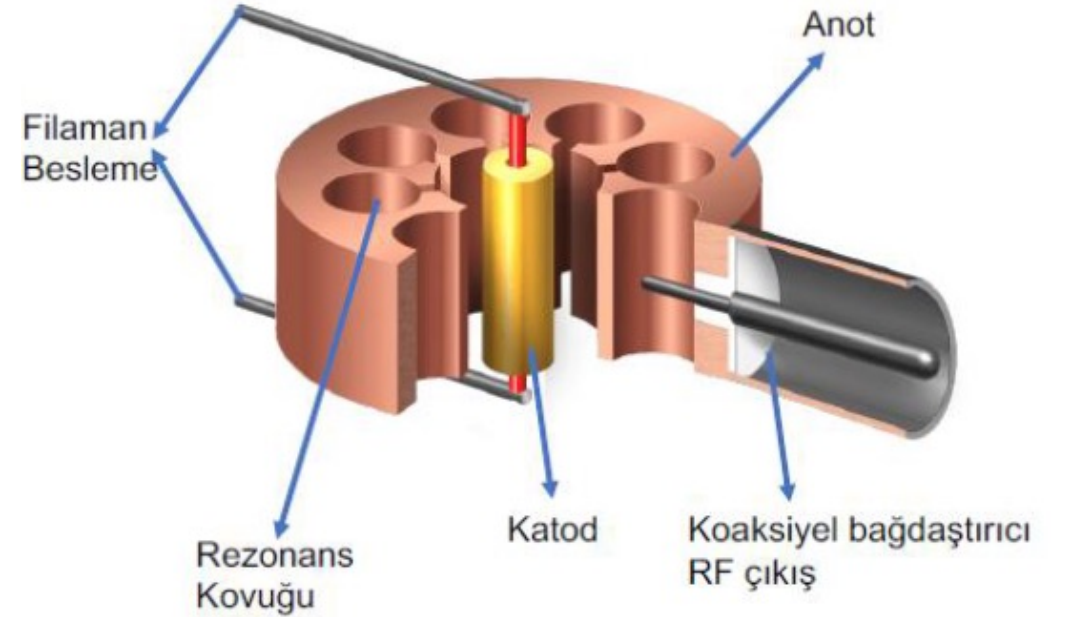
Frenkans bandı ve güç kaynağı çeşitleri



RF SİSTEMLERİ: GÜÇ ÜRETÇLERİ

Magnetron

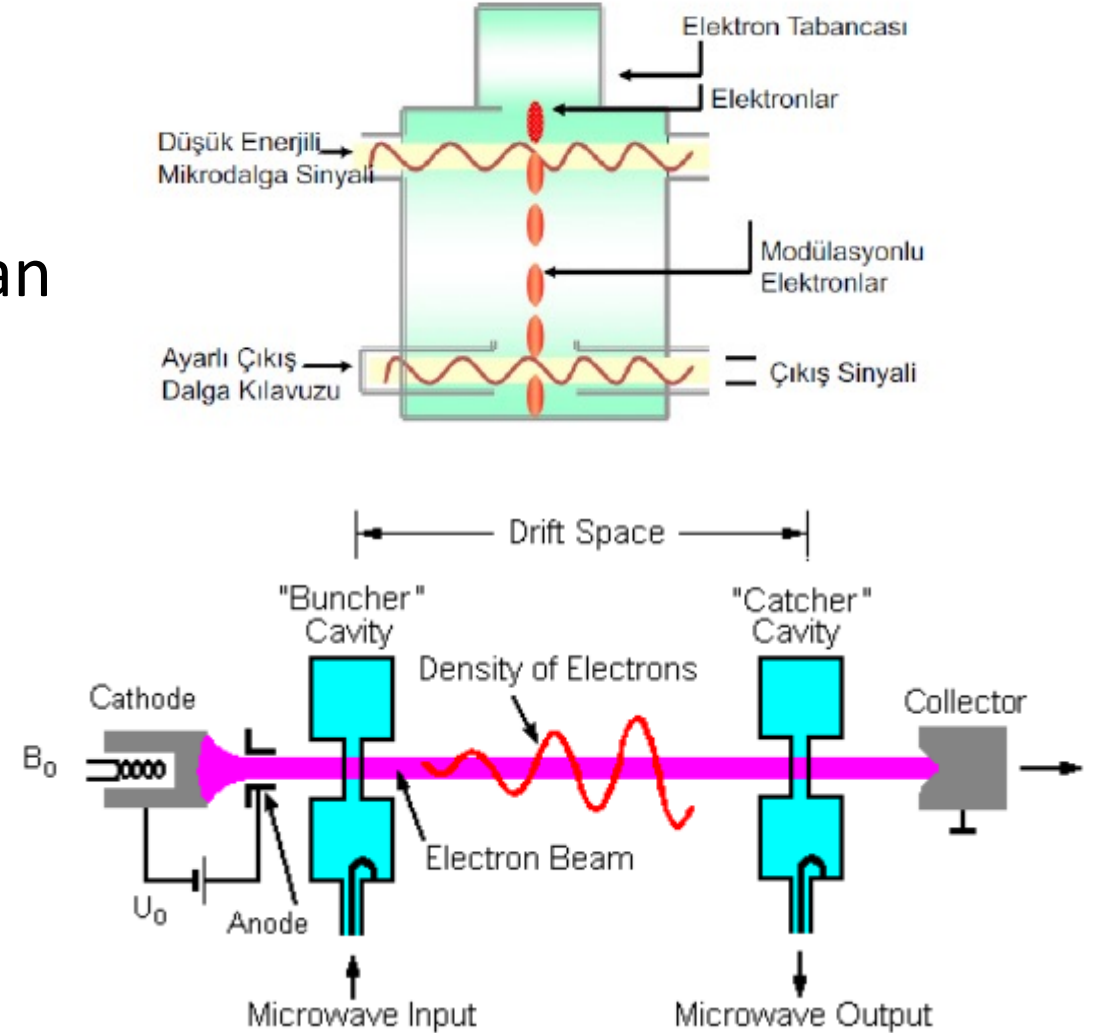
- Bir magnetron, elektron tüpleri ailesine ait bir mikrodalga güç osilatörüdür.
- Boşluklar E ve H alanları ile etkileşime giren elektronlar tarafından uyarıldığında mikrodalga frekanslarında rezonans yapacaktır.



RF SİSTEMLERİ: GÜÇ ÜRETEÇ VE YÜKSELTEÇLERİ

Klystron

- Yüksek hızlandırma gerilimi ile oluşturulan demetin kinetik enerjisinin mikrodalga enerjisine dönüştürülmesidir. Dönüşüm güçlendirilmiş RF Giriş sinyalinin, bir sonucu olarak ortaya çıkar.
- Güçlendirilmiş sinyal bir vakum penceresinin çıkış boşluğundan çıkarılır.



RF SİSTEMLERİ

KLYSTRON

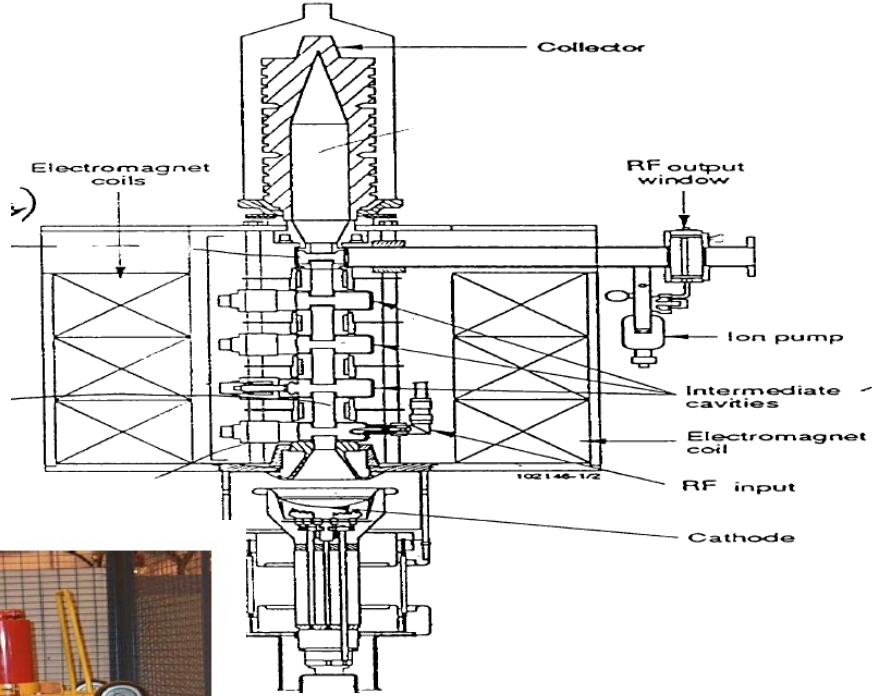


CERN CTF3 (LIL):
3 GHz, 45 MW, 4.5 μ s, 50 Hz, η 45 %



CERN LHC:
400 MHz, 300 kW, CW, η 62%

RF SİSTEMLERİ



S-Band 35 MW Klystron (TH2128)

Bant Kısaltması	Tanım	Frekans Aralığı
HF	High Frequency	0,003-0,03 GHz
VHF	Very High Frequency	0,03-0,3 GHz
UHF	Ultra-High Frequency	0,3-1 GHz
L	Long Wave	1-2 GHz
S	Short Wave	2-4 GHz
C	Compromise (between S and X)	4-8 GHz
X	Çarpı işareti anlamında ²	8-12 GHz
K _u	Kurz-under ³	12-18 GHz
K	Kurz	18-27 GHz
K _a	Kurz-above	27-40 GHz
V		40-75 GHz
W		75-110 GHz

IEEE Standartlarına göre Radar bantları

RF SİSTEMLERİ

SOLID STATE AMPLIFIER

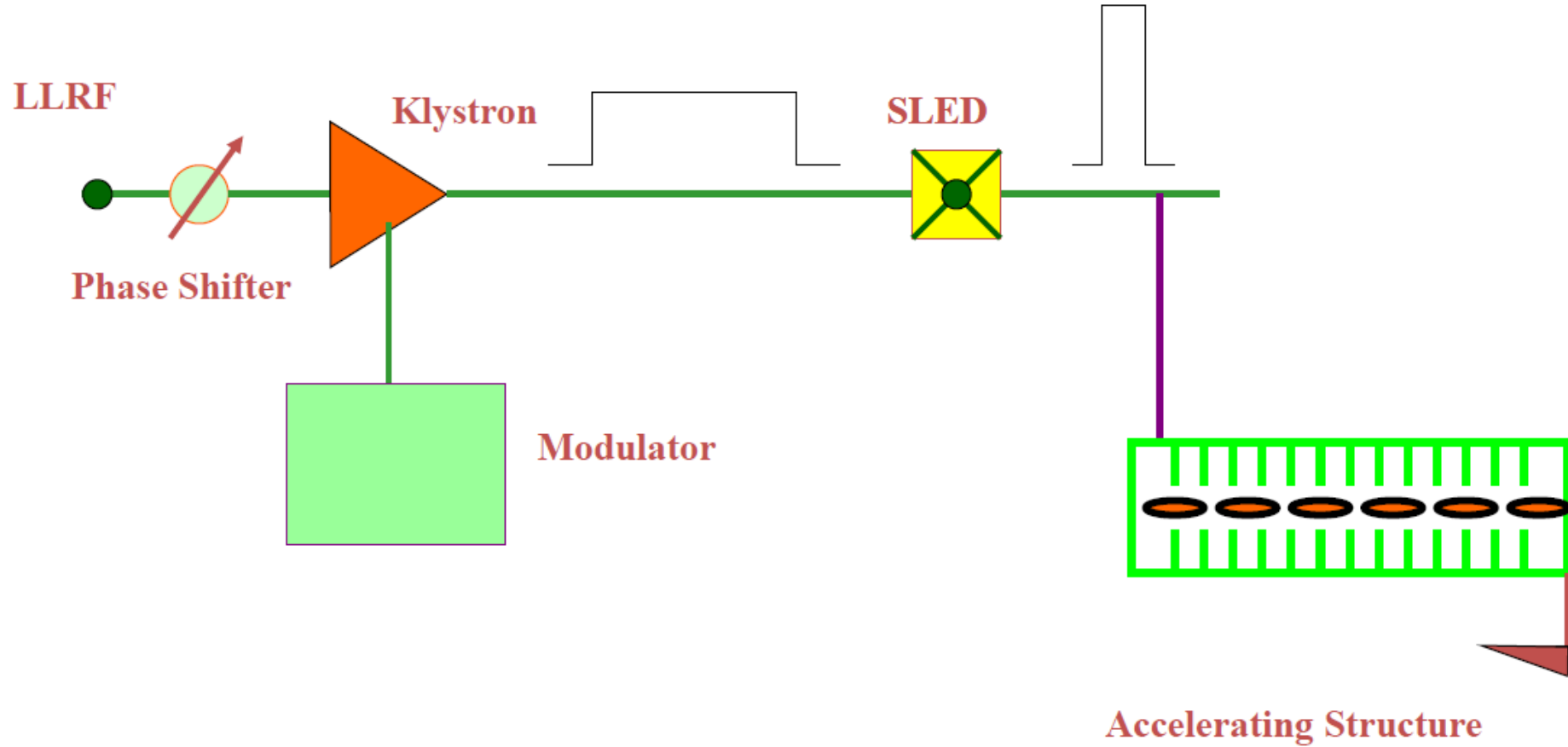


CERN LEIR, 1 kW



JPARK, 8 ve 4 kW

RF SİSTEMLERİ



VAKUM SİSTEMLERİ

Demet hattının vakum altında tutulmasının iki temel sebebi;

- Elektronların yörüngeleri boyunca istenmeyen safsızlıklarla etkileşime girerek saçılmasını engellemek
- Tabanca ile hızlandırıcı kaviteler gibi yüksek elektrik alan kullanan sistemlerde atlamaları engelleyerek hızlandırma gradyentini maksimum tutmaktır.
- Bundan ayrı olarak genellikle daha düşük bazı vakum değerleri kullanan kryojenik zırhlar ve RF iletim hatları da ayrıca vakumlanan bölgelerdir.
- Sinkrotron gibi büyük tesislerde bu koşulları yakalamak oldukça zorlu ve uzun bir süreç gerektirmektedir.

VAKUM SİSTEMLERİ

Demet Ömrü

- Paketçik içerisindeki parçacıkların gerek paketçik içerisinde bulunan diğer parçacıklar ile gerekse ortamda bulunan gaz molekülleri ile etkileşmesi demet ömrüne bir takım kısıtlamalar getirir. Bu etkileşmelerin en önemlileri elastik saçılma, inelastik saçılma ve Touschek saçılmalarıdır. Bu üç demet ömrü toplam demet ömrünü aşağıdaki ifade ile belirler.

$$\frac{1}{\tau_{tot}} = \frac{1}{\tau_{tous}} + \frac{1}{\tau_{el}} + \frac{1}{\tau_{inel}}$$

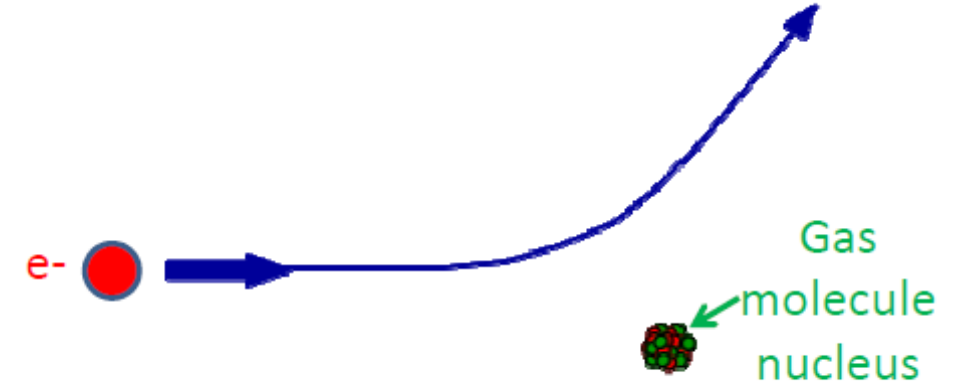
VAKUM SİSTEMLERİ

Elastik Saçılma

- Elastik saçılma demet ömrü, elektronların kalıntı gazlardan Rutherford saçılmasına uğramasının getirdiği bir kısıtlamadır.
- Parçacıkların enine hareketlerini değiştirerek betatron salınımlarını artırır

$$\frac{1}{\tau_{el}[s]} = \frac{2\pi r_e^2 c N_A}{R \gamma^2} \cdot \frac{\langle \beta_y \rangle}{A_y [m.rad]} \frac{Z^2 N r_p}{T} P [Pa]$$

- Burada R evrensel gaz sabiti, Z gazların atom numarası, N bir moleküldeki atom sayısı ve $\langle \beta_y \rangle$ ortalama düşey beta fonksiyonudur. A_y düşey akseptanstır.
- Parçacıkların enerjisi korunur.



VAKUM SİSTEMLERİ

İnelastik Saçılma (Bremsstrahlung Saçılması)

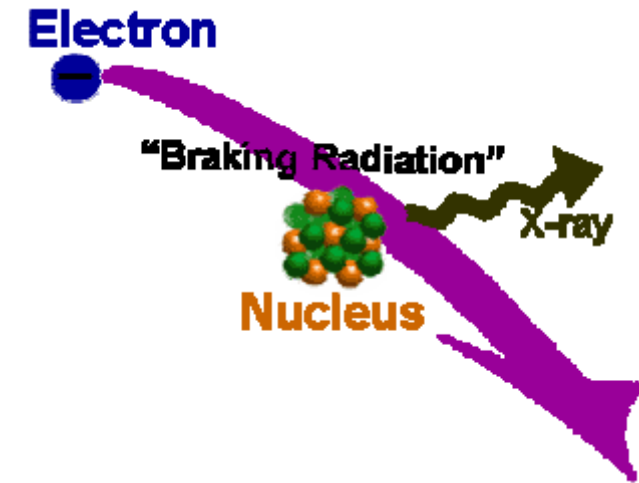
- İnelastik saçılma demet ömrü elektronların ortamda bulunan kalıntı gaz atomları ile etkileşmesi sebebi ile foton yayınlarken enerji kaybetmesinin yol açtığı bir kısıtlamadır. İnelastik saçılma için demet ömrü

$$\bullet \frac{1}{\tau_{inel}[s]} = \frac{4r_e^2 c N_A}{137R} \cdot L(\delta_{acc}) \ln \frac{183}{\sqrt[3]{Z}} \frac{Z^2 N r_p}{T} P [Pa]$$

ile belirlenir.

Burada $L(\delta_{acc}) = \frac{4}{3} \left(\ln \frac{1}{\delta_{acc}} - \frac{5}{8} \right)$ ile verilir. δ_{acc} halkanın enerji akseptansıdır.

Parçacıkların enerjisi korunmaz



VAKUM SİSTEMLERİ

Vakumu bozan faktörler

Kapalı hacimli bir kazanın vakum değerini bozan dört temel faktör vardır ve tasarım aşamasında bu faktörlerin tamamı ayrı ayrı değerlendirilmelidir

Kaçaklar :

- UHV sistemlerinde her bir flanş bağlantısı ve her bir kaynak birer kaçak noktasıdır

Sanal kaçaklar

- Sanal kaçak vakum sistemi içindeki ölü hacimlerde kalan gazların efektif bir şekilde pompalanamayarak çalışma süresi boyunca yavaş yavaş ortama difüze olmasıdır. Sanal kaçakları minimize etmek için; mümkün olan her yerde kaynak bağlantıları iç yüzeyden yapılmalı, kazan içerisinde minimum sayıda kör delik olmasına dikkat edilmeli

VAKUM SİSTEMLERİ

Gaz salınımı

- Gaz salınımı (outgassing) vakum kazanlarının iç yüzeylerine tutunan ve malzeme içindeki yapısal kusurlarda biriken gaz moleküllerinin vakum ortamına salınmasıdır. Oda koşullarında kararlı bir yapıda olmasına karşın vakum ortamında gaz molekülleri yüzeyden kopmaya başlar. Yaklaşık 10^{-6} mbar'dan daha düşük basınçlarda gaz salınımı nedeniyle vakumda oluşan bozulma kaçaklar nedeniyle olan bozunmanın üzerine çıkmış olur ve genellikle minimum vakum değeri ile bu değere inebilmek için gerekli olan pompalama süresini limitleyen faktör gaz salınımıdır.

Kirlilik

- Vakum sistemlerinde kirlilik organik ve inorganik olmak üzere iki başlıkta incelenebilir. İmalat sırasında malzemeye bulaşan yağ bazlı kimyasallar, el izi, asitler ve alkaloidler yüksek oranda gaz salınımına sebep olur, bu nedenle montajdan önce tamamen temizlenmelidir. İnorganik safsızlıklar ise hem pompalama kapasitesini düşürür hem de flanş bağlantılarının sağlıklı olmasını engelleyerek kaçak oranını arttırır.

VAKUM SİSTEMLERİ

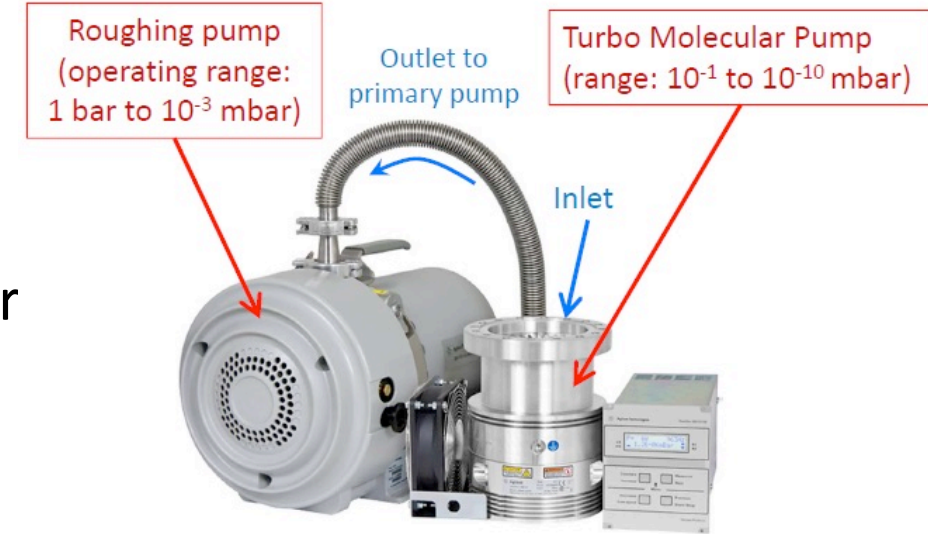
Cihazlar

Mekanik pompa

- Montajı tamamlanmış sistemlerin 10^{+3} mbar atmosferik basınçtan 10^{-3} mbar seviyelerine indirilmesinde kullanılır Scroll, root, screw gibi pek çok tipi ve tek ya da iki kademeli yapıları mevcuttur

Turbomoleküler pompa (TMP)

- TMP'ler atmosferik koşullarda çalışmaya başlar ancak ortalama 10^{-3} mbar seviyesinden itibaren verimli hale gelerek sistem basıncını 10^{-8} mbar seviyelerine kadar düşürebilir. İçerisinde bulunan çok bıçaklı rotor 1200 Hz'e kadar bir hızda dönerek içerisine difüze olan gazı mekanik kuvvetle çıkışa yönlendirir. TMP'lerin verimli çalışabilmesi için giriş ve çıkış arasındaki basınç farkı belirli bir eşik değeri aşmamalıdır. Bu nedenle tüm TMP'ler bir mekanik pompa tarafından desteklenmelidir



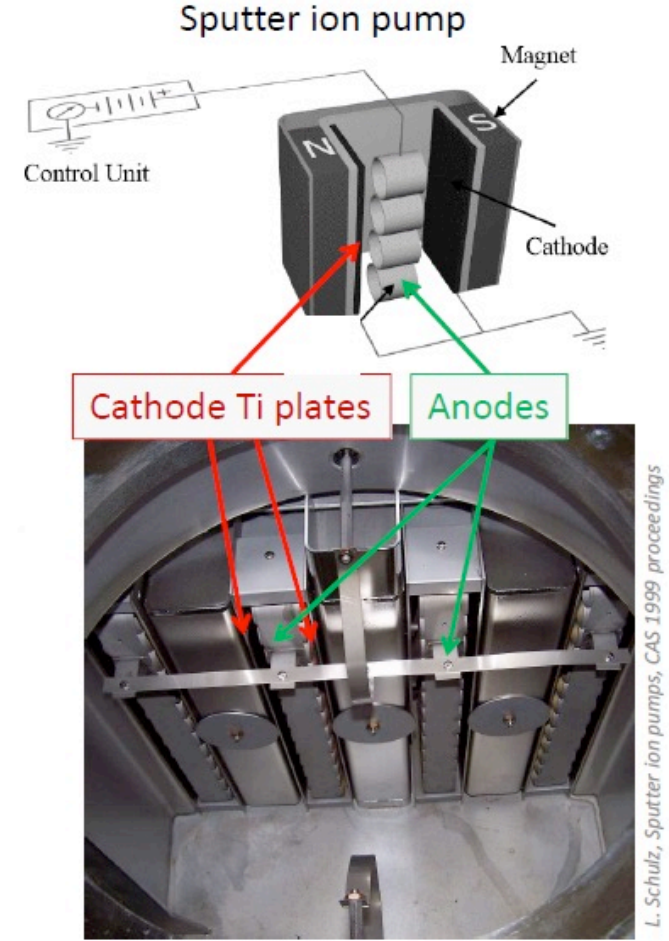
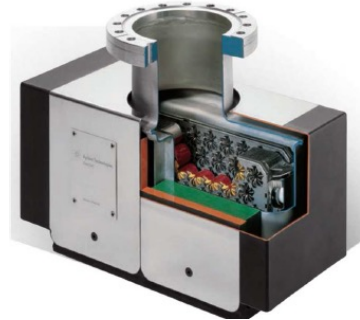
Turbo molecular and roughing pump connected in series: from 1 bar (atmospheric pressure) until $\sim 10^{-10}$ mbar



VAKUM SİSTEMLERİ

İyon pompası

- Diyot, triyot, asal diyot gibi tipleri bulunan iyon pompaları, içerisindeki plakalar arasında oluşturulan yüksek elektrik alan sayesinde gaz moleküllerini iyonlaştırarak plaka yüzeylerine tutunmalarını sağlar.
- İçerinde bulunan güçlü kalıcı mıknatıslar iyonlaşan molekülün yörüngesini uzatarak bağlanma olasılığını, dolayısıyla pompa gücünü artırır. İyon pompaları 10^{-4} mbar'dan daha düşük vakumlarda devreye alınabilir.



VAKUM SİSTEMLERİ

Buharlaşmasız toplayıcı pompa



- İyon pompalarının temel dezavantajları gazın molekül ağırlığı ile pompalama gücünün ters orantılı olmasıdır. Bu nedenle atmosferik koşullarda havanın kütlece %1'inden düşük bir oranını oluşturan hidrojen iyon pompası tabanlı bir UHV sisteminde 10^{-10} mbar mertebesinde toplam gaz karışımının %99'unu oluşturabilir. Bu durum sadece hidrojen molekülü pompalanması için iyon pompalarının aşırı büyümesi anlamına gelmektedir.
- Bu soruna karşı alternatif çözüm özel olarak hidrojen pompalamak için geliştirilmiş yardımcı pompalar vardır. Son yıllarda geliştirilen buharlaşmasız toplayıcı pompa (non-evaporative getter, NEG) tipi pompalar hem hidrojen tutma kabiliyeti bakımından yüksek hem de gaz salınımı düşüktür. İyon pompalarına NEG tipi yardımcı pompalar ekleyerek ihtiyaç duyulan pompalama gücü dramatik oranda azaltılabilir.
- Kimyasal tip NEG pompalar sadece tek seferlik ısıl aktivasyona ihtiyaç duyan pasif pompalar olduğundan oldukça güvenli ve kullanımı kolaydır. Ayrı birer pompa ünitesi olarak kullanmak yerine vakum kazanlarının NEG materyali ile kaplanarak daha efektif sonuçlar alınması da mümkündür.

VAKUM SİSTEMLERİ

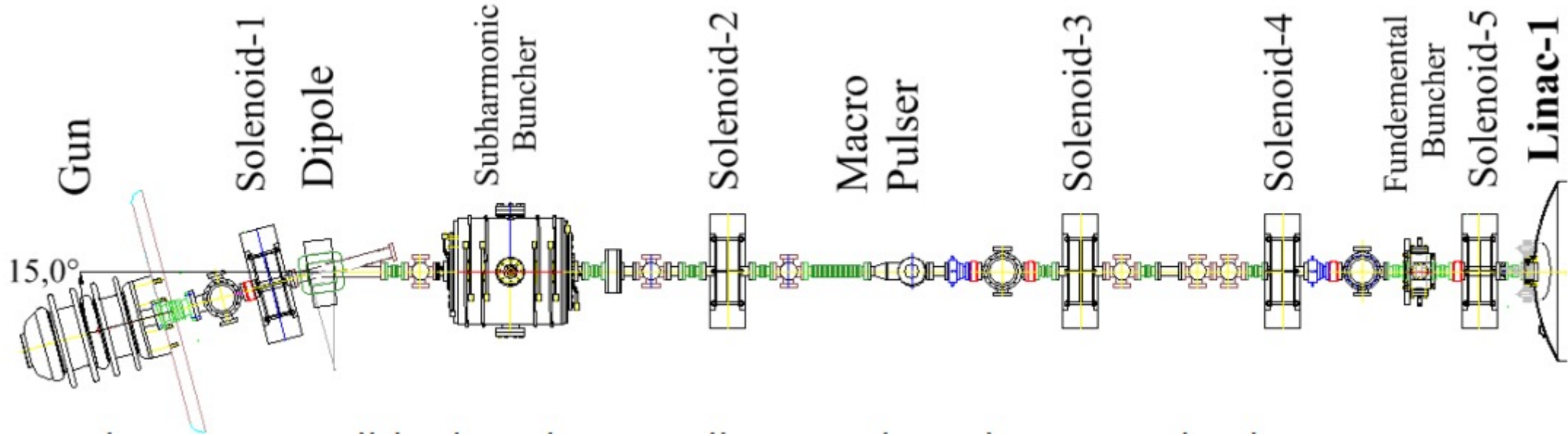
- **Bağıl gaz analizörü:** Temel olarak vakum altında çalışan bir kütle spektrometresidir.
- **He kaçak dedektörü:** He kaçak dedektörü sadece helyum gazına duyarlı bir kütle spektrometresi ile turbomoleküler pompanın birleşiminden oluşur. Vakum altındaki sistemin potansiyel kaçak noktalarına (flanş bağlantıları, kaynak noktaları gibi) dışarıdan sıkılan helyum gazı sistemin içerisine sızar ve dedektör tarafından algılanır
- **Vakum sensörleri**

Pirani sensörleri: Atmosferik koşullardan 10^{-4} mbar mertebelerine kadar ölçüm yapabilirler.

Bayard-Alpert (sıcak katot) sensörü: Bir sıcak filaman tarafından üretilen elektronlar sabit DC potansiyel altında anoda doğru sürüklenir. Bu sürüklenme sırasında ortamda bulunan gaz molekülleri ile etkileşime girerek onların da iyonlaşmasına ve ortaya çıkan yeni iyonların çağlayan etkisi yaratmasına sebep olur. Anot akımının okunması ile belirlenen çağlayan etkisinin büyüklüğü ortam basıncı ile ilişkilidir. Sıcak katot sensörler yaklaşık olarak 10^{-3} ile 10^{-11} mbar arası basınç değerlerini okuyabilir.

Ters magnetron (soğuk katot) sensör: Soğuk katot sensörde çekirdek elektron bir sıcak filaman yerine kozmik ışınlar, radyoaktif bozunma ya da başıboş yayılım gibi etkilerle üretilir ve çağlayan etkisini başlatır. Çekirdek elektron üretim verimi sıcak filamana kıyasla çok daha düşük olduğu için elektron yörüngesi güçlü bir manyetik alan ile uzatılır ve ölçüm hassasiyeti arttırılır. Bu yöntemle sıcak katot sensöre hemen hemen eşit bir ölçüm aralığı elde edilebilir.

DEMET PAKETLEYİCİLER

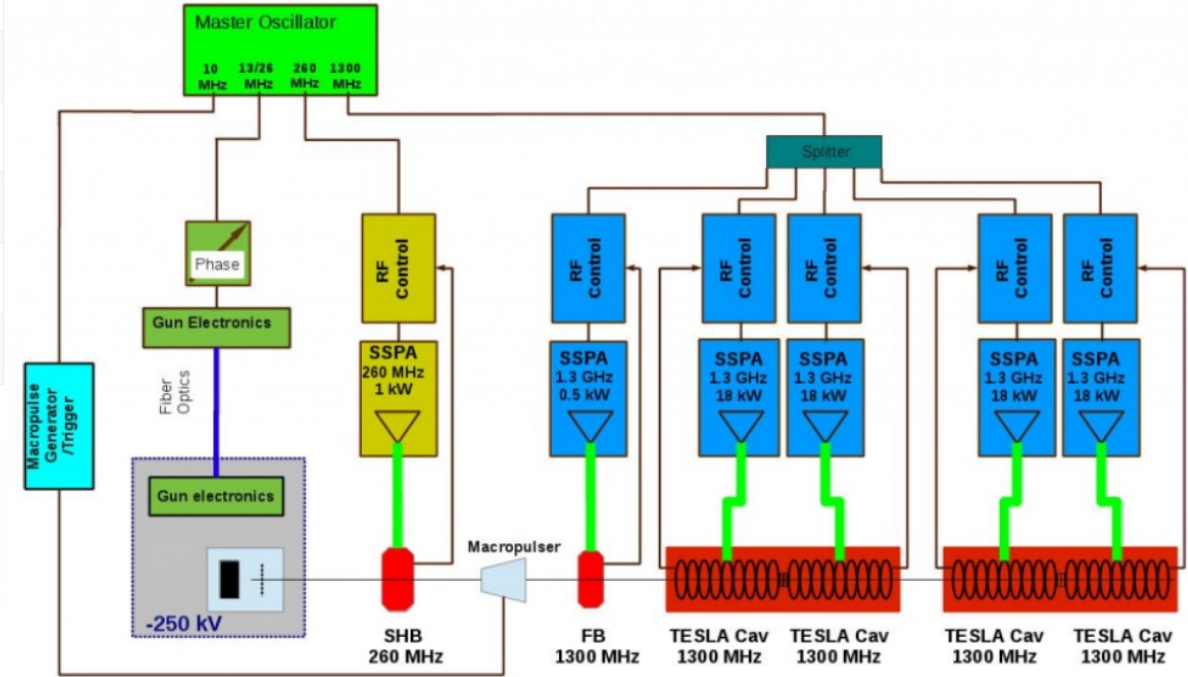
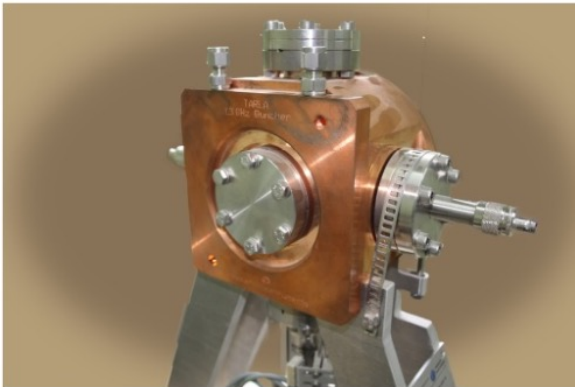


- TARLA injektörü 260 MHz ve 1.3 GHz Paketleyici kovuk (buncher cavities) içermektedir
- Elektron tabancasında 500 ps uzunluğunda üretilen paketçikler 260 MHz'lik subharmonik ve 1.3 GHz'lik temel paketleyici ile 10 ps'ye düşürülerek ana hızlandırıcı kısma gönderilir.

DEMET PAKETLEYİCİLER

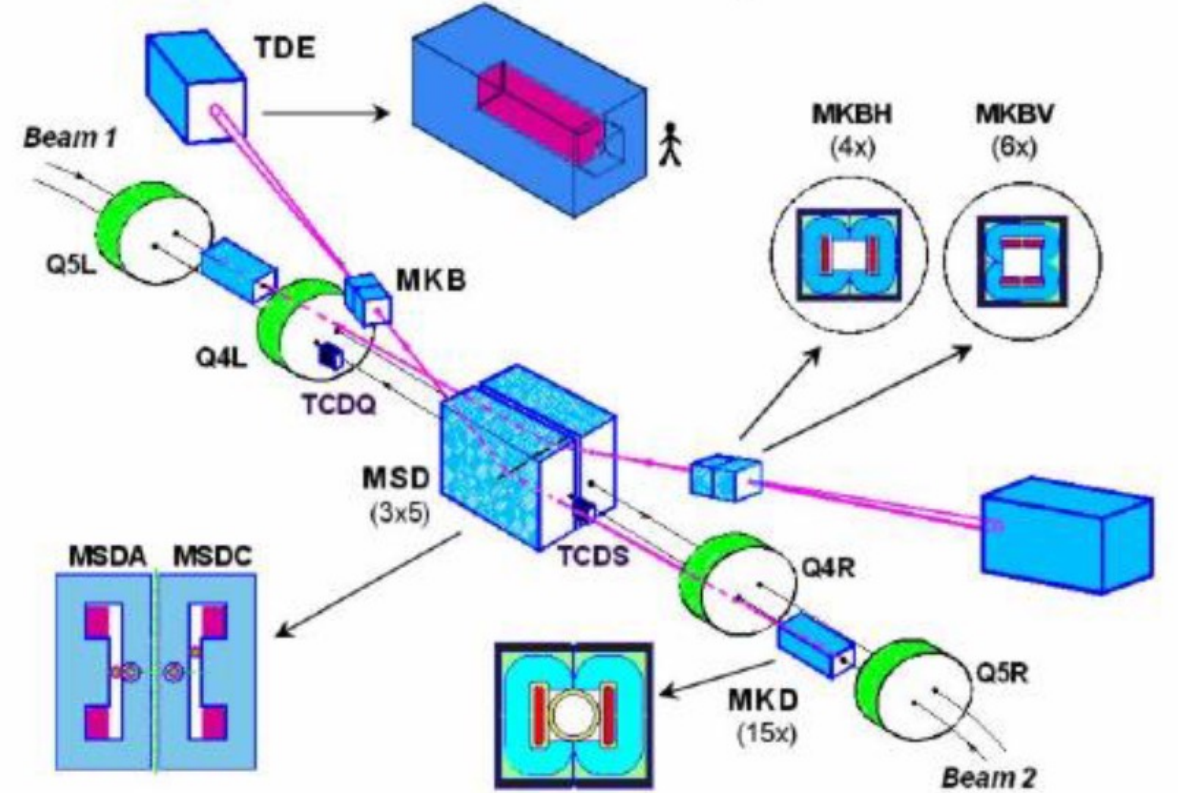
	SHB	FB	Units
Frequency	260	1300	MHz
Gap Voltage	35	20	kV
Input Power	1067	320	Watt
Q	12000	13750	--
Tuning range	250	1500	kHz

Figures show TARLA buncher cavities.



DEMET DURDURMA SİSTEMLERİ

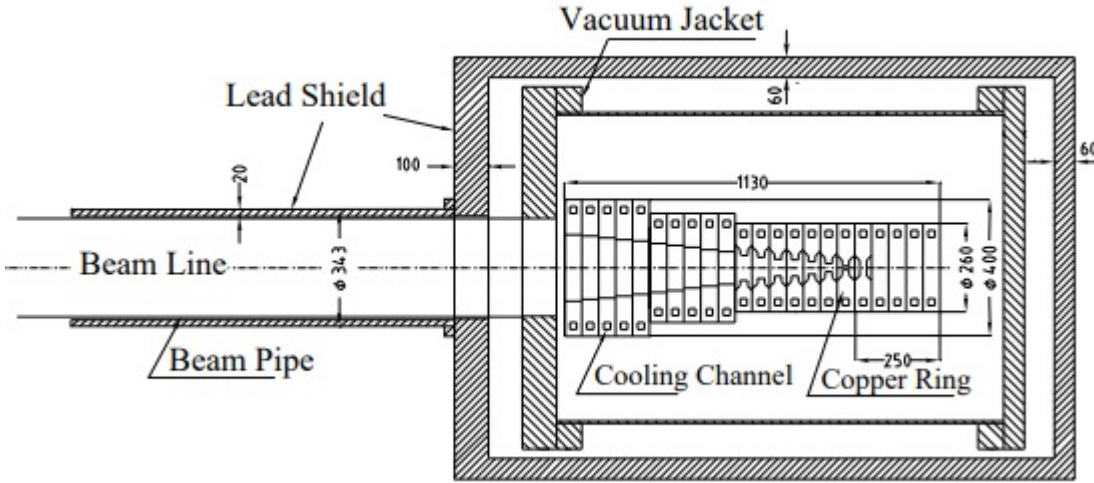
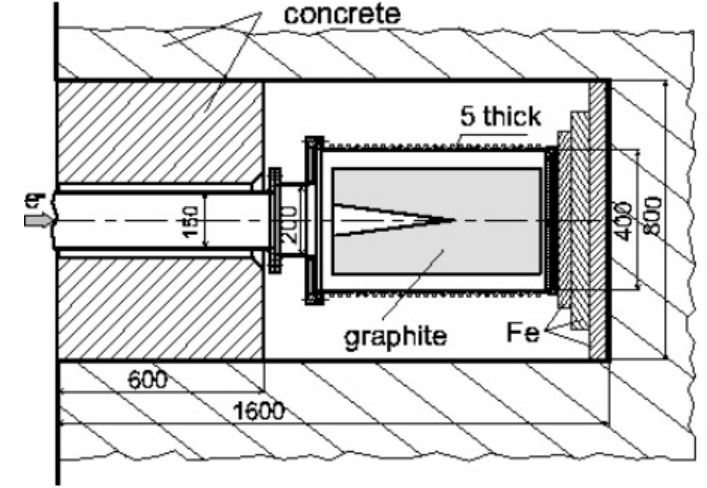
- Demet durdurma sistemleri genel olarak çelik bir silindir içinde yer alan segmentli bir karbon silindirden oluşur.
- Bu yapı su soğutmalı ve beton ve demir kalkanla çevrilidir.
- Döküm, transfer hatlarının sonunda bir kovukta barındırılır.



DEMET DURDURMA SİSTEMLERİ

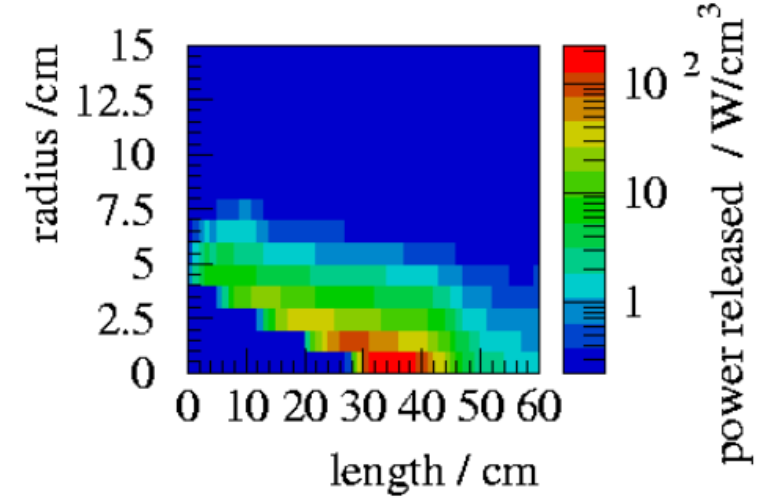
Kriterler

- Girişte magnetler yardımı ile demeti yaymak
- Demeti uzaysal olarak kısım kısım durdurmak
- Radyoaktivitenin oluşumunu minimize etmek



PNC'de bir linak için demet durdurucu tasarımı

<https://accelconf.web.cern.ch/I96/PAPERS/TUP25.PDF>



ELBE'de Demet durdurucu tasarımı ve 50 MeV'lik elektron demeti için grafit çekirdekte salınan güç
<https://www.hzdr.de/db/Cms?pOid=10981&pNid=0>

Fiziksel Özellikler

- **Akı:** Φ birim kesit alanından geçen parçacık sayısıdır.

$\Phi=dN/da$ veya dozimetrik hesaplarda $\Phi=dl/dV$ şeklinde ifade edilir.

- **Absorbe edilen doz:** D (birim: Gray, 1 Gy=1 J/kg) Herhangi bir materyalin **birim** kütlesi başına herhangi bir iyonize edici **radilyasyon** kaynaklı soğurulan enerjidir.
- **Aktivite:** Bir radyoaktif maddenin birim zamandaki bozunma sayısına **aktivite** denir. Klasik Birim : Curie (Ci). SI Birim : **Becquerel (Bq)**.
1 Ci=3,7x10¹⁰ **Bq**.

RADYASYON ETKİLERİ VE GÜVENLİĞİ

• Doz Miktarları:

- **Organ Absorbe edilen doz:** $D_T = \frac{1}{m_T} \int_{m_T} D d_m$ (birim Gy)
- **Eş değer doz:** Farklı radyasyon türlerinin ω_R ağırlık faktörü ile dokuda yada organda absorbe edilen $D_{T,R}$ dozların toplamıdır. $H_T = \sum_R \omega_R \times D_{T,R}$ (birim Sievert, 1 Sv= 100 rem)
- **Etkin doz:** Vücudun en duyarlı olduğu düşünülen çeşitli organ veya dokuların ω_T ağırlık faktörüyle ağırlıklandırılan eşdeğer dozların toplamıdır. $E = \sum_T \omega_T \times H_T$
- **Ortam dozu eşdeğeri:** H, hizalanmış alanın yönünün tersine yarıçap vektörü üzerinde 10 mm derinlikte 30 cm çaplı birim yoğunluklu doku küresinde karşılık gelen genişletilmiş ve hizalanmış alan tarafından üretilecek olan radyasyon alanındaki bir noktada doz eşdeğeridir.
- **Kişisel doz eşdeğeri:** Hp(d) (birim: Sv), insan vücudunda belirli bir noktanın altında, uygun bir derinlikte (d) standart dokudaki doz eşdeğeridir. Belirtilen nokta normalde bireysel dozimetrenin giyildiği yer olarak alınır. Etkili dozun değerlendirilmesi için d = 10 mm derinliğe sahip Hp(10) seçilir ve deriye, ellere ve ayaklara verilen dozun değerlendirilmesi için kişisel doz eşdeğeri Hp(0.07) seçilir.

RADYASYON KAYNAKLARI VE IŞIMA TÜRLEİ

- Elektron Demeti
 - Bremsstrahlung
 - Elektromanyetik ıĖ
- Proton Demeti
- İyon Demeti
 - Hafif iyon Etkileşimi
 - Ağır İyon Etkileşimi

Işıma Türleri

- Alfa
- Beta
- Gama
- Nötron
- X-Işını

RADYASYON TAŞIMA VE ZIRHLAMA

- **Zırhlama Malzemeleri**

Malzemelerin en düşük maliyetli olanı **topraktır** ve içerdiği sudan dolayı düşük enerjili nötronları azaltmada oldukça etkilidir. Ayrıca fotonları da durdurmaya yarayan yüksek atom numaralı elementleri de içerir. Bunun harici **beton** (çeşitli karışım oranlarında), **demir**, **kurşun** ve **mermer** radyasyon zırhlamada yaygın olarak kullanılırlar.

- **Muonlar**

10 GeV'den daha büyük enerjilerde önem kazanır ve çok yüksek enerjilerde ileri yönde zırhlama gereksinimi ortaya çıkar.

Bu nedenle aslında çok yüksek enerjili hızlandırıcılarda ileri kalkanlama için tek pratik çözüm makine yeraltında olması ve koruyucu malzeme olarak topraktan yararlanılmasıdır.

YAPAY RADYOAKTIVITE

• Sıvılar

- Hızlandırıcılarda soğutmada kullanılan sıvılarda örneğin demineralize sudaki oksijen üzerinde spalasyon reaksiyonlarından ortaya çıkan parçacık duşları trityum, berilyum veya kısa yaşam ömürlü beta yayıcılar (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O) yaratabilir.
- Hızlandırıcı tasarımı sırasında, soğutma sıvılarının aktivasyonu en uygun şekilde enerjiye bağlı nüklid üretim tesir kesitleri ile belirlenir. Ayrıca, oksijen üzerinde üretilen nüklidler için Monte Carlo kodları ile doğrudan bir hesaplama mümkündür.

• Hava

- Hadron çarpıştırıcılarının çoğunda hava molekülleri üzerindeki spalasyon reaksiyonu sonucunda ortaya çıkan nüklitler yandaki tabloda gösterilmiştir.
- Elektron çarpıştırıcılarında ise fotonükleer reaksiyon sonucu ^{13}N ve ^{15}O üretimi gerçekleşir.

Nuclide	$t_{1/2}$
^3H	12.3 a
^7Be	53.29d
^{11}C	20.38m
^{13}N	9.96m
^{15}O	2.03m
^{41}Ar	1.83h

RADYASYON HASAR EŞİKLERİ

Seramikler

Örgüdeki atomların nötronlarla reaksiyona girerek diğer türlere dönüştürülmesi, safsızlık atomları üretir. Örneğin, alüminyum oksit (Al_2O_3) veya berilyum oksit (BeO_2) gibi sıklıkla kullanılan yapısal veya yalıtkan malzemelerde, 10^{10} Gy'yi aşan çok yüksek dozlarda ve 10^{21} n/cm²'nin ($E > 0.1$ MeV) üzerindeki nötron akışlarında meydana gelir. Hızlı parçacıkların veya gama radyasyonunun geçişi genellikle seramik yapıları etkilemez. Bazı durumlarda renk değişimi olabilir.

Camsı Malzemeler

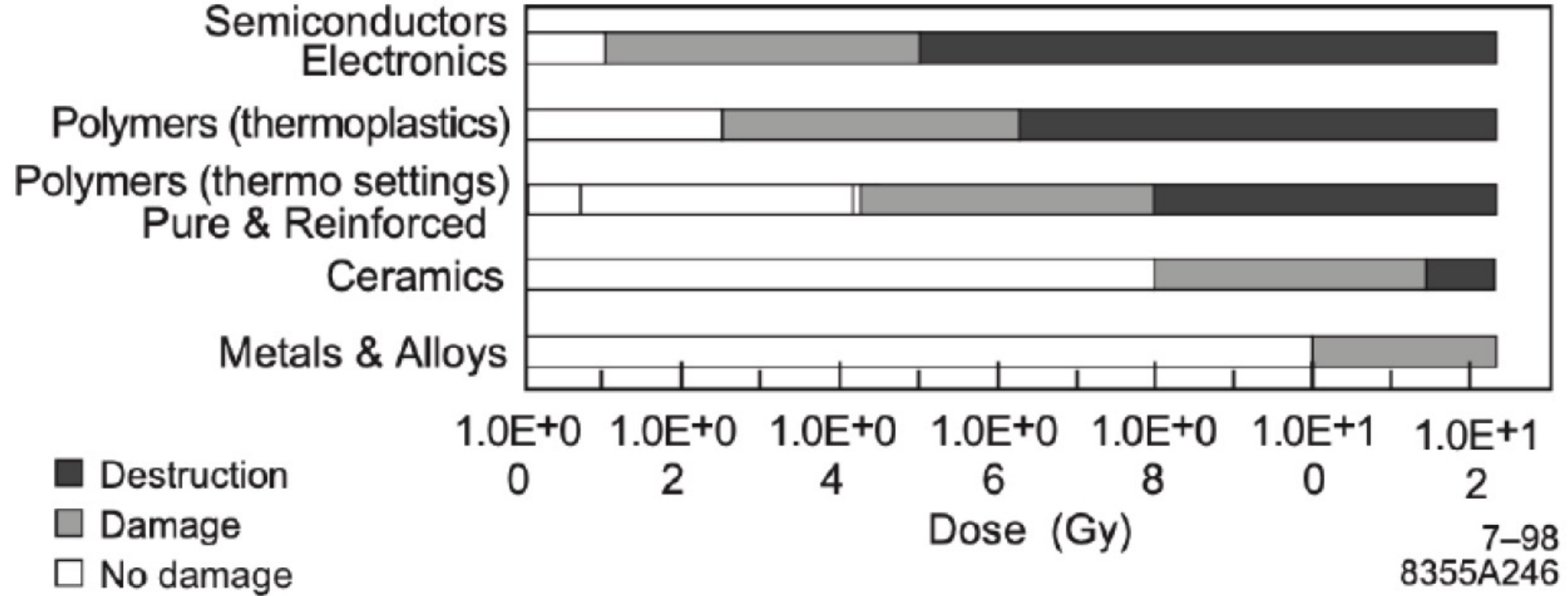
İyonlaştırıcı radyasyona maruz kalma camda renklenmeye yol açar ve bu genellikle 5×10^3 Gy civarında başlar. 10^5 Gy seviyesinde çok karanlık olur. PMMA oldukça radyosensitiftir, PMPS radyasyonda kullanılmadan önce özelliklerinin iyileştirilmesi gerekir. Plastik sintilatörler $10^4 - 10^5$ Gy seviyelerine kadar olan dozlarla başa çıkabilir. İnorganik ve sıvı sintilatörler üzerinde de birçok araştırma yapılmıştır. Genel olarak sıvı sintilatörler plastiklere göre daha yüksek radyasyon seviyelerine dayanabilir.

Metaller

Nötronlar yoluyla boşluklar, dislokasyonlar oluşur. Yüksek dozlara dayanım gösterirler.

RADYASYON HASAR EŞİKLERİ

General Appreciation of Radiation Damage to Materials



ÖZET

Hızlandırıcılar yüklü parçacıkları üretip, ihtiyaç duyulan enerjide uygun parametrelerle istenilen noktaya taşımayı hedefleyen makinalardır.

Farklı alt sistemleri içeren tesislerdir ve bu tesisler oluşturulurken, vakum, rf, yüksek voltaj, radyasyon güvenliği, soğutma gibi birçok farklı gereksinimin altyapı ve insan gücü ihtiyaçlarının düşünülmesi gereklidir.

KAYNAKLAR

Ü. KAYA, Hızlandırıcı Alt Sistemleri, UPHDYO-XIV 2023 kitapçığı.