

Hızlandırıcı Fiziği-1

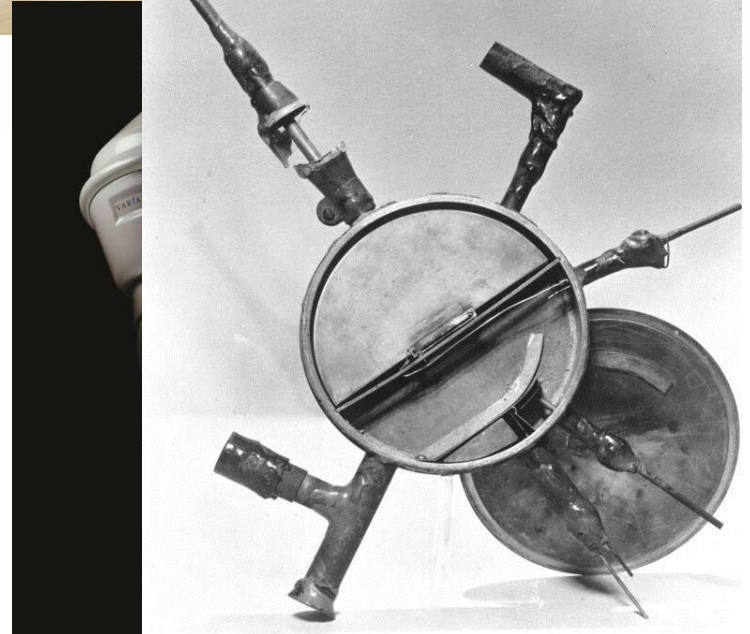
Veli YILDIZ
(Veliko Dimov)
29.07.2014

İçerik

- Hızlandırıcı Çeşitleri
- Rutherford ve çekirdeğin keşfi,
- İlk defa yapay yollar ile atom çekirdeğinin parçalanması,
- Elektrostatik hızlandırıcılar,
- Hızlandırıcılarda alternatif akım kullanma fikri,
- RF doğrusal hızlandırıcıları

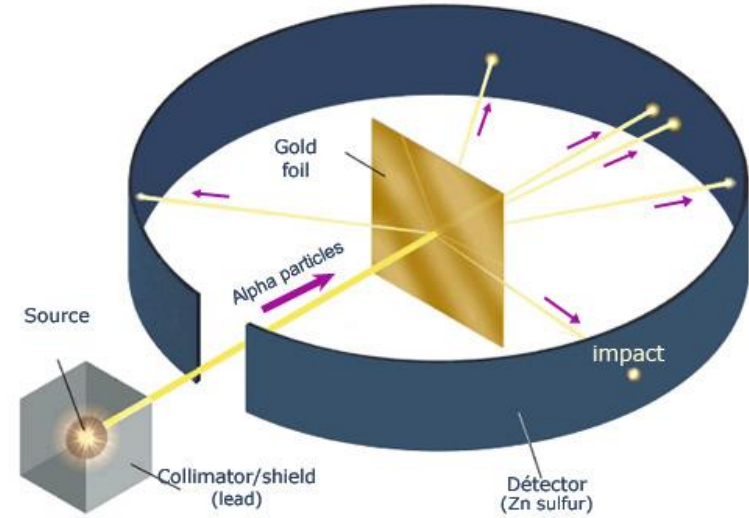
Hızlandırıcı Çeşitleri

- Şekillerine göre
 - Doğrusal hızlandırıcılar
 - Dairesel hızlandırıcılar
- Çalışma prensiplerine göre
 - Elektrostatik hızlandırıcılar
 - RF hızlandırıcıları
 - İndüksiyon hızlandırıcıları
 - Plazma hızlandırıcıları
 - Lazerle hızlandırma



Rutherford ve çekirdeğin keşfi

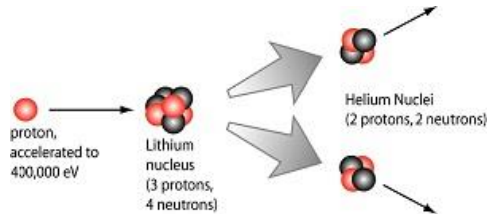
- Ernest Rutherford(1871-1937):
 - İskoç asıllı, Yeni Zellandalı fizikçi.
 - 1895 yılında İngiltere' de Cambridge Üniversitesi' nde J.J. Thomson ile çalışmaya başladı.
 - 1911 de yaptığı deney ile atom çekirdeğini keşfetti.
- Rutherford deneyi
 - Radyumu alfa parçacık (2 proton ve 2 nötron) kaynağı olarak 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.)



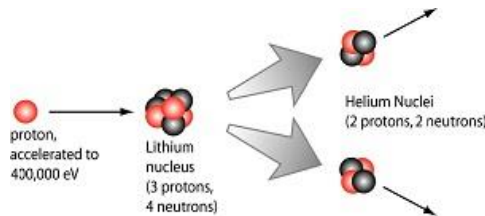
Lityum + proton = 2 Helyum çekirdeği + Enerji

$$E = mc^2$$

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.)



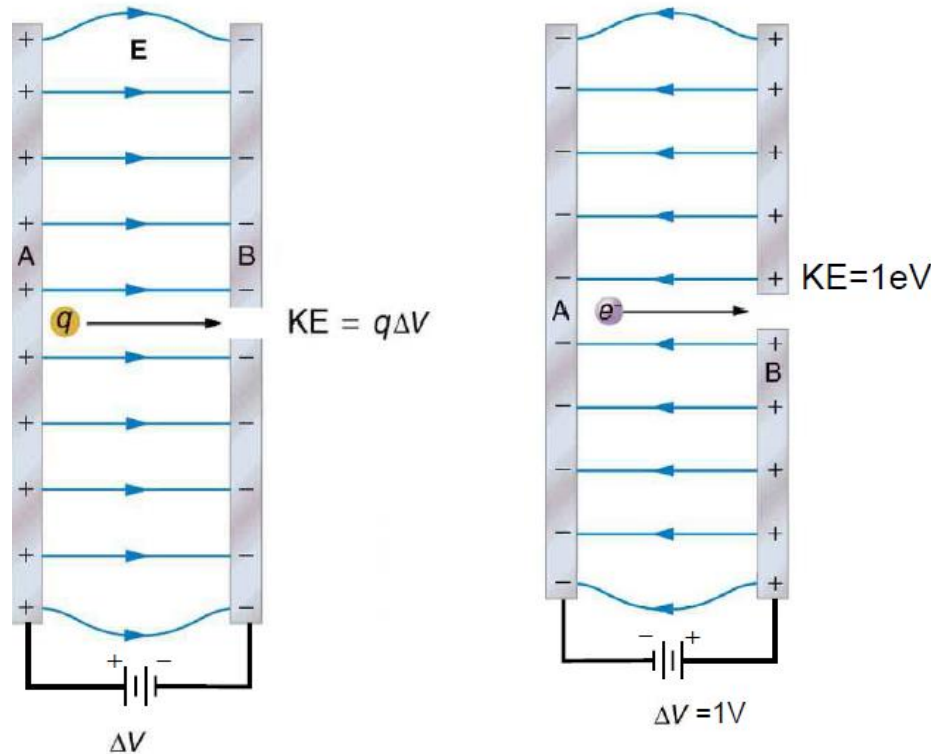
Lityum + proton = 2 Helyum çekirdeği + Enerji

$$E = mc^2$$

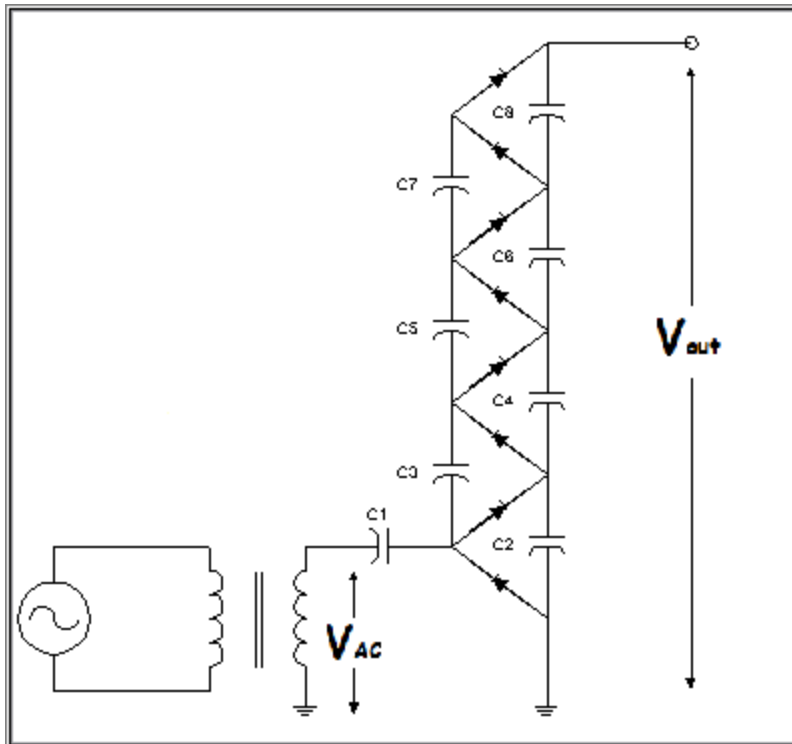
Hızlandırıcılar bu deneyden sonra parçacık fizikçilerinin vazgeçilmez oyuncacı oldu!

Elektrostatik hızlandırıcılar

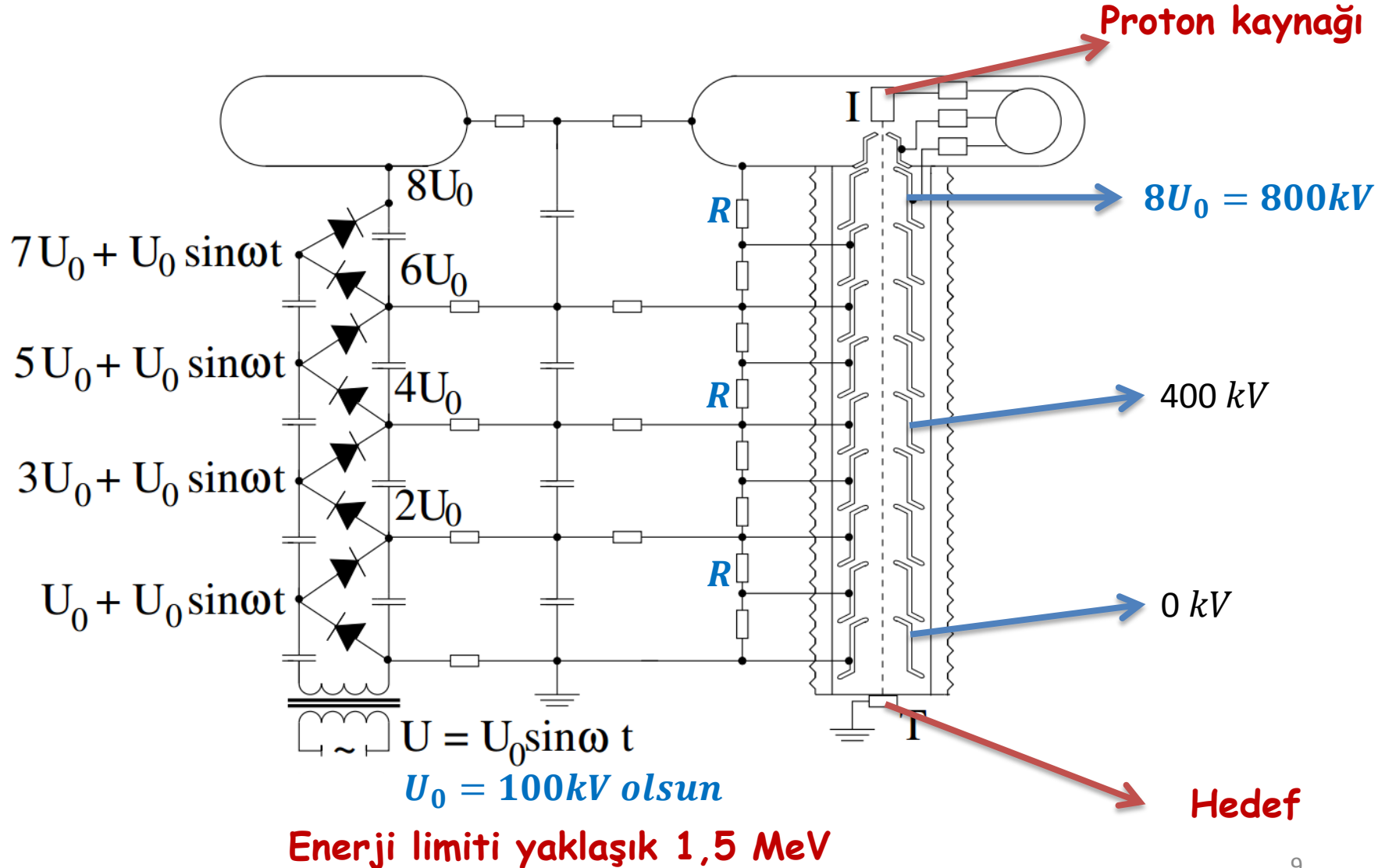
- En basit hızlandırma yöntemi: Paralel Levha
- $\Delta E = q \cdot \Delta V$
- eV: bir elektronun yüküne sahip bir parçacığın 1V luk gerilimde hızlandığında kazandığı kinetik enerji.



Cockroft-Valton jeneratörü

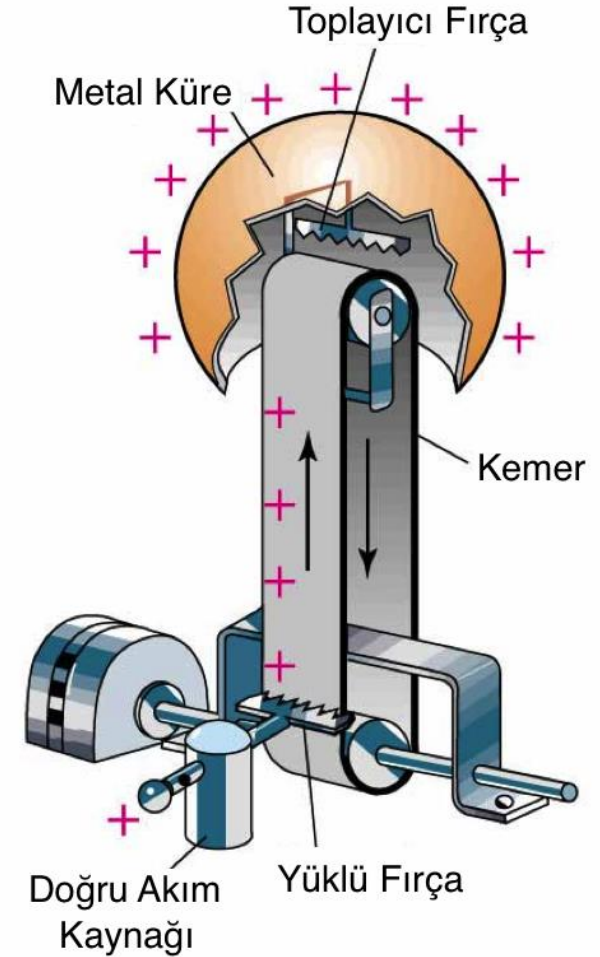


Cockroft-Walton jeneratörü

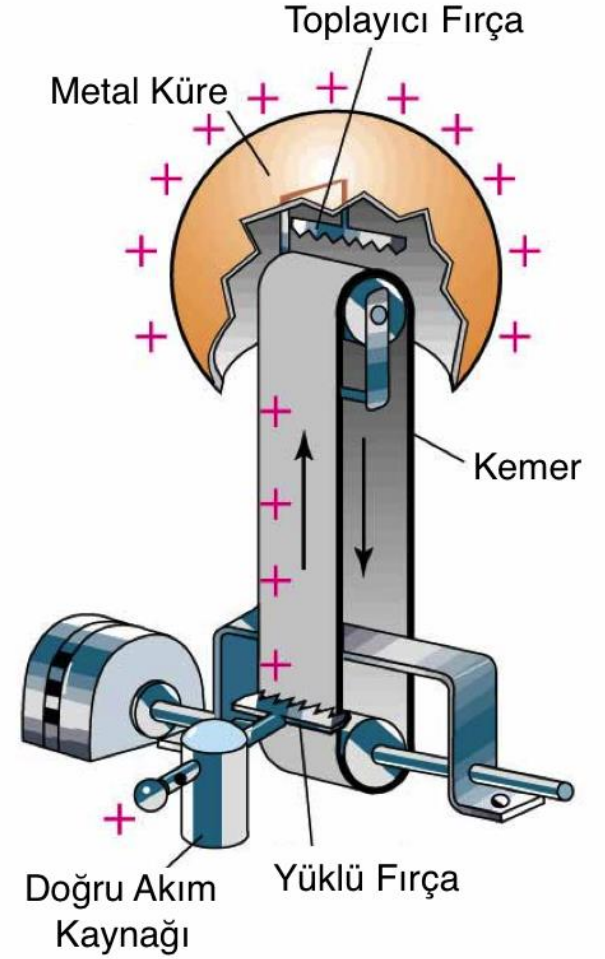


Van de Graaff Jeneratörü

- 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 20MV'tan daha yüksek potansiyel değerlerine çıkılmıştır.

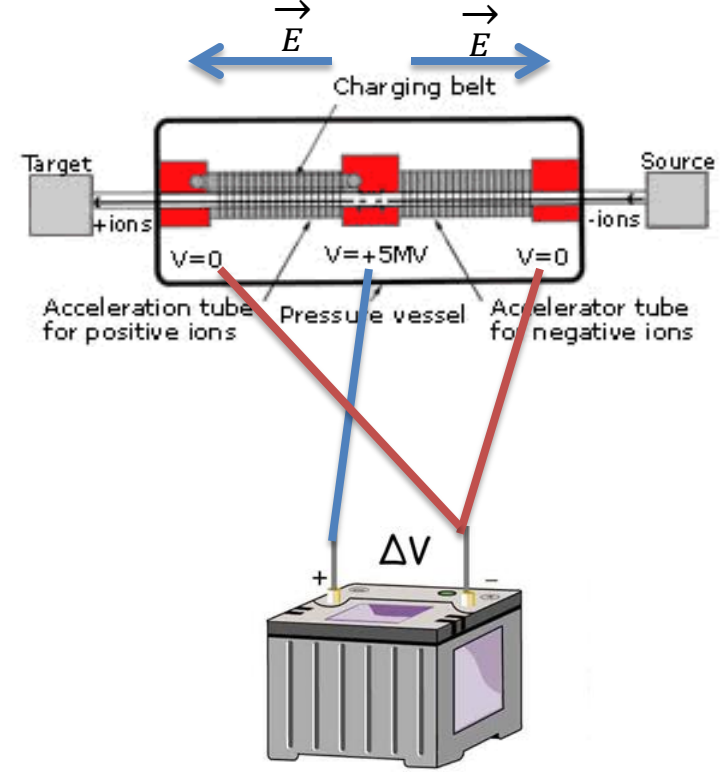


Van de Graaff Jeneratörü



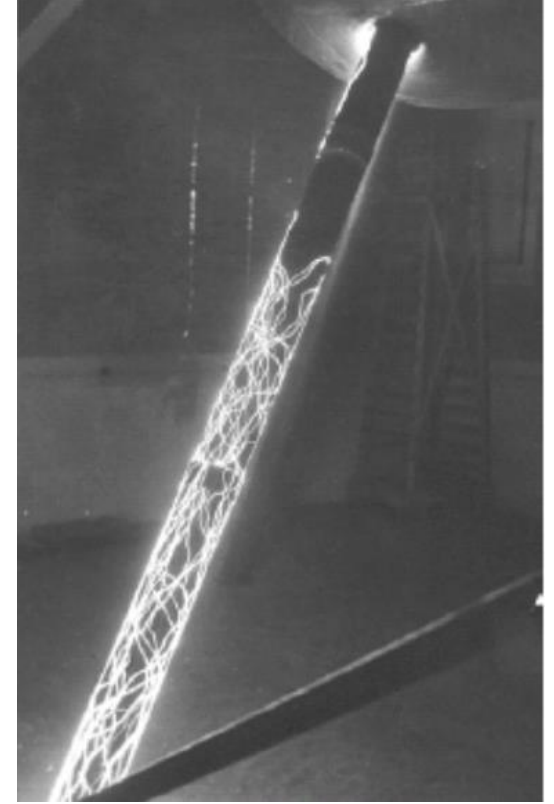
Tandem hızlandırıcısı

- Elektrostatik hızlandırıcılarda parçacıklar en fazla (potansiyel farkı) \times (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!!!



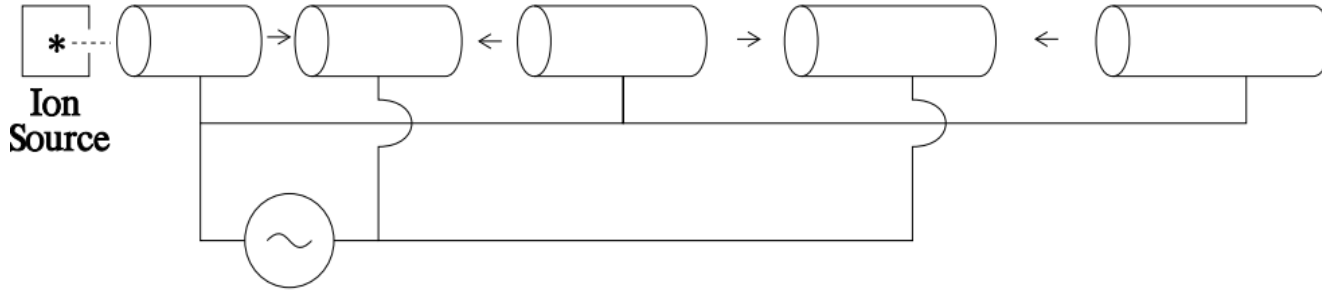
Van de graaff jeneratörünün bir ayağında gözlenen elektrik boşalması (corona discharge)



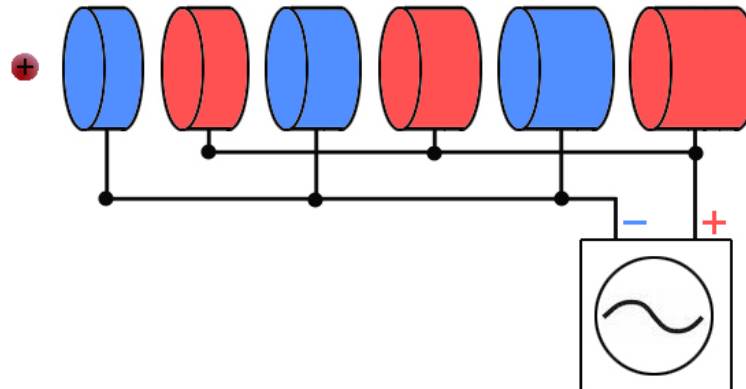
Hızlandırıcılarda Alternatif Akım Kullanma Fikri

- 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.

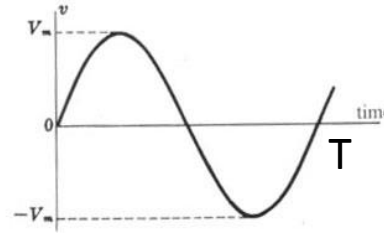
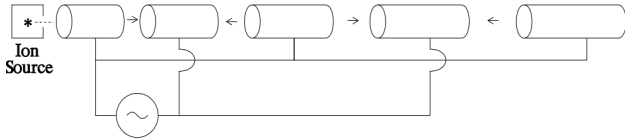
Wideroe' nin doğrusal hızlandırıcısı



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



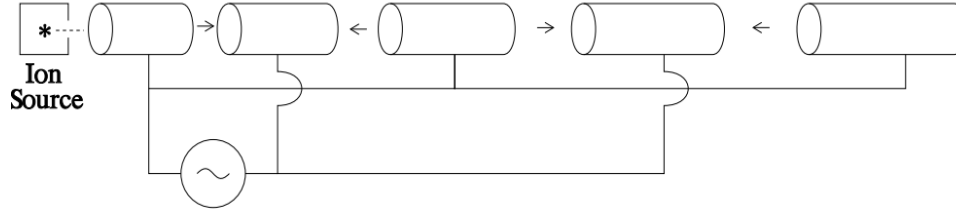
Wideroe' nin doğrusal hızlandırıcısı



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

- 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



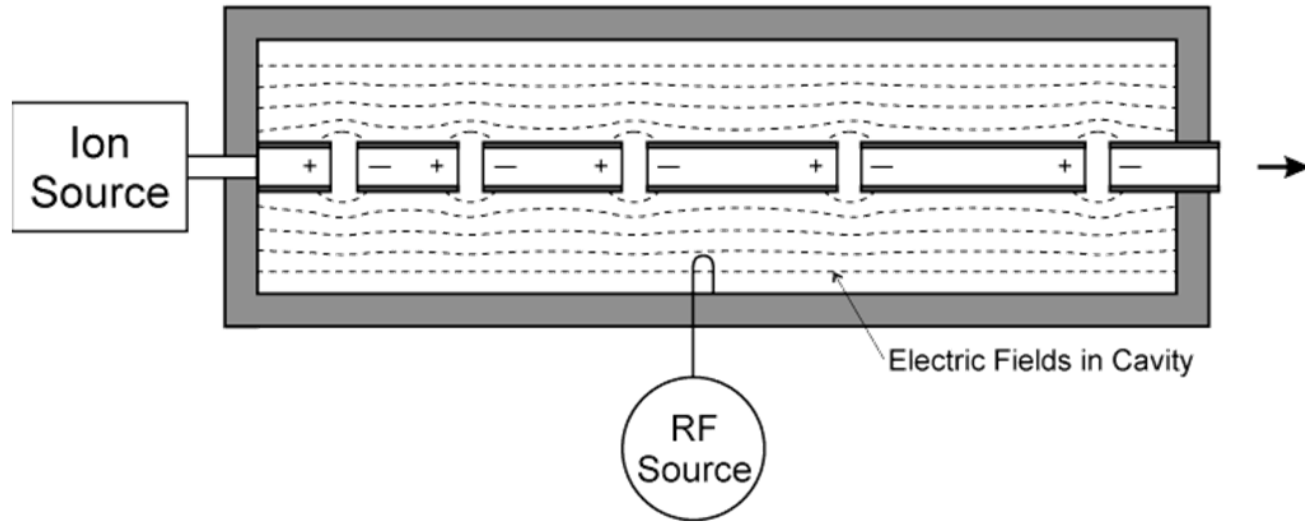
- Proton hızlandırmak istersek sürüklenme tüplerinin boylarını nasıl kısaltabiliriz?
- Eşzamanlılığı sağlamak için parçacıkların bir hızlanma boşluğundan diğerine gitme zamanı $T/2$ olmalı: zamanı kısaltmak için frekansı arttırmalıyız!!!
- Yüksek frekanslı üreteçler kullanırsak sürüklenme tüplerinin 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 ve 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!!!

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

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

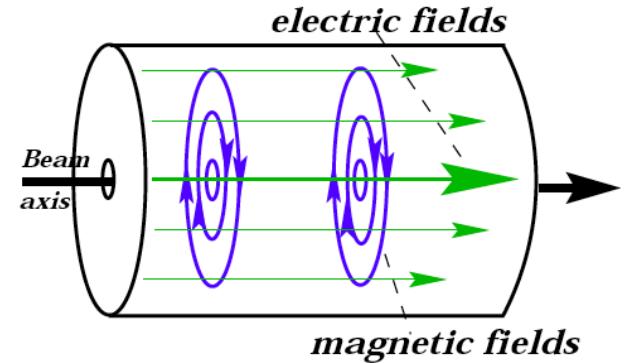
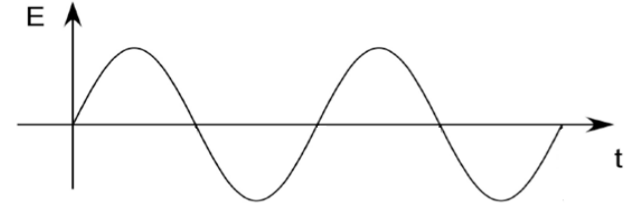
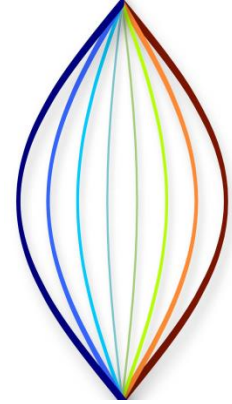
$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

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

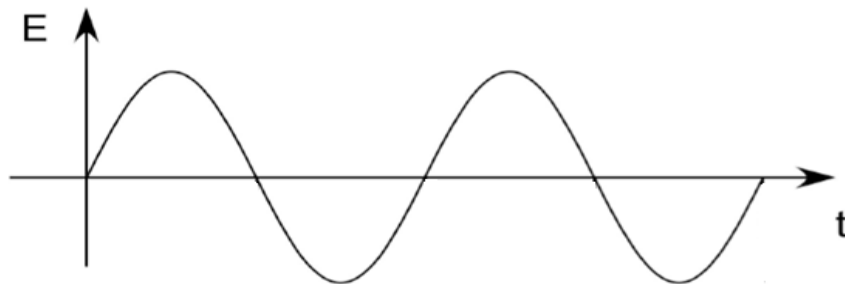
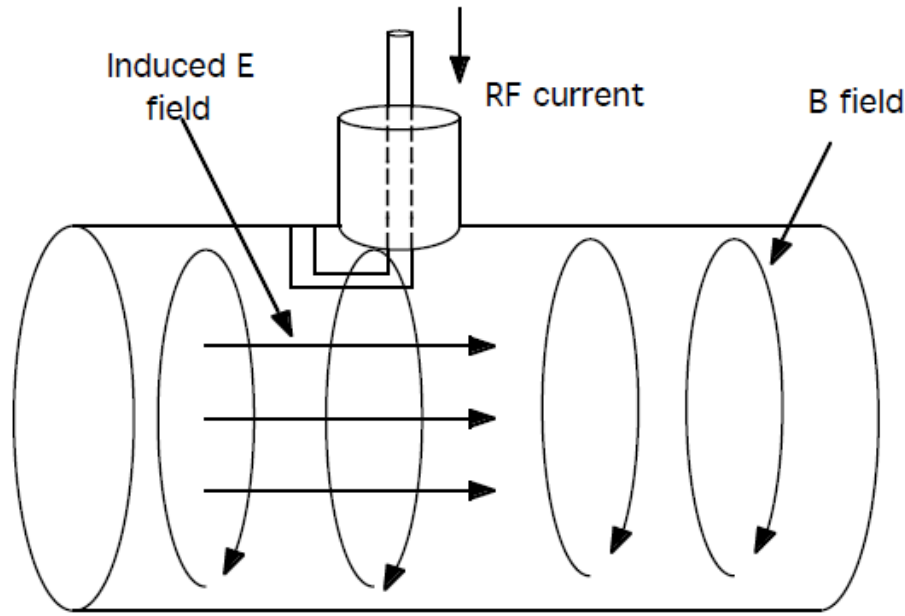
James Clerk Maxwell
(1831 - 1879):
İskoç teorik fizikçi ve matematikçi

Silindirik (davul) Kovuk

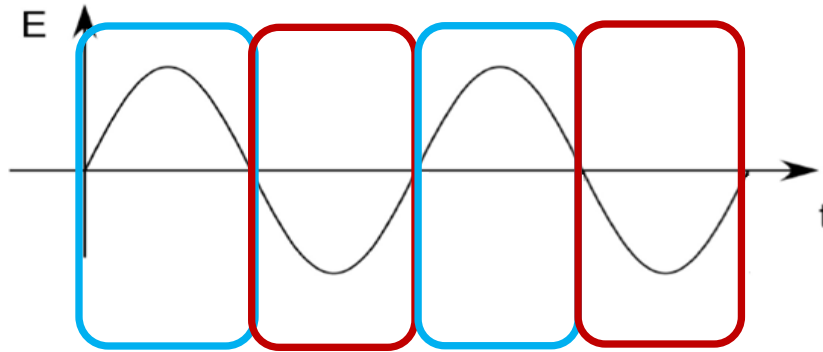
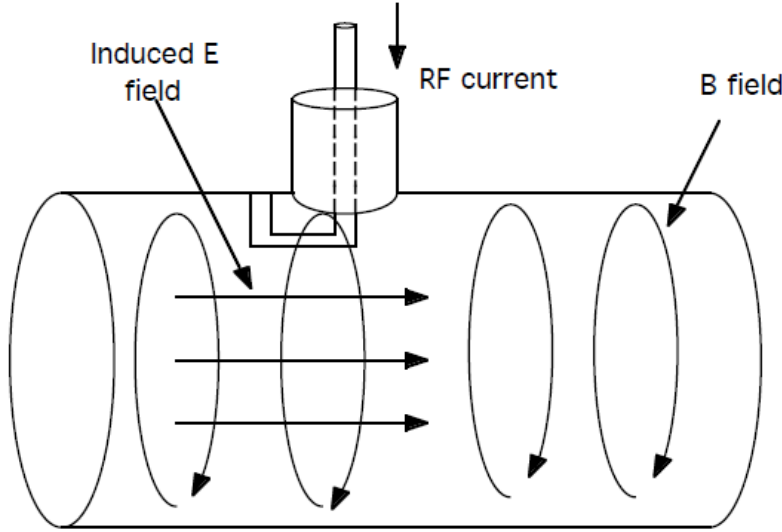
- Elektromanyetik dalga kovuk duvarlarından yansıyarak kovuk içerisinde durağan dalga (standing wave) oluşturuyor.
- Elektrik alan çizgileri silindirin simetri eksenine paralel.
- Manyetik alan çizgileri azimutal yönde.
- Hem manyetik alan hem elektrik alan kovuk içerisinde **salınım yapıyor**.
- Maxwell 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

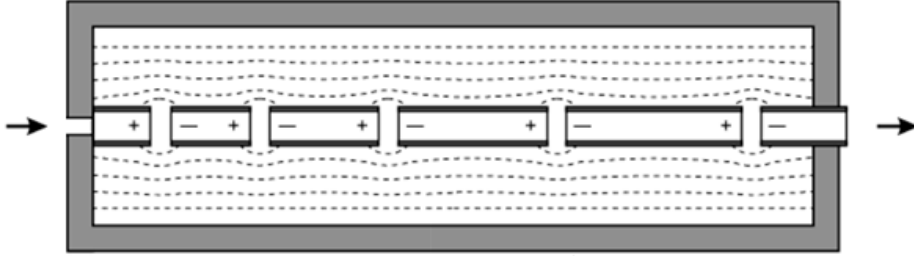


Hızlanma

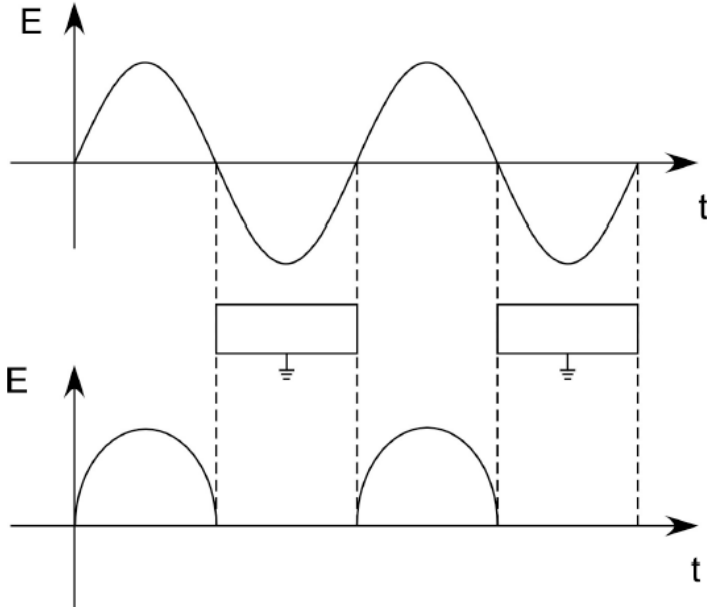
Yavaşlama

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

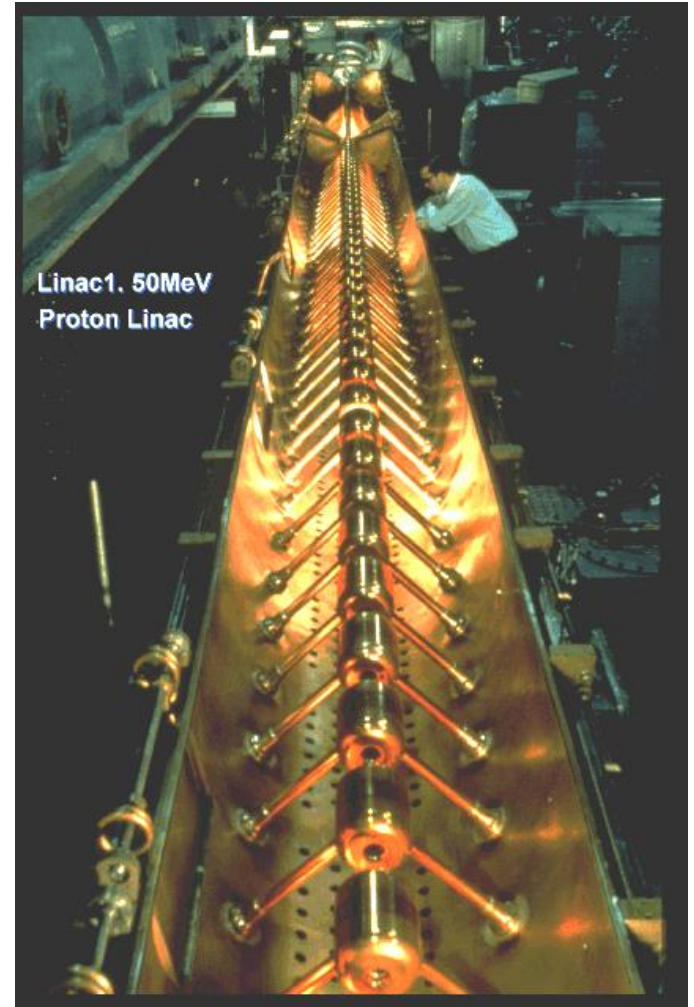
Davul kovuktan DTL'e



- 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!

