

# Hızlandırıcı Fiziği-1

Veli YILDIZ  
(Veliko Dimov)  
26.02.2014

## Wednesday, 26 February 2014

- 09:00 - 10:00 Tetikleme ve Veri Toplama 1h0' ( 13-2-005 )  
Speaker: Samim Erhan (Univ. of California Los Angeles (US))
- 10:00 - 11:00 Nötrino Fiziği 1h0' ( 13-2-005 )  
Speaker: Dr. Umut Kose (Padova University, INFN)
- 11:00 - 12:00 Hızlandırıcı Fiziği 1 1h0' ( 13-2-005 )  
Speaker: Veliko Atanasov Dimov (Bogazici University (TR))
- 12:00 - 13:30 YEMEK
- 13:30 - 15:30 CAST Gezi 2h0' ( Main Building )  
*Please be at the meeting point in the Main Building at 13:30.*  
Speaker: Cenk Yildiz (Dogus University (TR))
- 15:30 - 16:30 SM18 Gezi 1h0'  
Speakers: Bora Akgun (Rice University (US)), Veliko Atanasov Dimov (Bogazici University (TR))
- 16:30 - 17:30 Higgs Hakkında 1h0' ( 4-3-006 - TH Conference Room )  
Speaker: Sezen Sekmen (CERN)

## Thursday, 27 February 2014

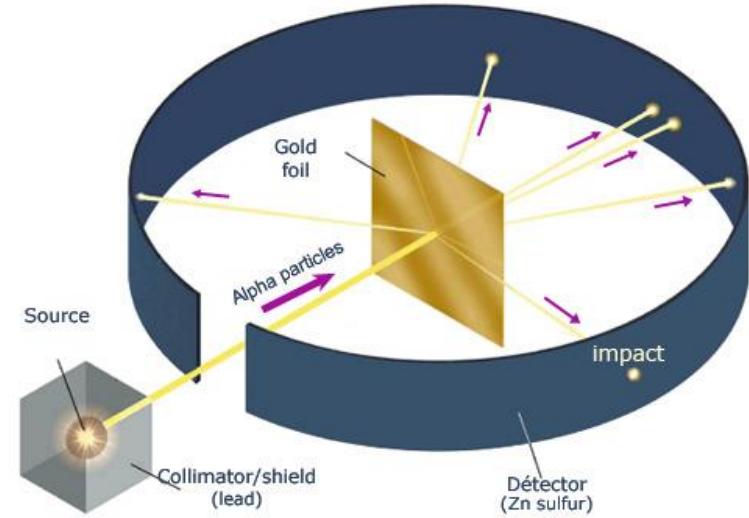
- 09:00 - 10:00 Güncel Sorunlar 1h0' ( 60-6-015 - Room Georges Charpak (Room F) )  
Speaker: Sezen Sekmen (CERN)
- 10:00 - 11:00 Hızlandırıcı Fiziği 2 1h0' ( 60-6-015 - Room Georges Charpak (Room F) )  
Speaker: Veliko Atanasov Dimov (Bogazici University (TR))
- 11:00 - 12:00 Diğer Uygulamalar 1h0' ( 60-6-015 - Room Georges Charpak (Room F) )  
Speaker: Dr. Gokhan Unel (University of California Irvine (US))
- 12:00 - 12:40 Değerlendirme ve Sertifika Töreni 40' ( 60-6-015 - Room Georges Charpak (Room F) )
- 12:40 - 14:40 YEMEK
- 19:30 - 21:30 Kapanış Yemeği

# İçerik

- Rutherford ve çekirdeğin keşfi,
- İlk defa yapay yollar ile atom çekirdeğinin parçalanması,
- Elektrostatik hızlandırıcılar,
- Hızlandırıcılarda alternatif akım kullanma fikri,
- Davul kovuk,
- Alvarez DTL,

# Rutherford ve çekirdeğin keşfi

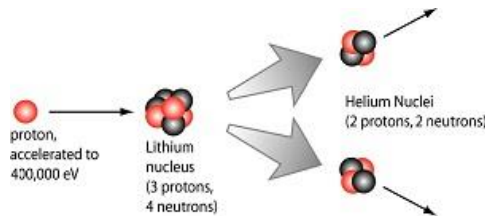
- Ernest Rutherford(1871-1937):
  - İskoç asıllı, Yeni Zellandalı fizikçi.
  - 1895 yılında İngiltere' de Cambridge Üniversitesi' nde J.J. Thomson ile çalışmaya başladı.
  - 1911 de yaptığı deney ile atom çekirdeğini keşfetti.
- Rutherford deneyi
  - Radyumu alfa parçacık (2 proton ve 2 nötron) kaynağı olarak kullanıldı
  - Altın folyadan saçılan alfa parçacıklarını florosan ekran yardımı ile gözlemlendi.
  - Saçılmalara bakarak atomun merkezinde pozitif yüklerin küçük bir hacimde toplanmış olması gerektiği sonucunu çıkardı.



# John Cockcroft, Ernest Walton ve ilk defa yapay olarak atom çekirdeğinin parçalanması (1932)



Ernest Rutherford (centre) encouraged Ernest Walton (left) and John Cockcroft (right) to build a high-voltage accelerator to split the atom. Their success marked the beginning of a new field of subatomic research. (Courtesy AIP Emilio Segrè Visual Archives.)



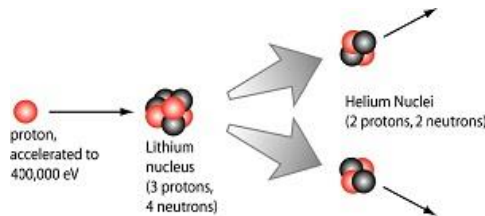
Lityum + proton = 2 Helyum çekirdeği + Enerji

$$E = mc^2$$

# John Cockcroft, Ernest Walton ve ilk defa yapay olarak atom çekirdeğinin parçalanması (1932)



Ernest Rutherford (centre) encouraged Ernest Walton (left) and John Cockcroft (right) to build a high-voltage accelerator to split the atom. Their success marked the beginning of a new field of subatomic research. (Courtesy AIP Emilio Segrè Visual Archives.)

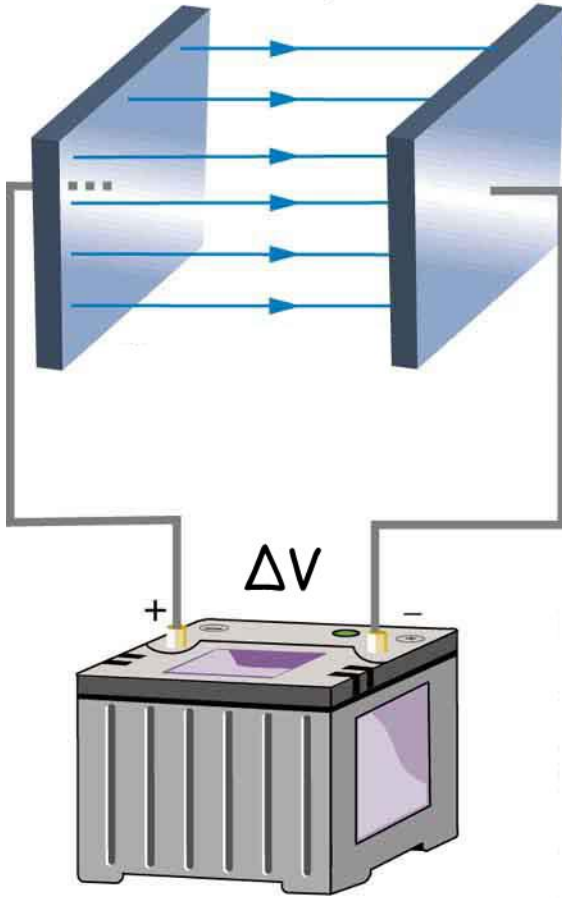


Lityum + proton = 2 Helyum çekirdeği + Enerji

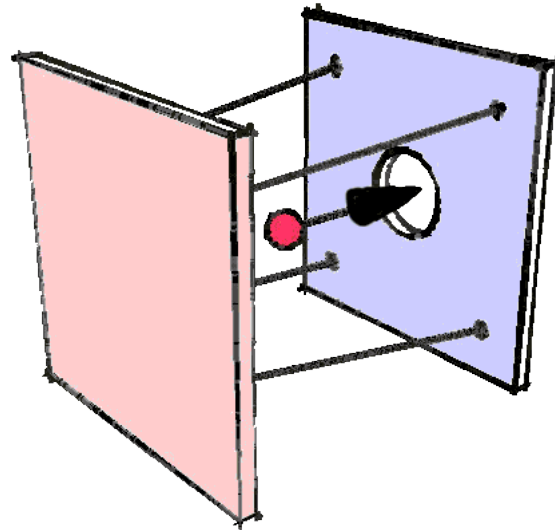
$$E = mc^2$$

Hızlandırıcılar bu deneyden sonra parçacık fizikçilerinin vazgeçilmez oyuncuğu oldu!

# Elektrostatik hızlandırıcılar

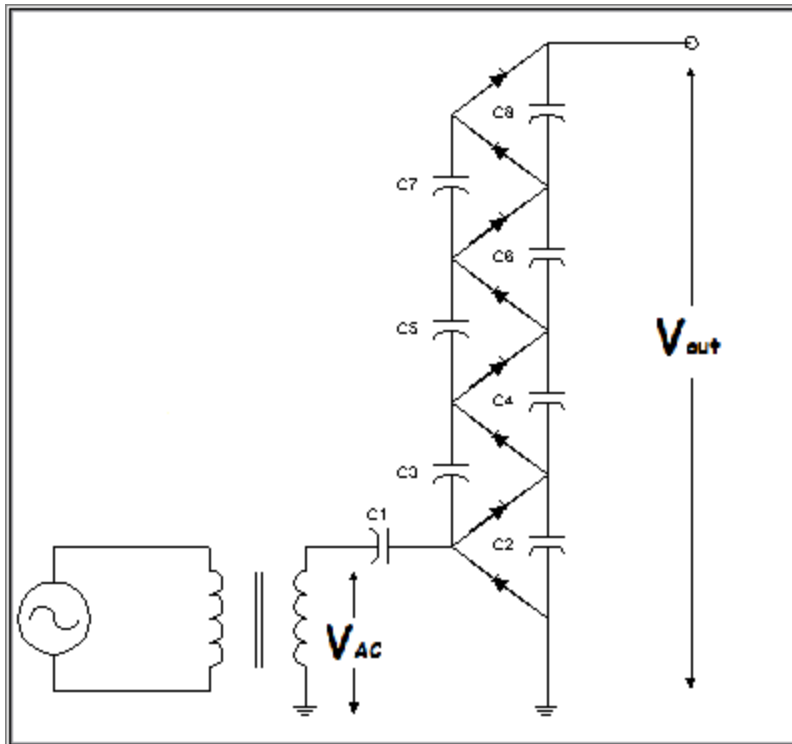


- En basit hızlandırma yöntemi: Paralel Levha
- $\Delta E = q \cdot \Delta V$
- eV: bir elektronun yüküne sahip bir parçacığın 1V luk gerilimde hızlandığında kazandığı kinetik enerji.



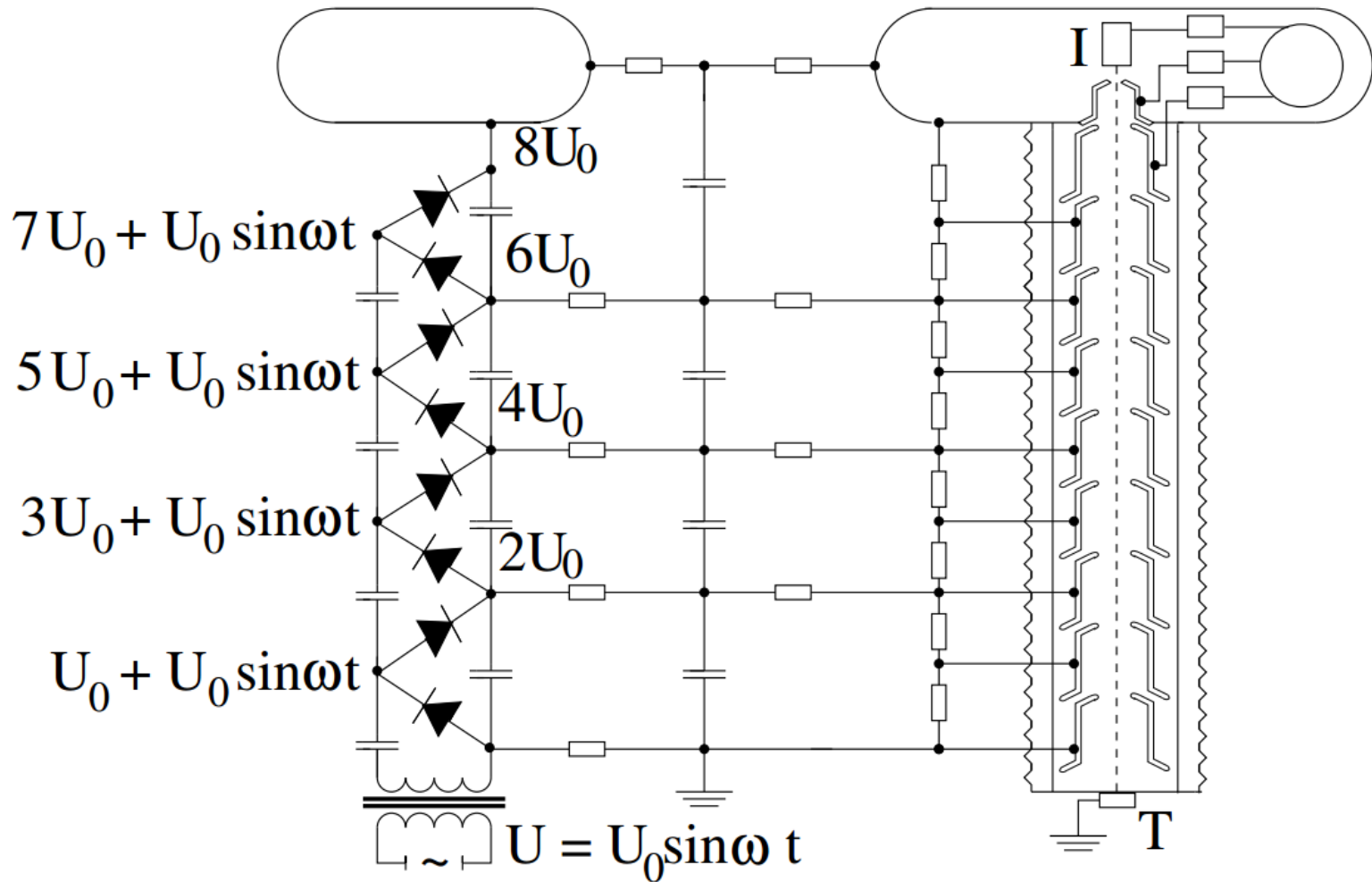


# Cockroft-Valton jeneratörü

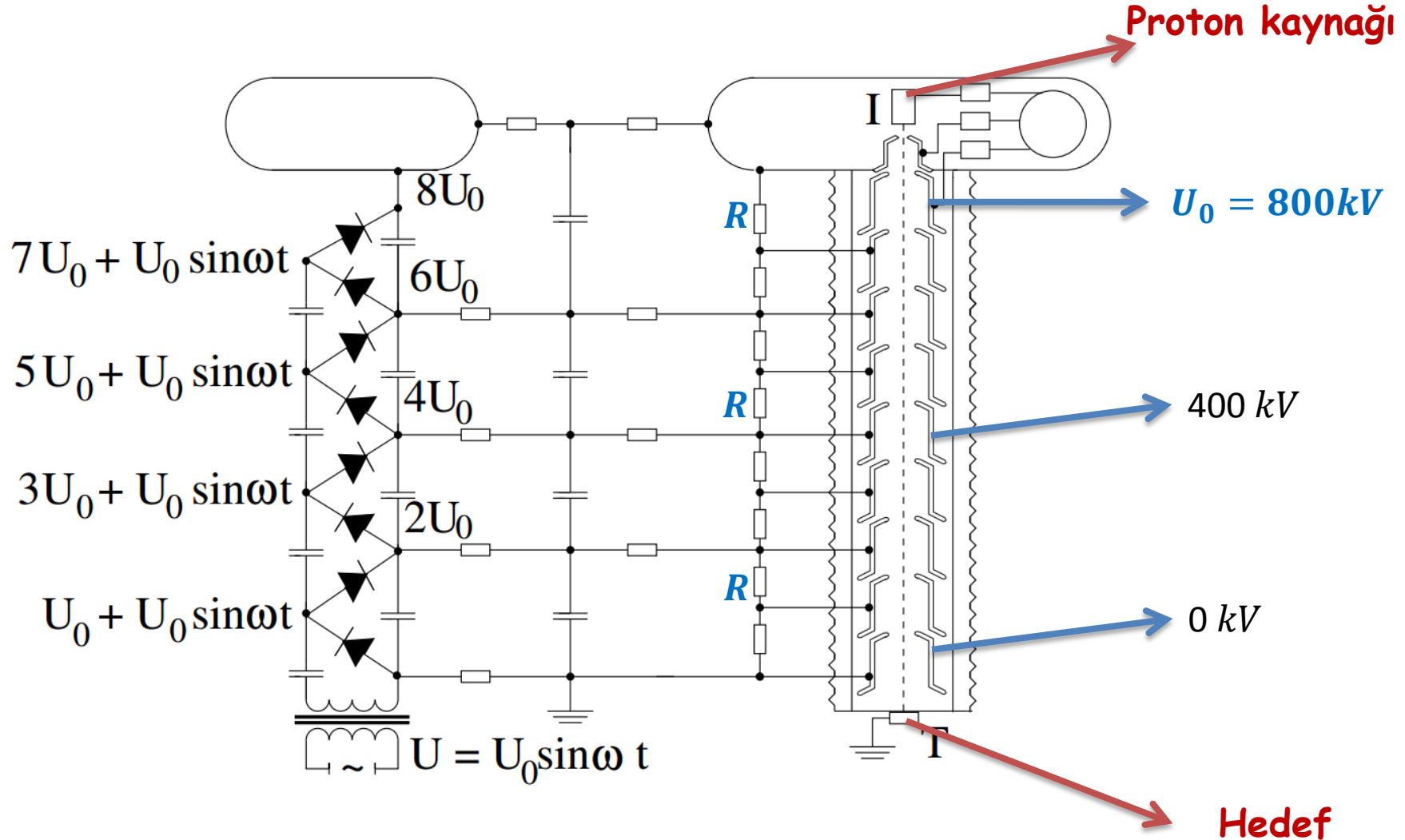




# Cockroft-Walton jeneratörü



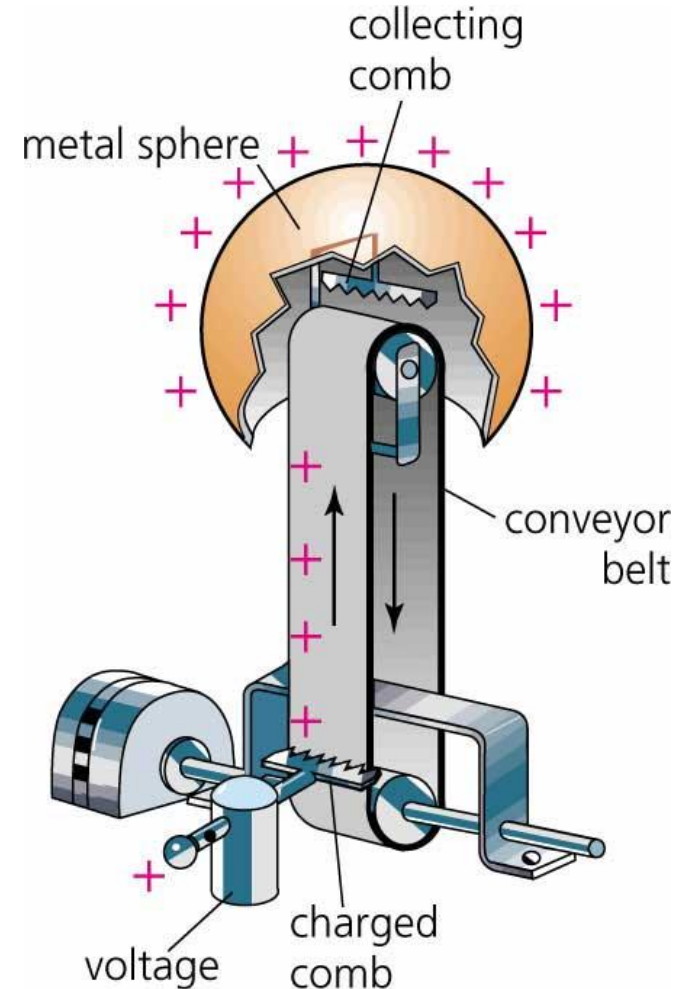
# Cockroft-Walton jeneratörü



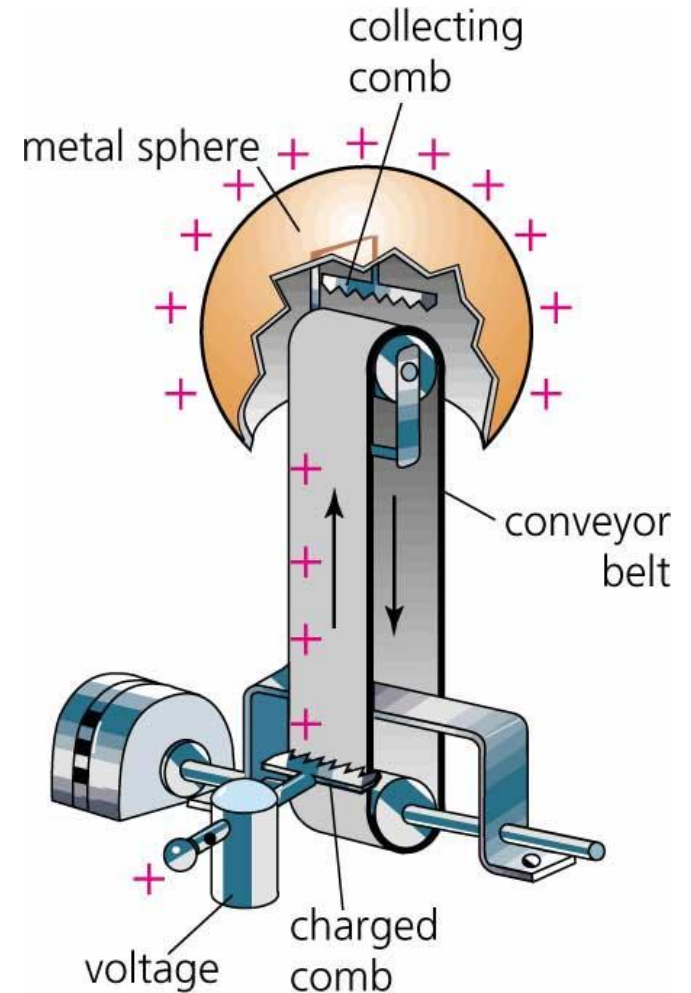
Enerji limiti yaklaşık 1,5 MeV

# Van de Graaff Jeneratörü

- 1931 yılında Amerikalı fizikçi Robert J. Van de Graaff tarafından geliştirildi.
- Yükler bir motor tarafından hareket ettirilen kayış üzerinde taşınarak küre üzerinde biriktiriliyor ve yüksek gerilim elde edilir.
- Van de Graaff jeneratörü ile 10MV potansiyele kadar çıkılmıştır.

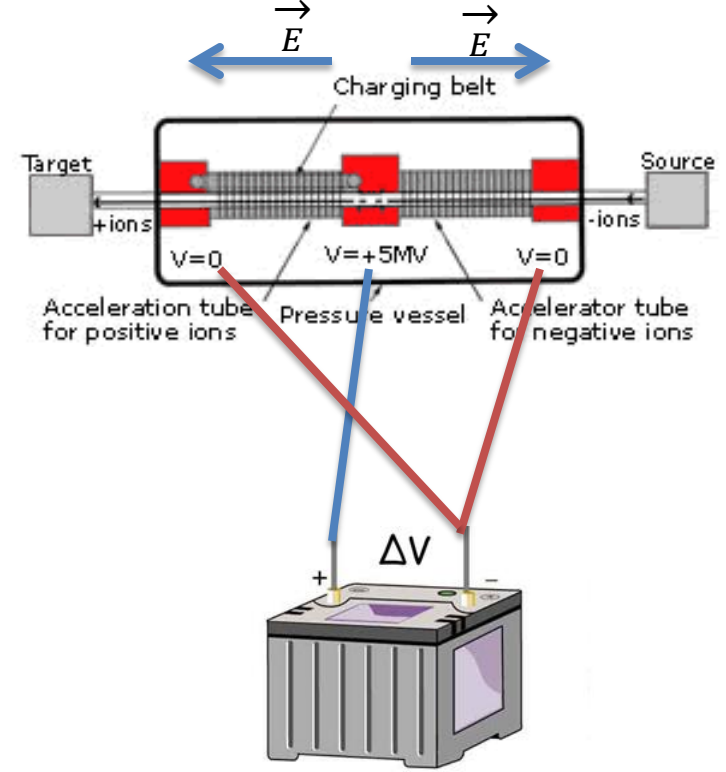


# Van de Graaff Jeneratörü



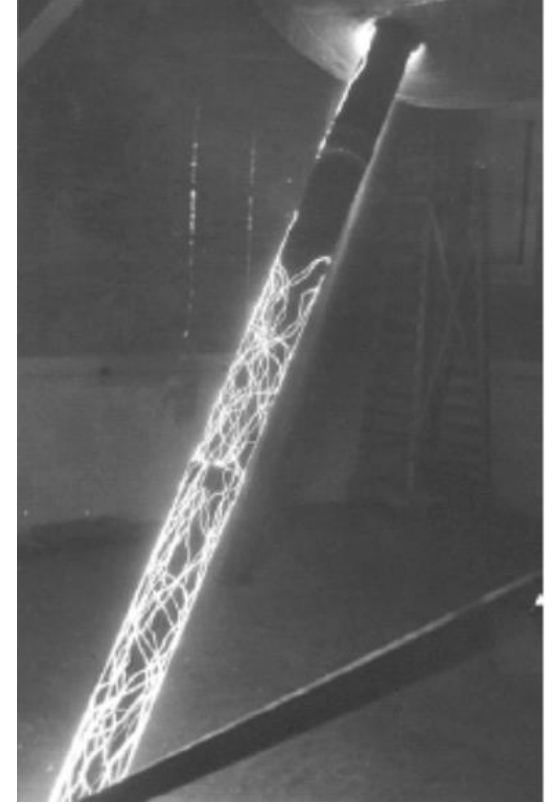
# Tandem hızlandırıcısı

- Elektrostatik hızlandırıcılarda parçacıklar en fazla (potansiyel farkı)  $x$  (yük) kadar enerji kazanabilir. Fakat hızlandırdığımız parçacıkların yüklerini değiştirip aynı potansiyel farkında iki kere hızlandırabiliriz.
  - Negatif yüklü parçacıklar (örnek  $H^-$ : bir proton iki elektron) hızlandırılıp bir soyucu folyodan geçiriliyor ve elektronları koparılıyor ( $\rightarrow$ proton)
  - Protonlar yine aynı güç kaynağı kullanılarak hızlandırılıyorlar.
- Tandem hızlandırıcısı ile:  $\Delta E = 2 \cdot q \cdot \Delta V$  enerjilere çıkılabilir.



# Elektrostatik hızlandırıcıların limiti!

- Parçacıklar en fazla (potansiyel farkı)  $\times$  (yük) kadar enerji kazanabilir.
- Yüksek enerjilere çıkmak için daha yüksek potansiyelli üreteçlere ihtiyaç var
- Hava bulunan ortamda yaratılabilecek maximum elektrik alan yaklaşık  $E_{max} = 3MV/m$
- Vakumlu ortamda olsak bile bir limitimiz var!!!



Van de graaff jeneratörünün bir ayağında gözlenen elektrik boşalması (corona discharge)



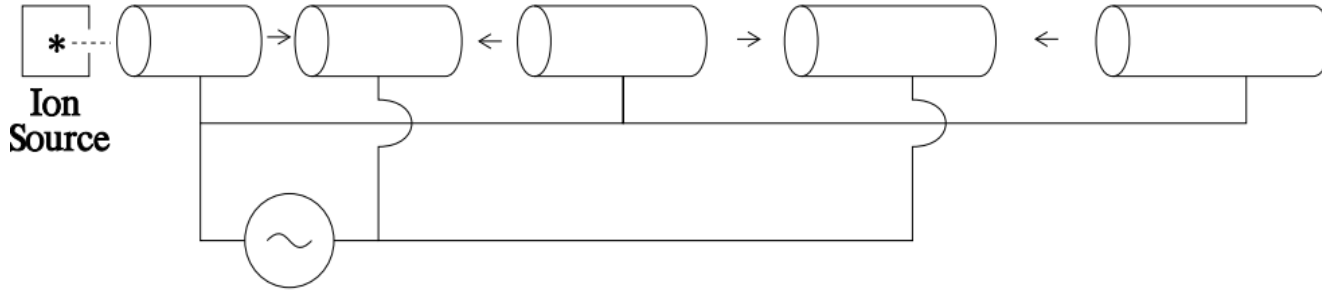




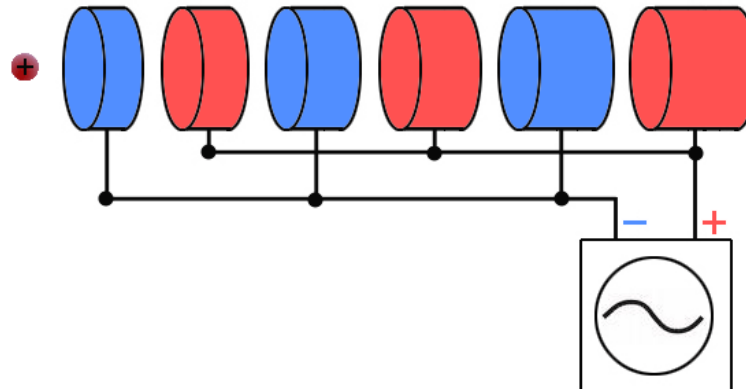
# Hızlandırıcılarda Alternatif Akım Kullanma Fikri

- 1924 te, İsveç li fizikçi Gustaf Ising hızlandırma için alternatif akım kullanma fikrini ortaya sürdü.
- 1927 de, Norveç li fizikçi Rolf Wideroe bu fikri geliştirdi ve bir hızlandırıcı üretti.

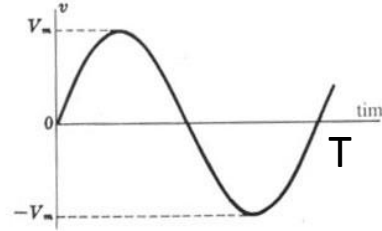
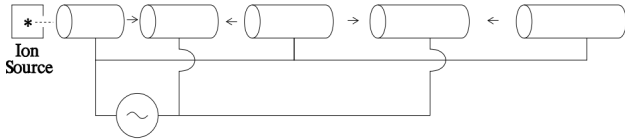
# Wideroe' nin doğrusal hızlandırıcısı



- 25kV luk üreteç kullanarak ağır iyonları 50keV e kadar hızlandırdı.  $f= 1\text{MHz}$



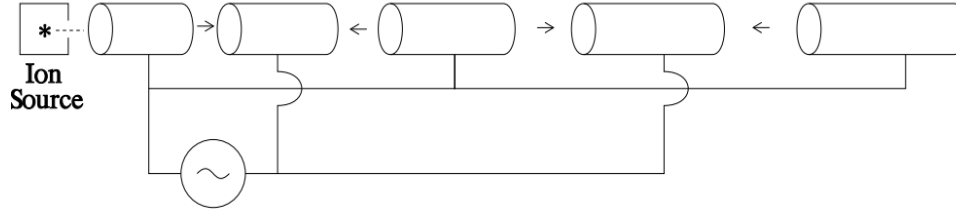
# Wideroe' nin doğrusal hızlandırıcısı



$$KE = m_0 c^2 \left[ \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right]$$

- Neden proton değil de ağır iyon hızlandırmış?
  - Eşzamanlılığı sağlamak için parçacıkların bir hızlanma boşluğundan diğerine gitme zamanı  $T/2$  olmalı.
  - 1MHz frekansta periyot  $T=1$  mikro-saniye
  - 25keV kinetik enerji protonların hızı yaklaşık  $2,2 \times 10^6$  m/s. Bu hızda ve frekansta sürüklenme tüpünün uzunluğu yaklaşık 1,1 metre olmalı (pratik değil)
  - Enerji 50kV a çıktığında hız protonlar için  $3,1 \times 10^6$  m/s. Bu hızda sürüklenme tüpünün uzunluğu yaklaşık 1,55m olmalı.
  - Hız arttıkça sürüklenme tüpünün boyu da artmalı!!!

# Wideroe' nin doğrusal hızlandırıcısı



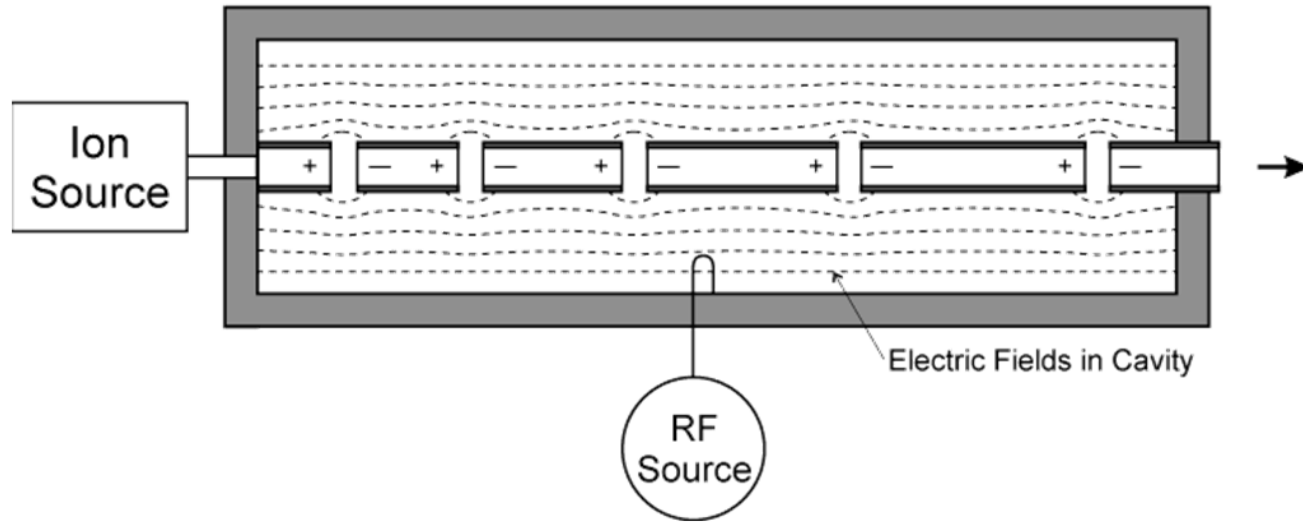
- Proton hızlandırmak istersek sürüklenme tüplerinin boylarını nasıl kısaltabiliriz?
- Eşzamanlılığı sağlamak için parçacıkların bir hızlanma boşluğundan diğerine gitme zamanı  $T/2$  olmalı: zamanı kısaltmak için frekansı arttırmalıyız!!!
- Yüksek frekanslı üreteçler kullanırsak sürüklenme tüplerinin boyları kısalmır.
- 2. Dünya savaşı döneminde radarlar için yüksek frekanslı alternatif akım kaynakları üretildi.
- Hızlandırıcılar için çok önemli bir gelişme!
  - Daha kısa mesafelerde daha yüksek enerjilere çıkabiliriz.
- Fakat yüksek frekanslara çıkınca başka sorunlar ortaya çıkıyor!
  - Üreteç sürüklenme tüplerine bağlı, yükler hareket ediyor.
  - Yüksek frekans  $\rightarrow$  radyasyon (anten etkisi)  $\rightarrow$  enerji kaybı
- Wideroe'nin alternatif akım kullanma fikri çok önemli fakat tasarladığı hızlandırıcı parçacıkları yüksek enerjilere çıkartmak için yetmiyor!!! Yeni bir hızlandırıcı yapısına ihtiyaç var!!!

# Elektrostatik Hızlandırıcılar vs. Alternatif Akım Hızlandırıcıları

- Elektrostatik hızlandırıcılar ile parçacıklar en fazla (potansiyel farkı)  $\times$  (yük) kadar enerji kazanabilir (tandem için bunun iki katı).
- Elektrostatik hızlandırıcılar ile çok yüksek enerjilere çıkmak imkansız!!!
- Alternatif akım hızlandırıcılarında güç kaynağının sağladığı potansiyel farkından parçacıklar birçok kez geçirilebileceği için parçacıklara (potansiyel farkı)  $\times$  (yük) ten daha fazla enerji kazandırılabilir.
- Elektrostatik hızlandırıcılara göre parçacıklar daha yüksek enerjilere çıkartılabilir.

# RF hızlandırıcılar

- Radyo Frekansı (3kHz-300GHz)



- 1948 da Amerikalı bilim adamı Luis W. Alvarez sürüklenme tüplerini bir iletken tankın içine koyup tankın içine elektromanyetik dalga göndererek elektrik alan indükleme fikrini geliştirdi (Alvarez drift tube linac- DTL).

# Elektromanyetik Dalga ve Maxwell Denklemleri

- Değişen manyetik alan etrafında elektrik alan indükler!!!
- Değişen elektrik alan etrafında manyetik alan indükler!!!

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho / \epsilon_0$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

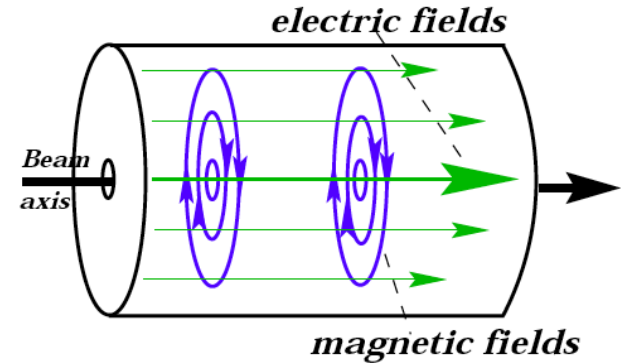
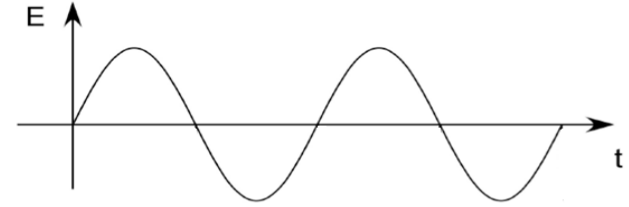
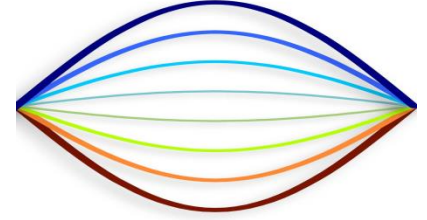
$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu_0 \mathbf{j}_c$$

**James Clerk Maxwell**  
(1831 - 1879):  
İskoç teorik fizikçi ve matematikçi

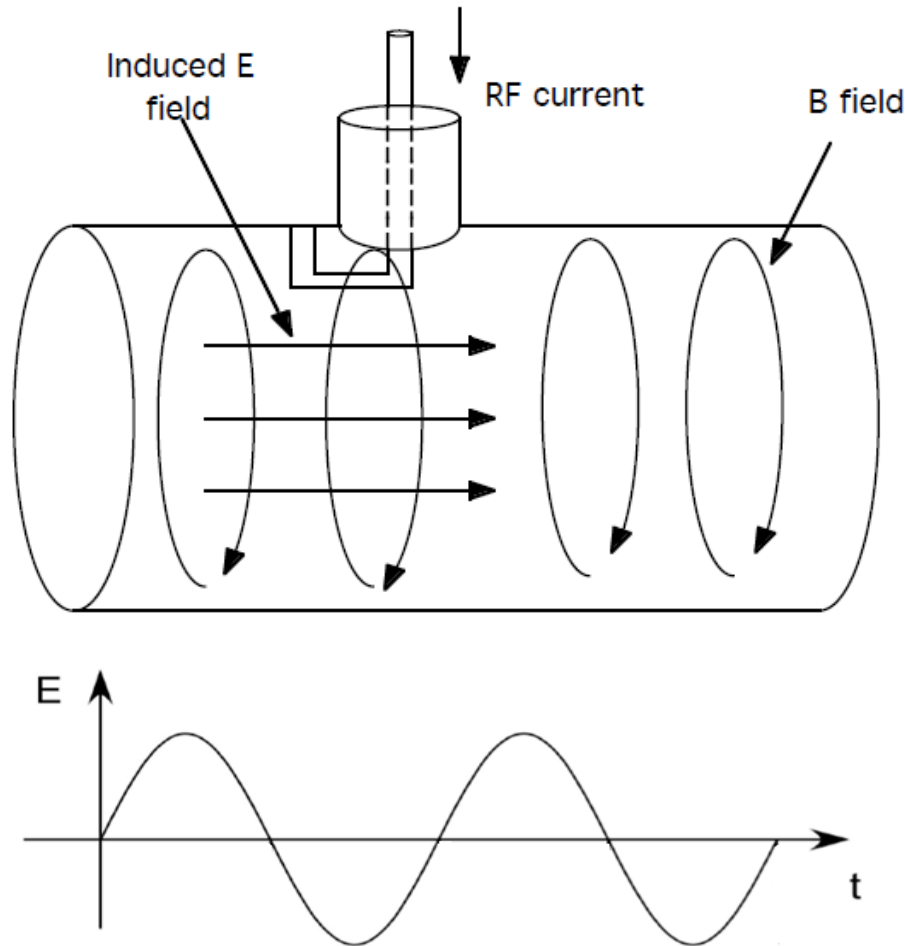


# Silindirik (davul) Kovuk

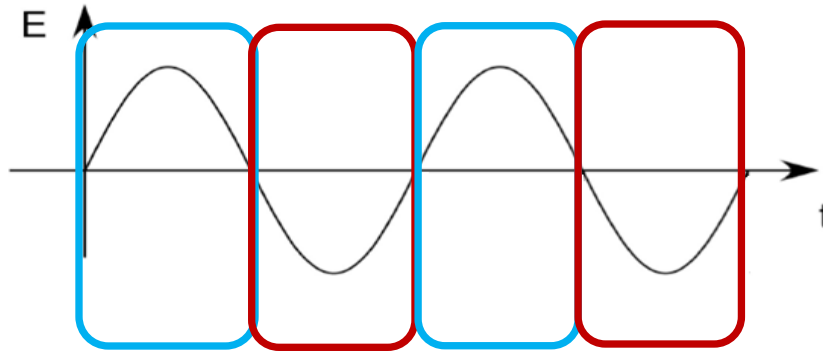
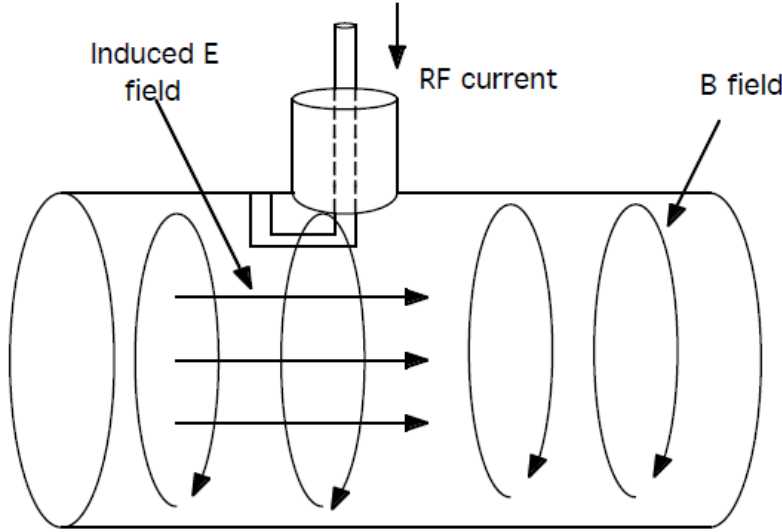
- Elektromanyetik dalga kovuk duvarlarından yansıyarak kovuk içerisinde durağan dalga (standing wave) oluşturuyor.
- Elektrik alan çizgileri silindirin simetri eksenine paralel.
- Manyetik alan çizgileri azimutal yönde.
- Hem manyetik alan hem elektrik alan kovuk içerisinde **salınım yapıyor**.
- Maxwell deneklemleri bize bir geometride oluşacak elektrik ve manyetik alanın desenini veriyor!
- Silindirin yarı çapı rezonans frekansını belirliyor!!!



# Davul kovuktan DTL'e



# Davul kovuktan DTL'e

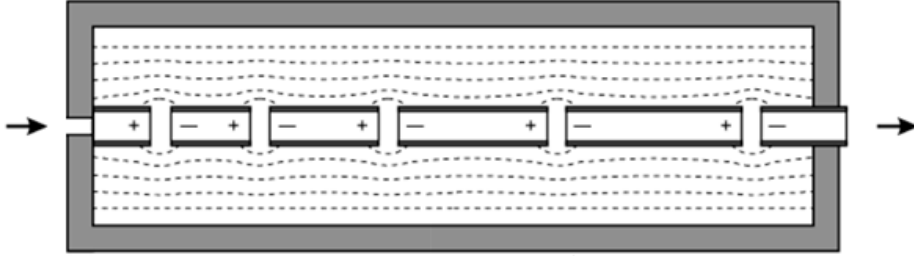


Hızlanma

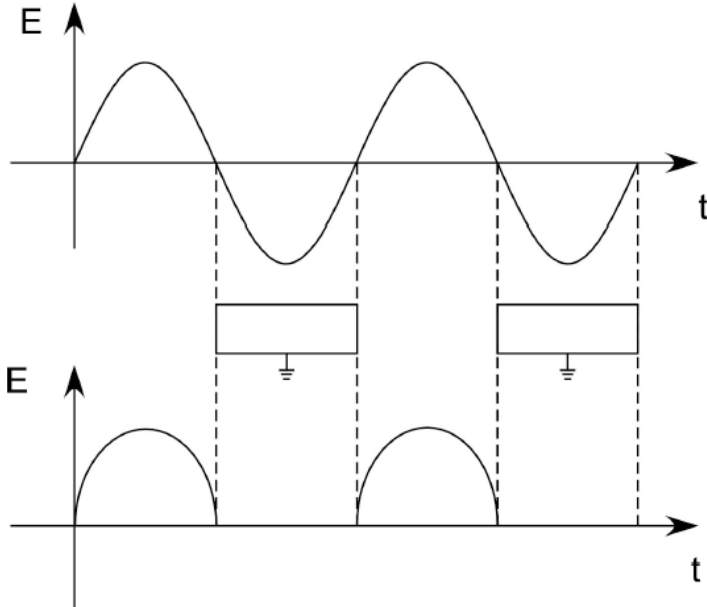
Yavaşlama

- Uzun boş bir silindirik kovuk içerisinde elektromanyetik alan indüklendikten sonra parçacıklar kovuk içerisine gönderildiğinde parçacıkların ortalama ivmesi sıfır olur!!!

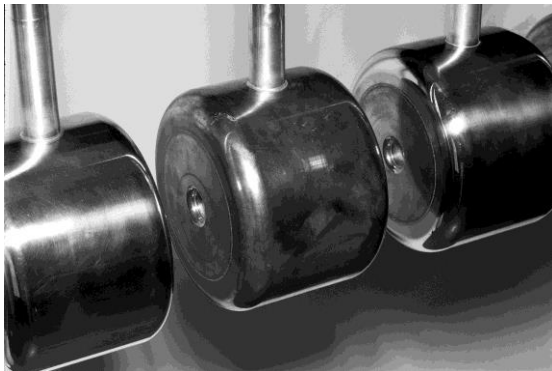
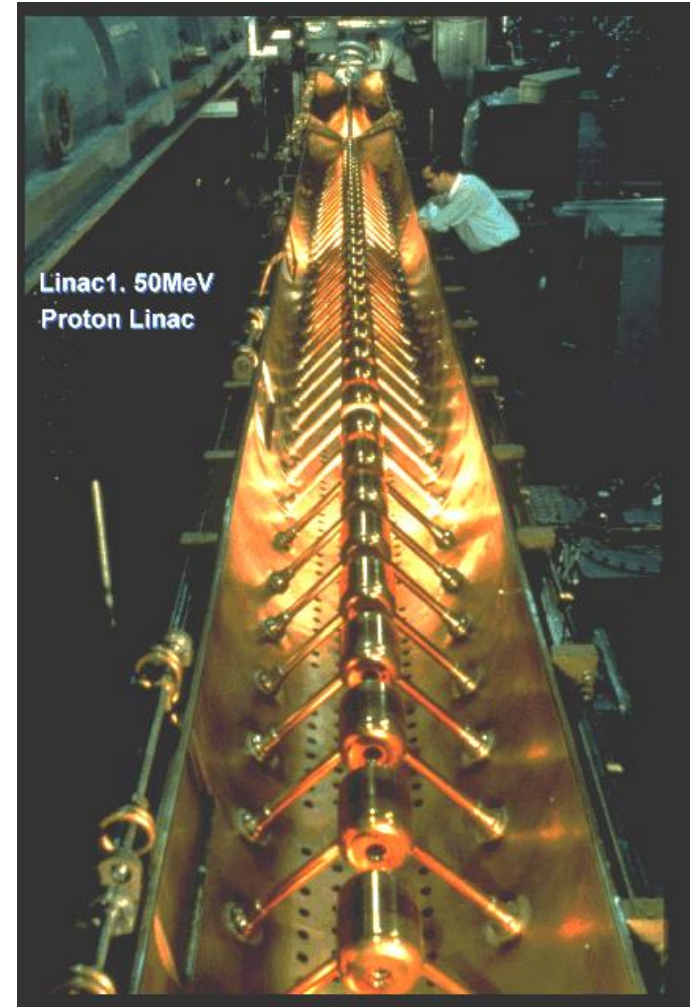
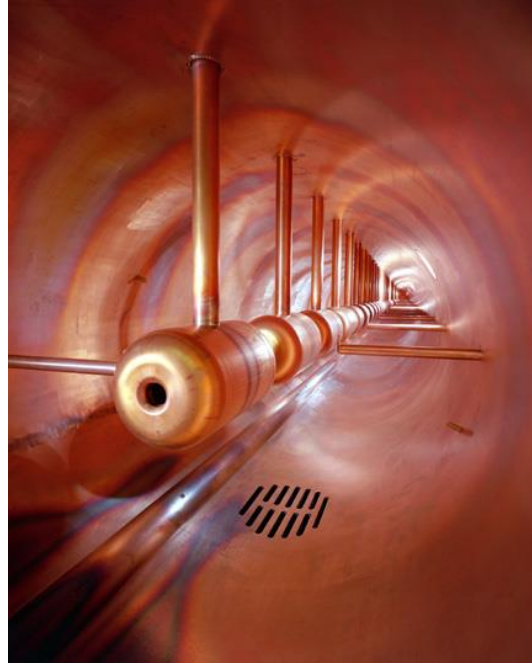
# Davul kovuktan DTL'e



- Iletkenlerin içinde elektrik alan sıfırdır!!!
- Elektrik alan ters yöne döndüğünde parçacıklar sürüklenme tüplerinin içindeler.
- Sürüklenme tüpleri parçacıkları yavaşlatıcı elektrik alandan koruyor.
- RF güç kaynağı sürüklenme tüplerine bağlı değil (Wideroe'nün doğrusal hızlandırıcısından en büyük farkı bu).



# DTL



# Özet

- 1911 Rutherford alfa parçacıkları ile yaptığı deneyle atomun yapısını gösterdi.
- Hızlandırılmış parçacık demeti ile atomu bölme fikri ile parçacık hızlandırıcıları geliştirilmeye başlandı (elektrostatik hızlandırıcılar).
- 1924: Gustaf Ising hızlandırıcılarda alternatif akım kullanma fikrini ortaya attı.
- 1927: Rolf Wideroe bu fikri kullandı ve bir alternatif akım hızlandırıcısı üretti.
- 1932: John Cockcroft ve Ernest Walton ürettikleri elektrostatik hızlandırıcı ile ilk defa yapay olarak atom çekirdeğini parçaladı.
- 1948: Luis W. Alvarez DTL yapısını geliştirdi ve hızlandırıcılarda RF kavukları kullanılmaya başlandı.



# Teşekkürler!

