

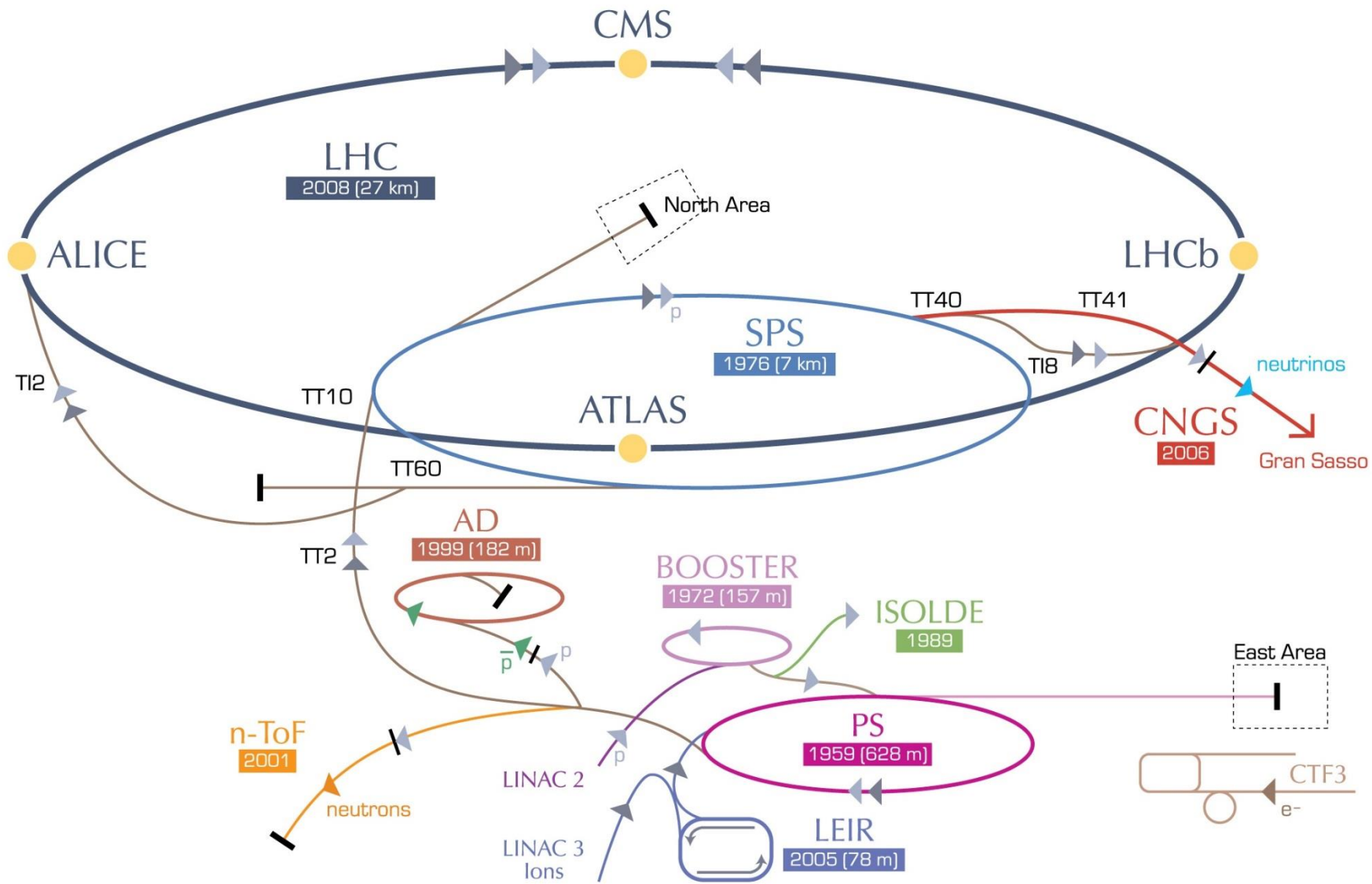


Turkish Teacher Programme / Türk Öğretmen
Çalıştayı 8

HIZLANDIRICI FİZİĞİ-1

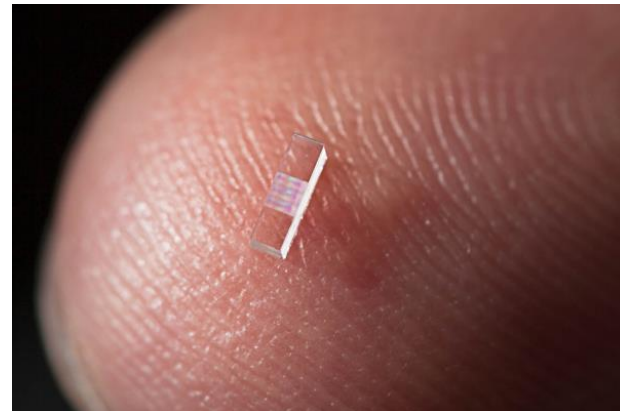
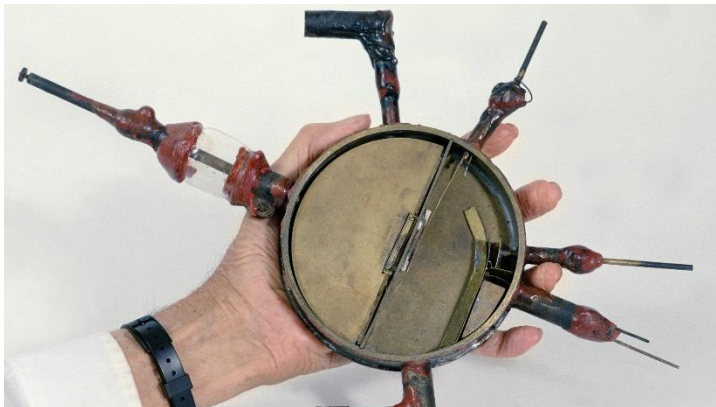
Veli YILDIZ
(Veliko Dimov)
22.01.2018

ADAM
an ADVANCED **ONCOTHERAPY** company



▶ p [proton] ▶ ion ▶ neutrons ▶ \bar{p} [antiproton] \rightarrow proton/antiproton conversion ▶ neutrinos ▶ electron

Değişik amaçlar, değişik boyutlar!

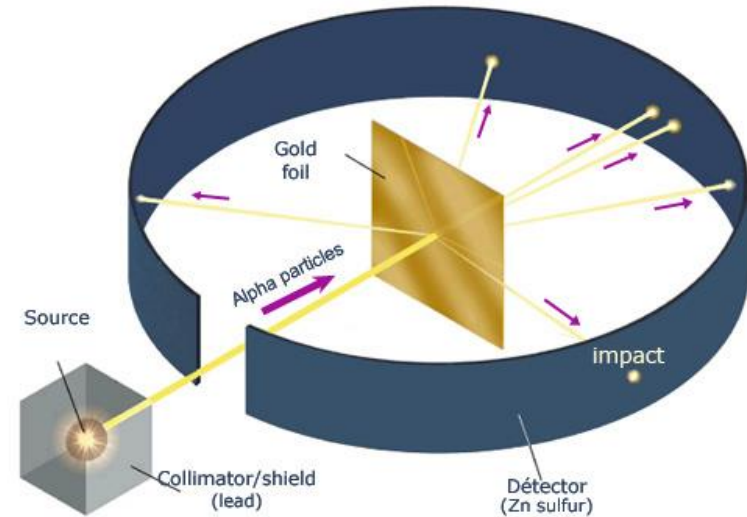


İÇERİK

- Rutherford ve çekirdeğin keşfi,
- İlk defa yapay yollar ile atom çekirdeğinin parçalanması,
- Elektrostatik hızlandırıcılar,
- Hızlandırıcılarda alternatif akım kullanma fikri,
- Modern hızlandırıcı yapılarının ordaya çıkışı.

RUTHERFORD VE ÇEKİRDEĞİN KEŞFİ

- **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**
 - Radiumu alfa parçacık (2 proton ve 2 nötron) kaynağı olarak kullanıldı
 - Altın folyadan saçılan alfa parçacıklarını floresan ekran yardımı ile gözlemledi.
 - Saçılmalara bakarak atomun merkezinde pozitif yüklerin küçük bir hacimde toplanmış olması gerektiği sonucunu çıkardı.



ÇEKİRDEK VE ÇEKİRDEĞİN BÖLÜNMESİ



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.)

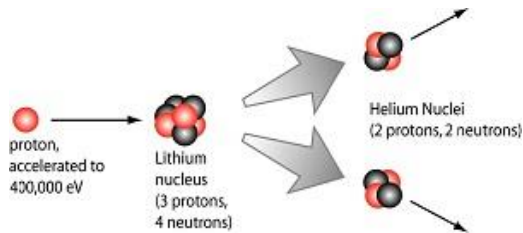
- 1911 çekirdeğin keşfi
- 1919 Azot çekirdeğinin bölünmesi (doğal alfa parçacıkları ile)
- 1927 Rutherford ve Royal Society de konuşması

JOHN COCKROFT, ERNEST WALTON VE **ILK DEFA YAPAY YOLLARLA** ATOM ÇEKİRDEĞİNİN PARÇALANMASI (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

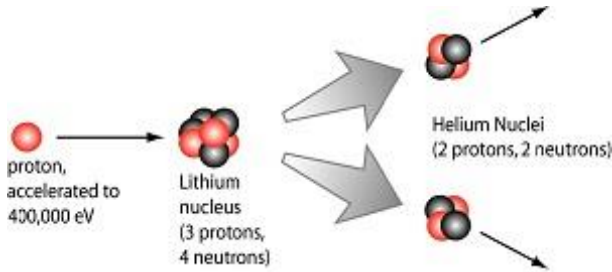


$$E = mc^2$$

JOHN COCKROFT, ERNEST WALTON VE **ILK DEFA YAPAY OLARAK** ATOM ÇEKİRDEĞİNİN PARÇALANMASI (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.)

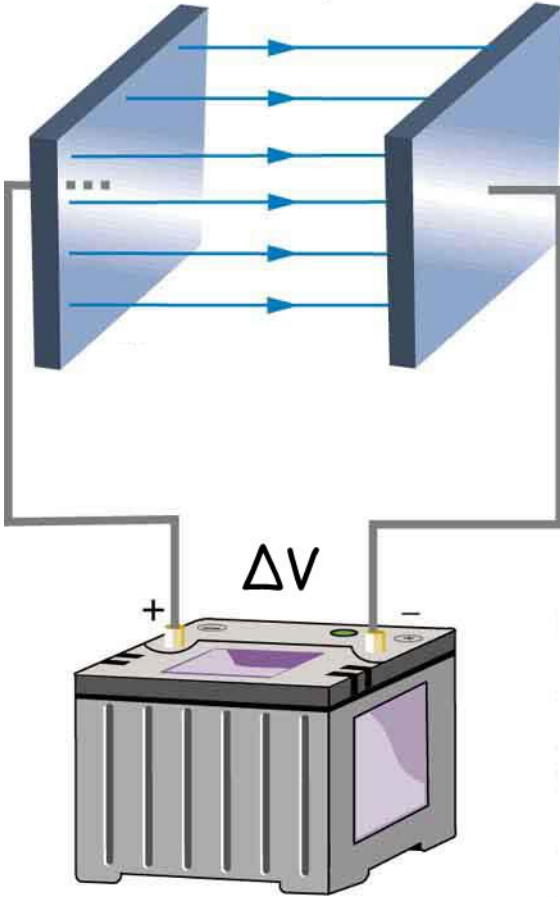


Lityum + proton = 2 Helyum çekirdeği + Enerji

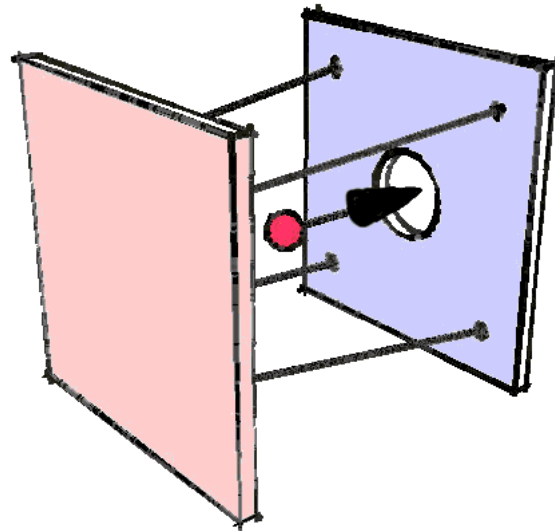
$$E = mc^2$$

Hızlandırıcılar bu deneyden sonra parçacık fizikçilerinin vazgeçilmez oyuncuğu oldu!

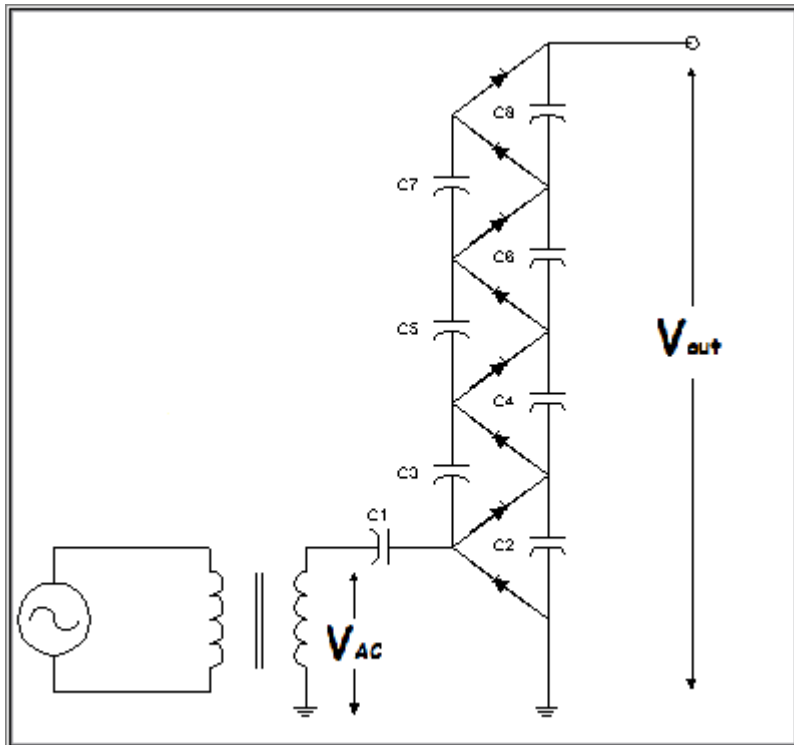
ELEKTROSTATİK HIZLANDIRICILAR



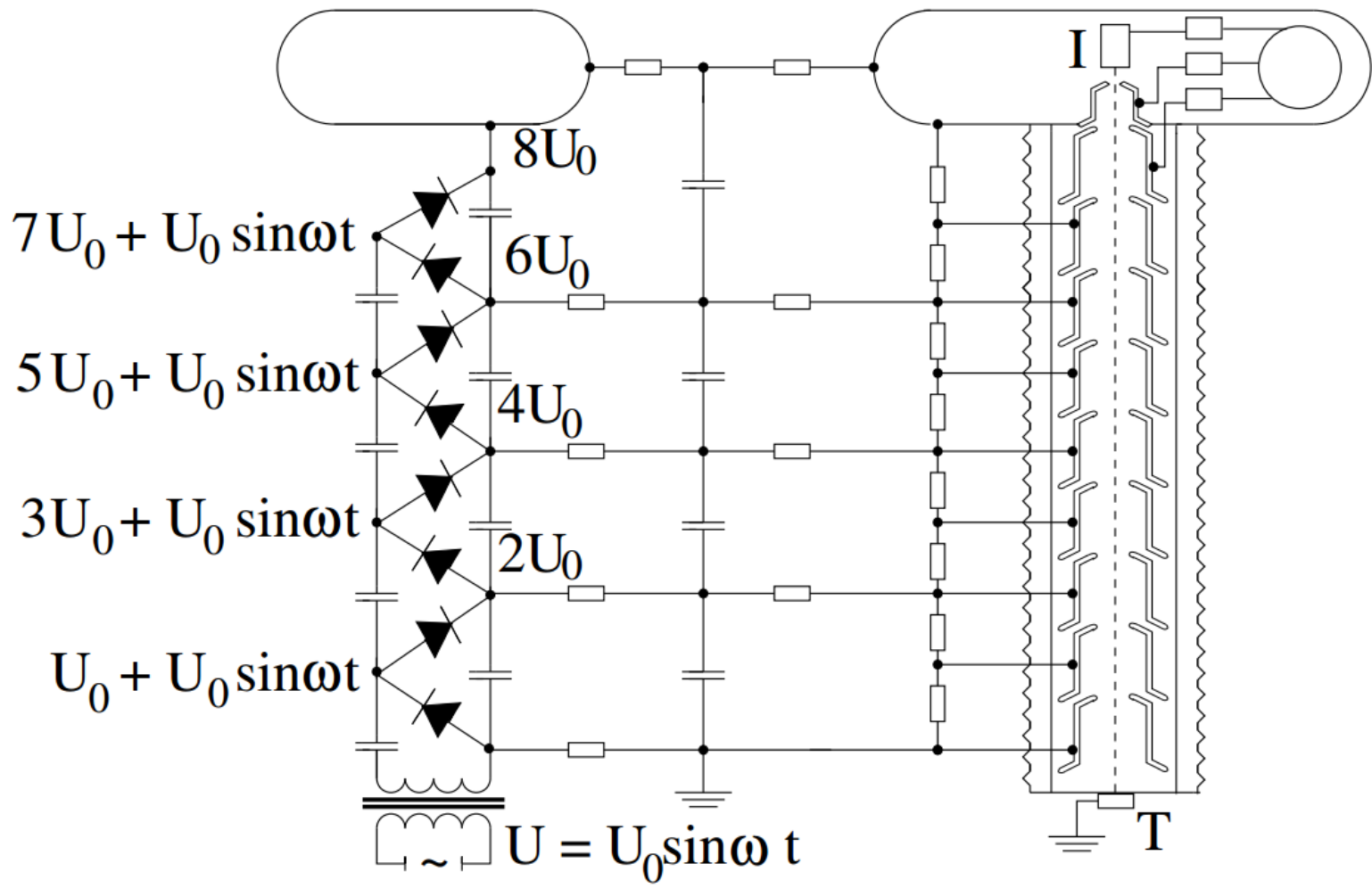
- En basit hızlandırma yöntemi: Paralel Levha
- $\Delta E = q \cdot \Delta V$
- eV : bir elektronun yüküne sahip bir parçacığın 1V luk gerilimde hızlandığında kazandığı kinetik enerji.



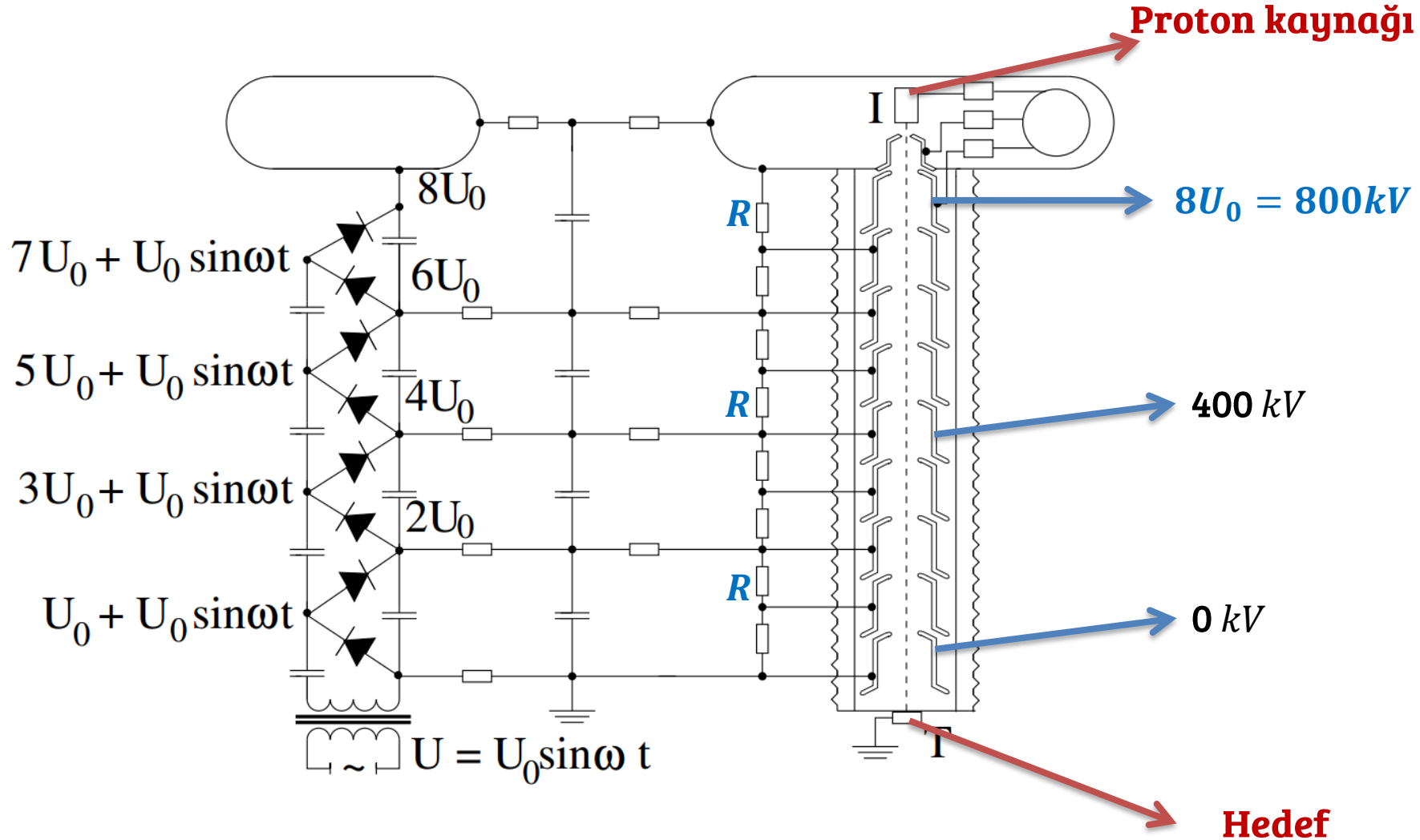
COCKROFT-WALTON JENERATÖRÜ



COCKROFT-WALTON JENERATÖRÜ



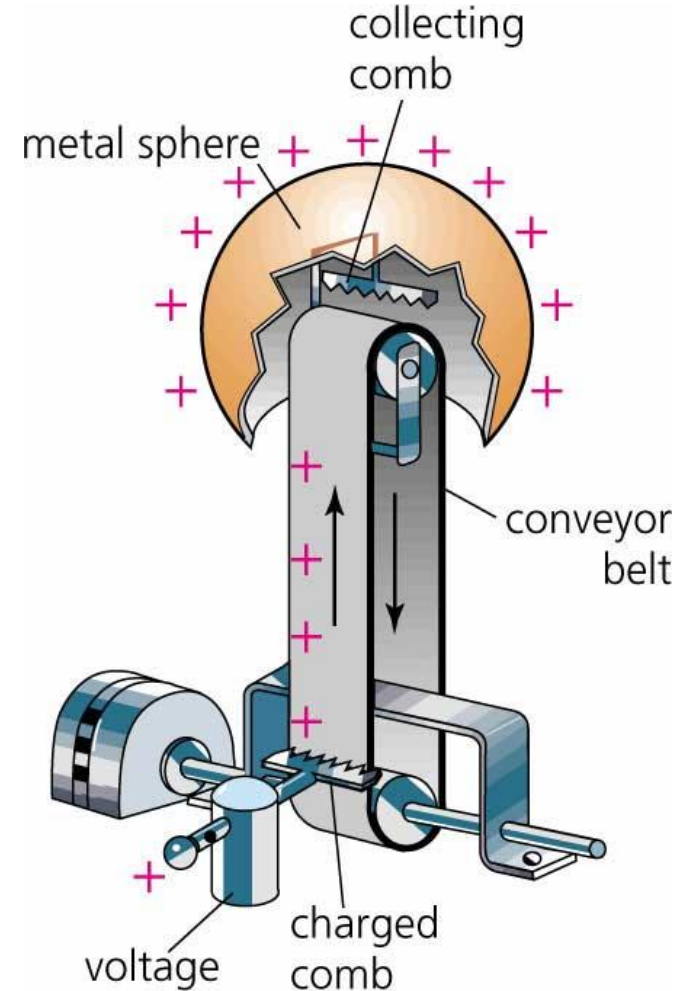
COCKROFT-WALTON JENERATÖRÜ



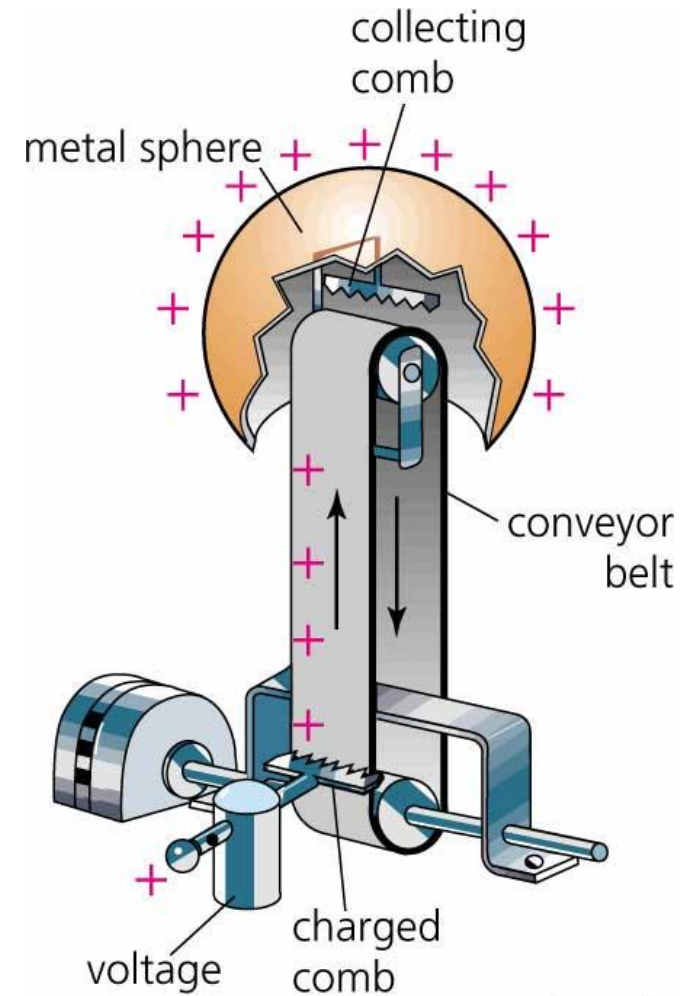
Enerji limiti yaklaşık 1,5 MeV

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 20MV'tan daha yüksek potansiyel değerlerine çıkılmıştır.

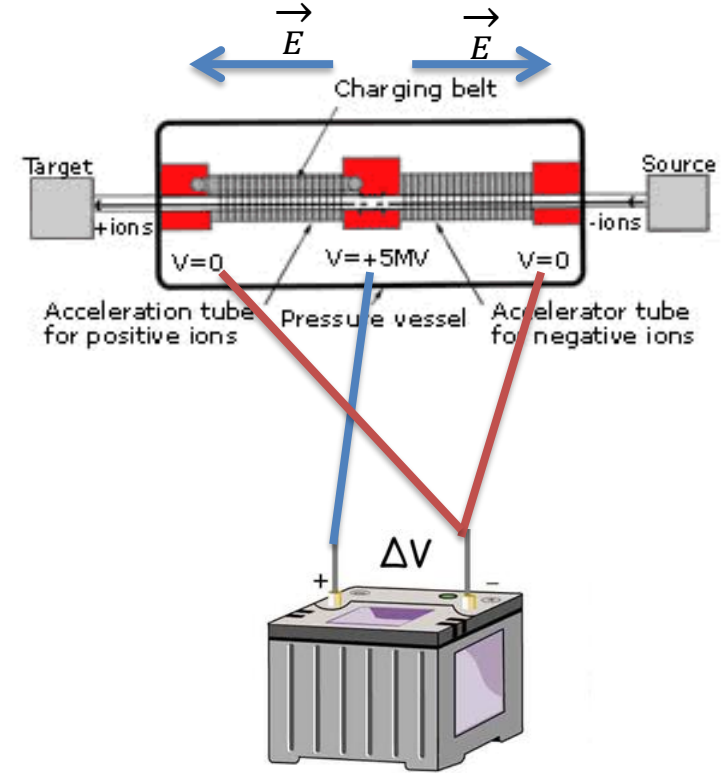


VAN DE GRAAFF JENERATÖRÜ



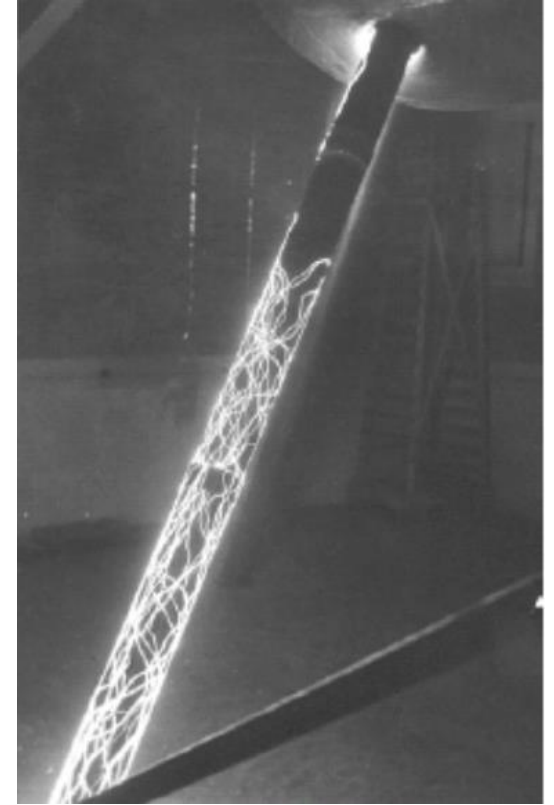
TANDEM HIZLANDIRICISI

- 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 (→proton)
 - Protonlar yine aynı güç kaynağı kullanılarak hızlandırılıyorlar.
- Tandem hızlandırıcısı ile: $\Delta E = 2 \cdot q \cdot \Delta V$ enerjilere çıkılabilir.



ELEKTROSTATİK HIZLANDIRICILARIN LIMITİ!

- Parçacıklar en fazla (potansiyel farkı) x (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!!!

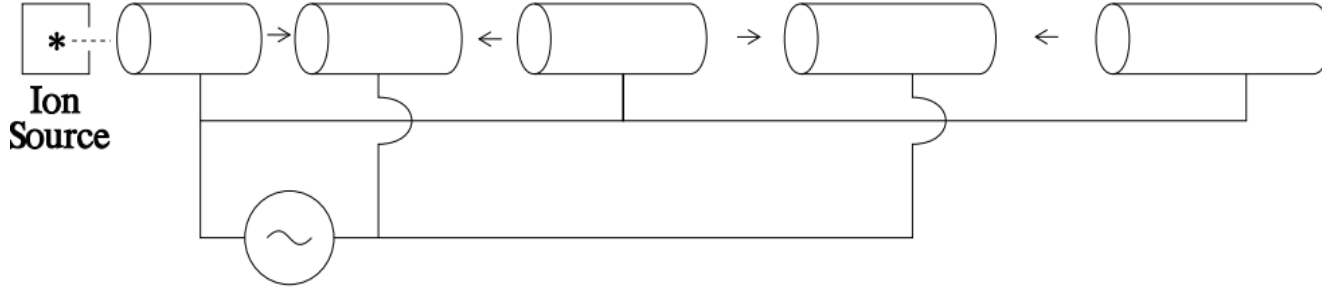


Van de graaff jeneratörünün bir ayağında gözlenen elektrik boşalması (corona discharge)

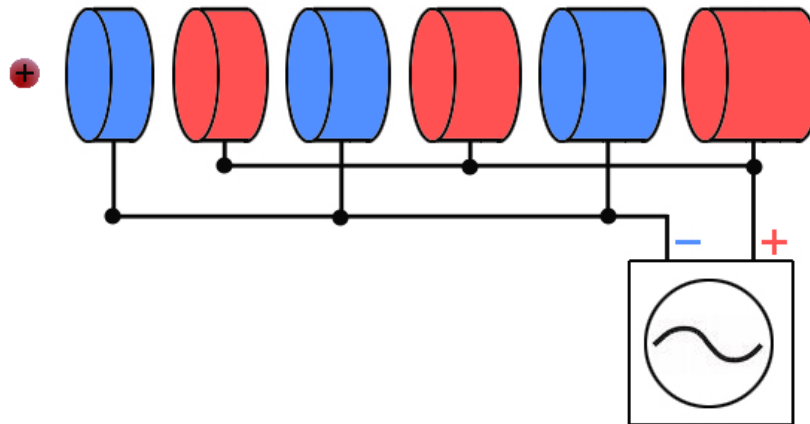
HIZLANDIRICILARDA ALTERNATIF AKIM KULLANMA FIKRI

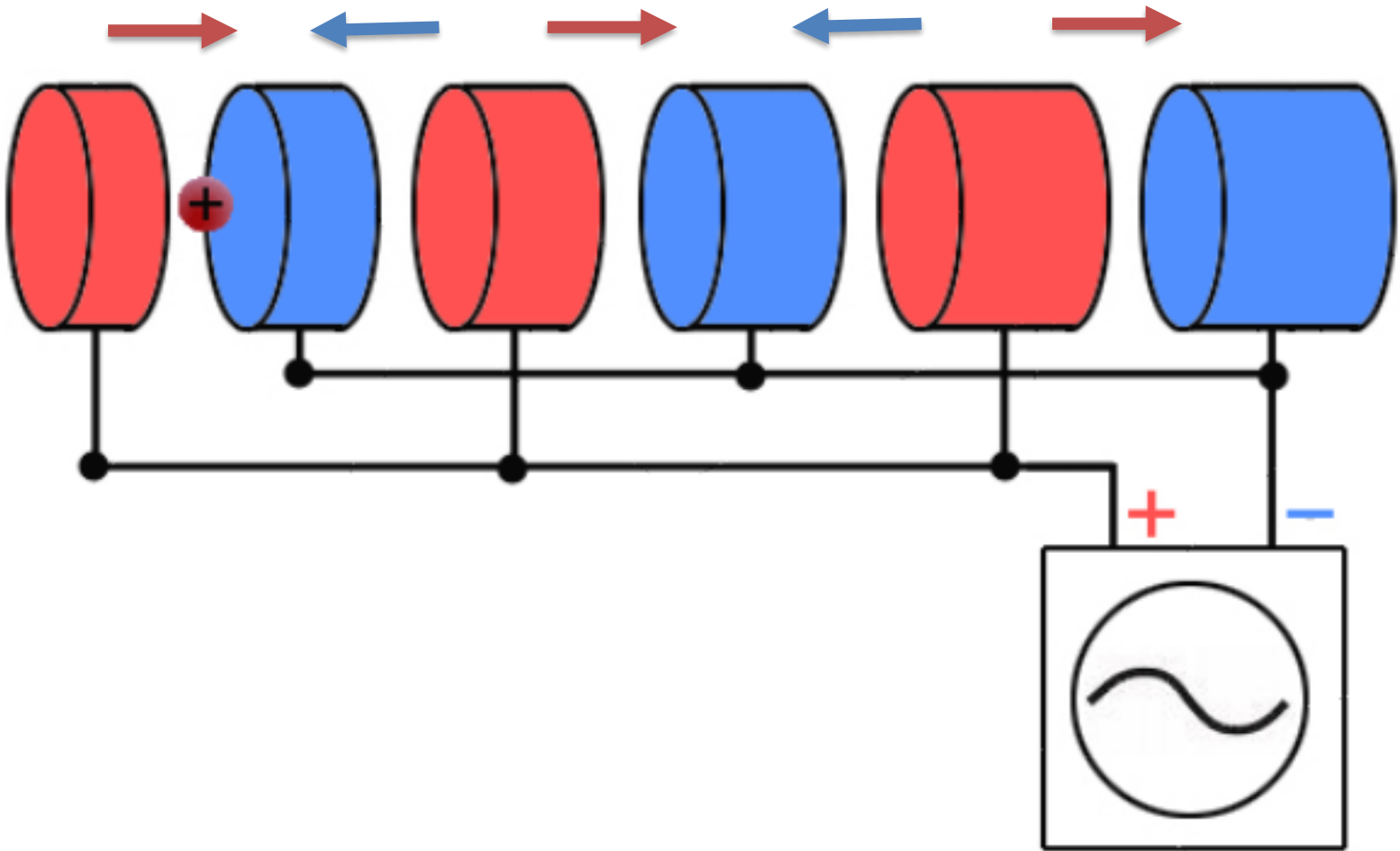
- 1924 te, İsveç li fizikçi Gustaf Ising hızlandırma için alternatif akım kullanma fikrini ortaya sürdü.
- 1927 de, Norveç li fizikçi Rolf Wideroe bu fikri geliştirdi ve bir hızlandırıcı üretti.

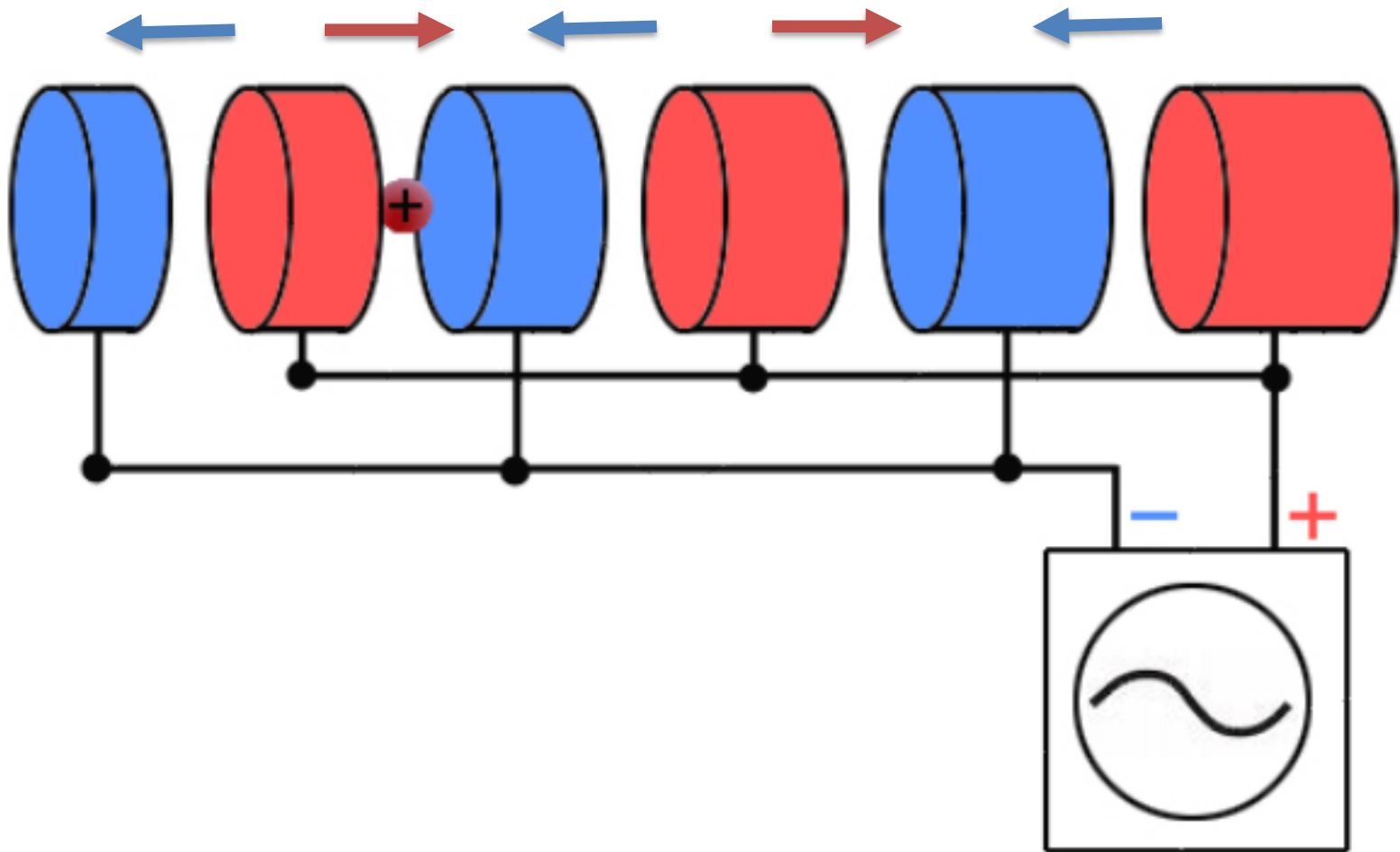
WIDEROE' NIN DOĞRUSAL HIZLANDIRICISI

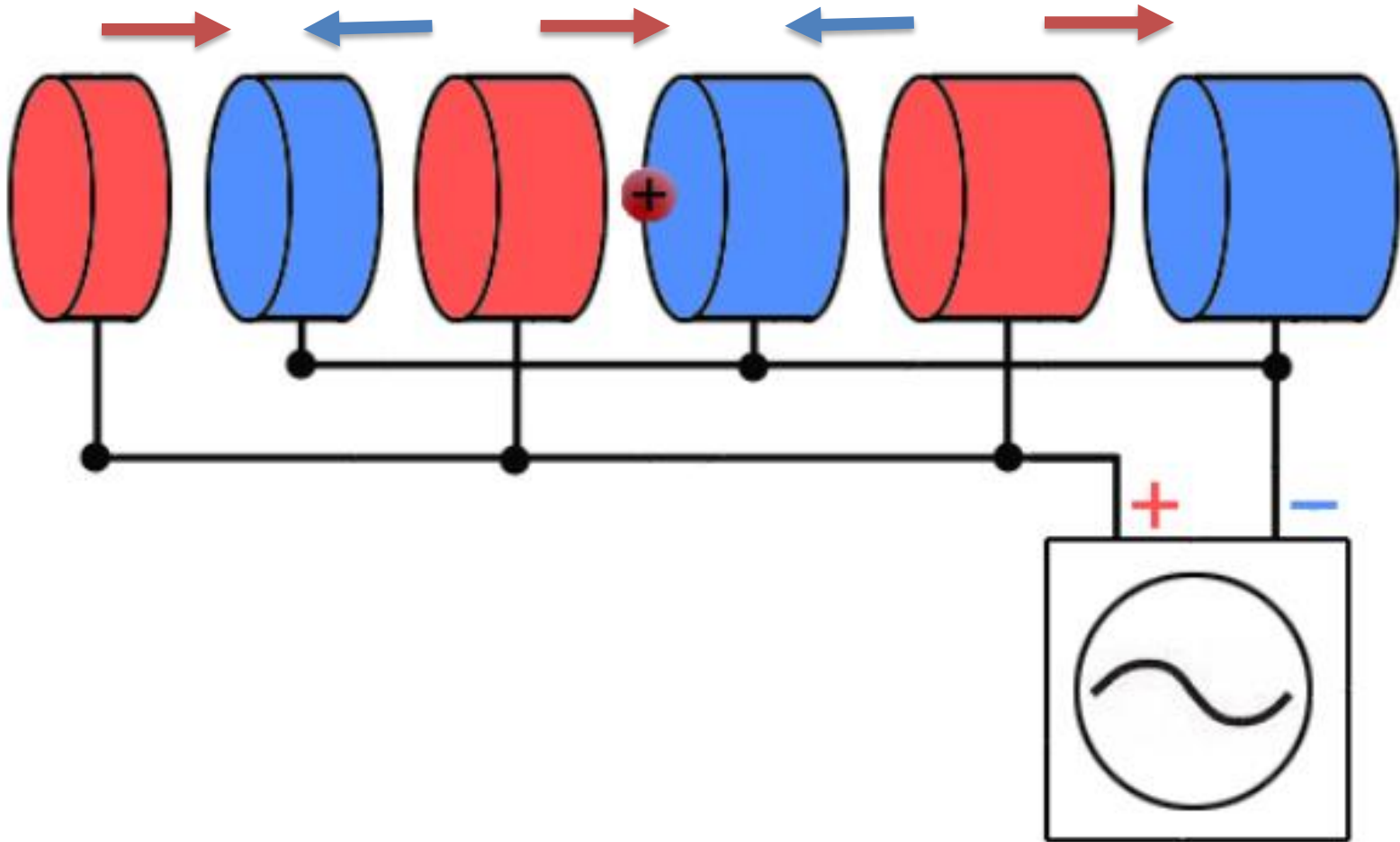


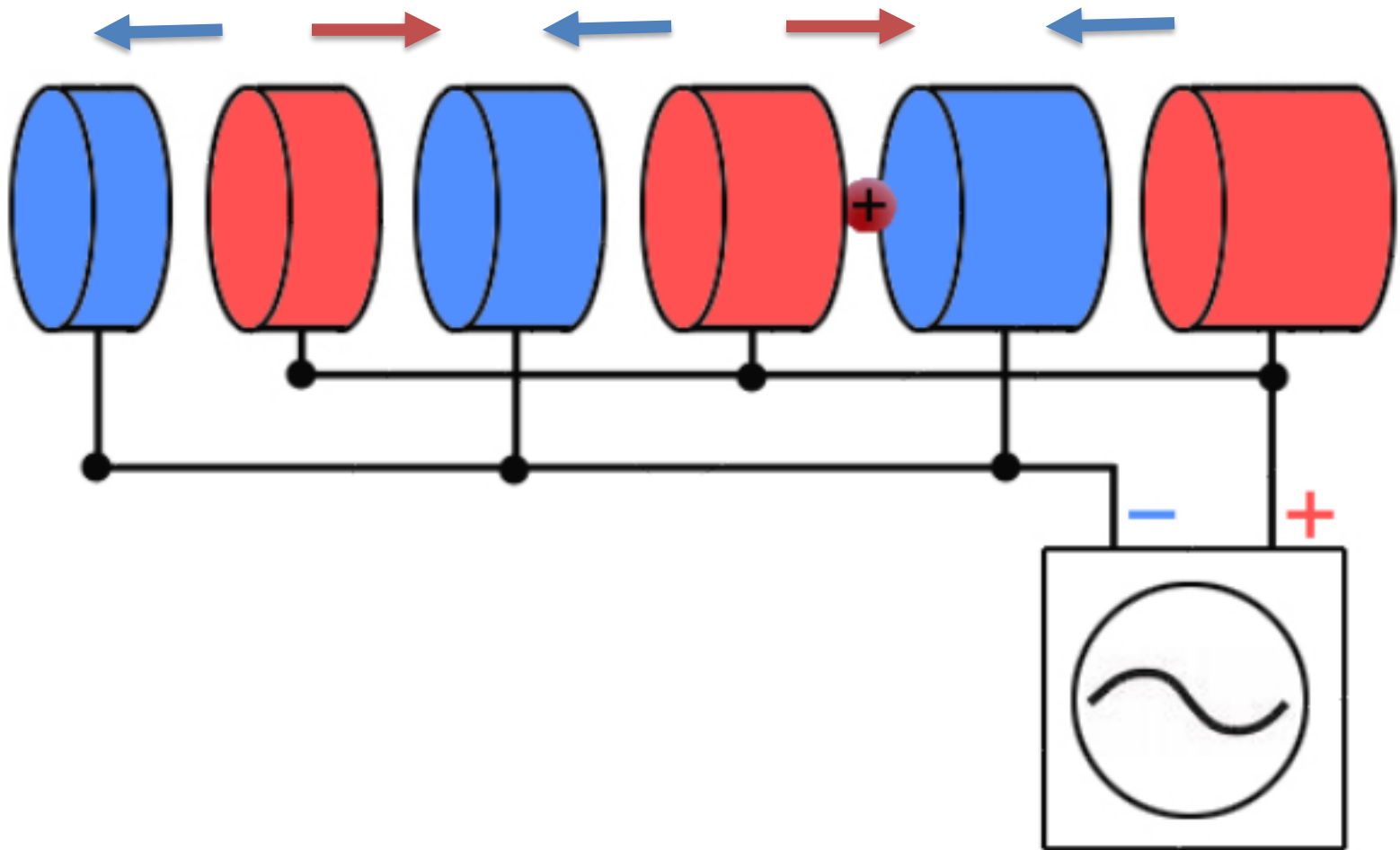
- **25kV luk üreteç kullanarak ağır iyonları 50keV e kadar hızlandırdı. $f= 1\text{MHz}$**



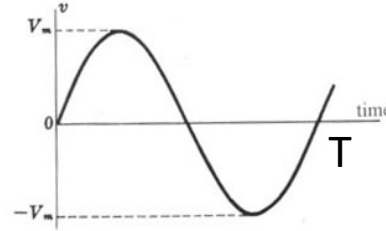
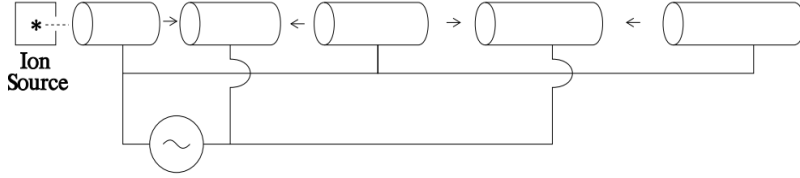








WIDEROE' NIN DOĞRUSAL HIZLANDIRICISI

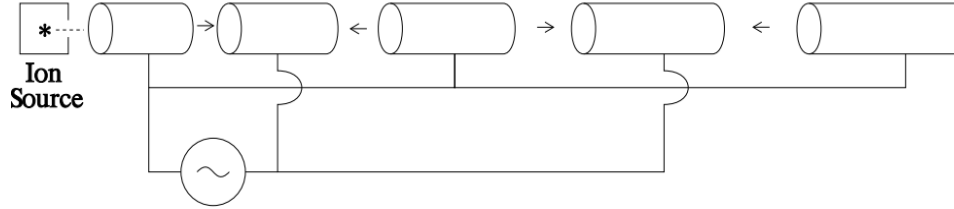


$$KE = m_0 c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right]$$

- **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 HIZLANDIRICISI



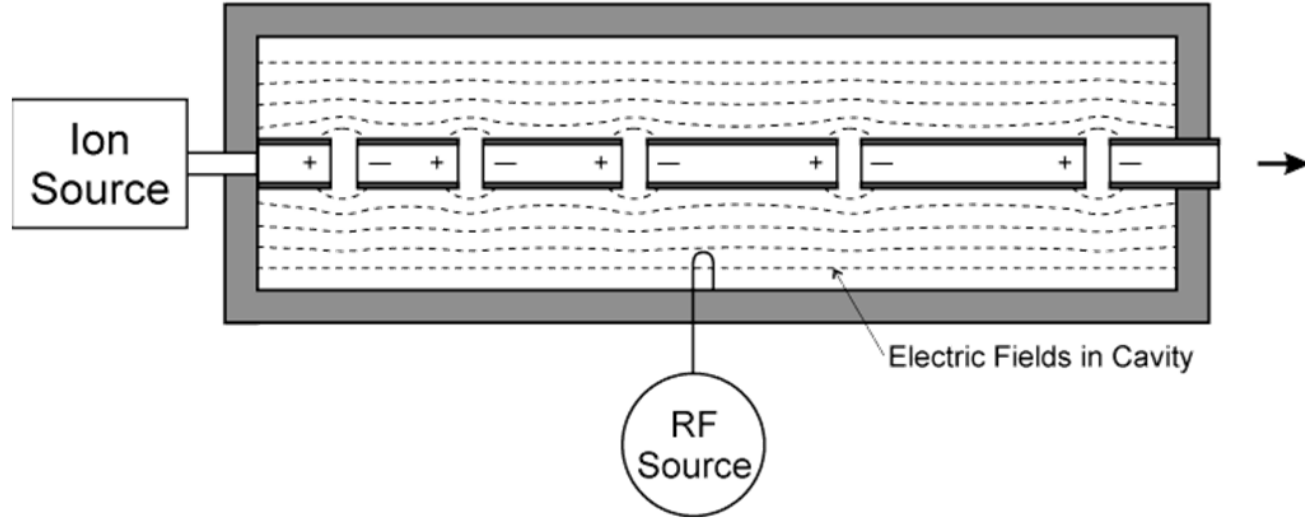
- Proton hızlandırmak istersek sürüklenme tüplerinin boylarını nasıl kısaltabiliriz?
- Eşzamanlılığı sağlamak için parçacıkların bir hızlanma boşluğundan diğerine gitme zamanı $T/2$ olmalı: zamanı kısaltmak için frekansı arttırmalıyız!!!
- Yüksek frekanslı üreteçler kullanırsak sürüklenme tüplerinin boyları kısalır.
- 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
- Wideröe'nin alternatif akım kullanma fikri çok önemli fakat tasarladığı hızlandırıcı parçacıkları yüksek enerjilere çıkartmak için yetmiyor!!! Yeni bir hızlandırıcı yapısına ihtiyaç var!!!

ELEKTROSTATİK HIZLANDIRICILAR VS. ALTERNATİF AKIM HIZLANDIRICILARI

- **Elektrostatik hızlandırıcılar ile parçacıklar en fazla (potansiyel farkı) x (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) x (yük) ten daha fazla enerji kazandırılabilir.**
- **Elektrostatik hızlandırıcılara göre parçacıklar daha yüksek enerjilere çıkartılabilir.**

RF HIZLANDIRICILAR

- **Radyo Frekansı (3kHz-300GHz)**

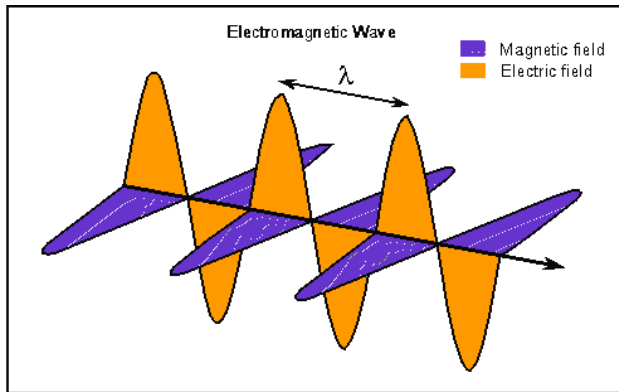


- 1948 da Amerikalı bilim adamı Luis W. Alvarez, hizlandirma islemi için, sürüklenme tüplerini bir iletken tankın içine koyup tankın içine elektromanyetik dalga göndererek elektrik alan indükleme firkrini geliştirdi (Alvarez drift tube linac- DTL).

ELEKTROMANYETİK DALGA VE MAXWELL DENKLEMLERİ

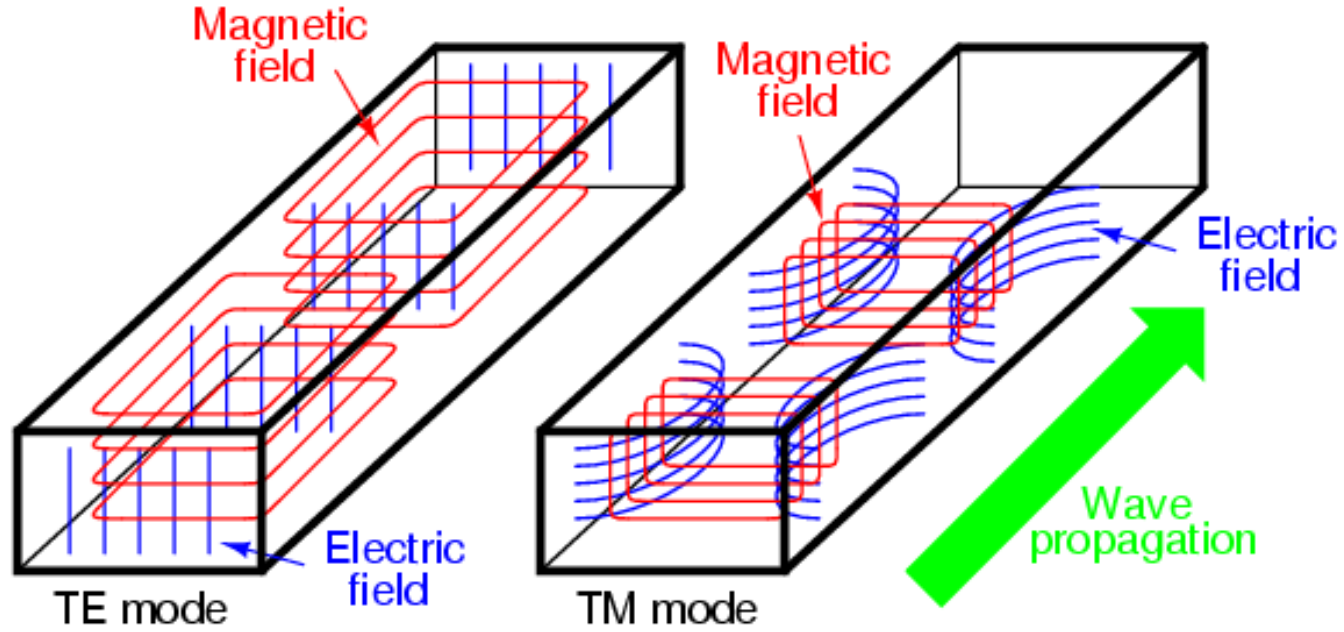
- Değişen manyetik alan etrafında elektrik alan indükler!!!
- Değişen elektrik alan etrafında manyetik alan indükler!!!

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= \rho / \epsilon_0 \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} &= - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{B} &= \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu_0 \mathbf{j}_c\end{aligned}$$



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

METAL YAPI İÇERİSİNDE EM DALGA (DALGA KLAVUZU)

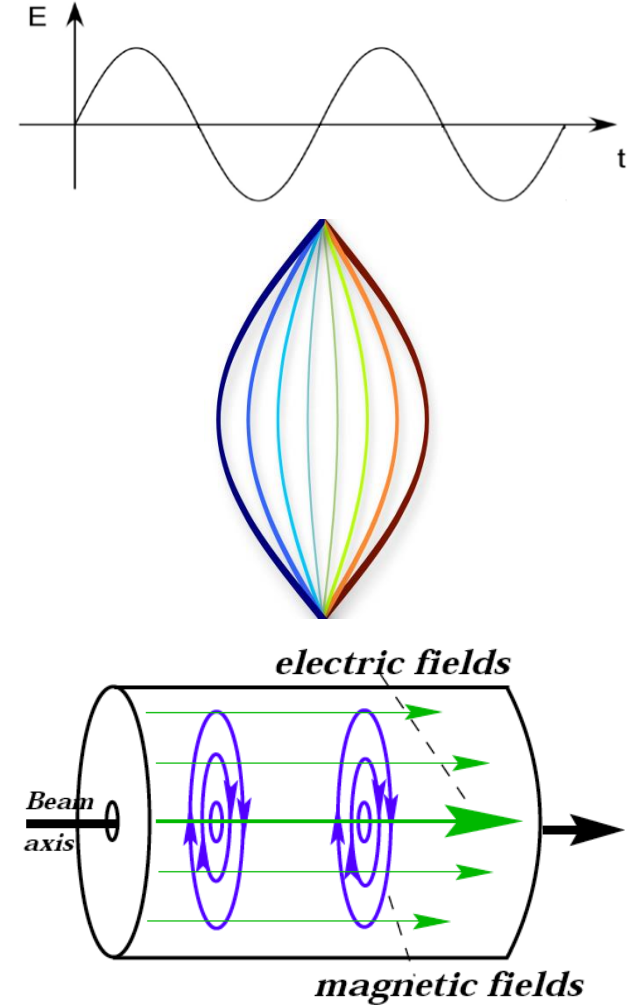


Magnetic flux lines appear as continuous loops
Electric flux lines appear with beginning and end points

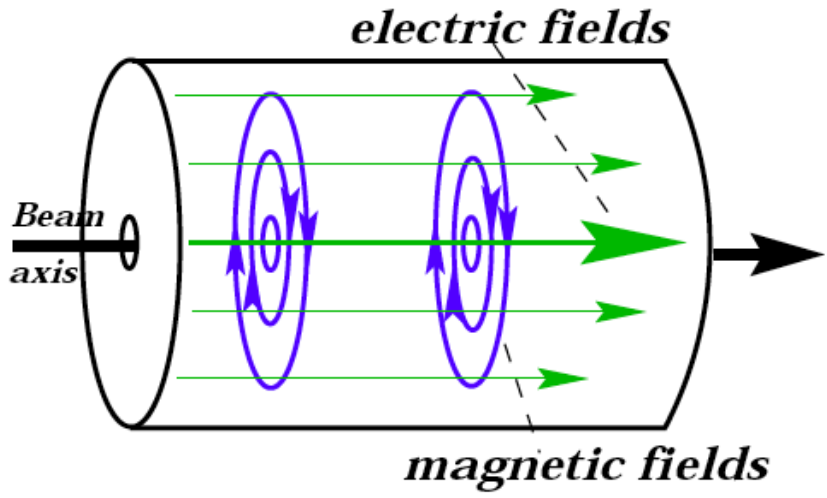
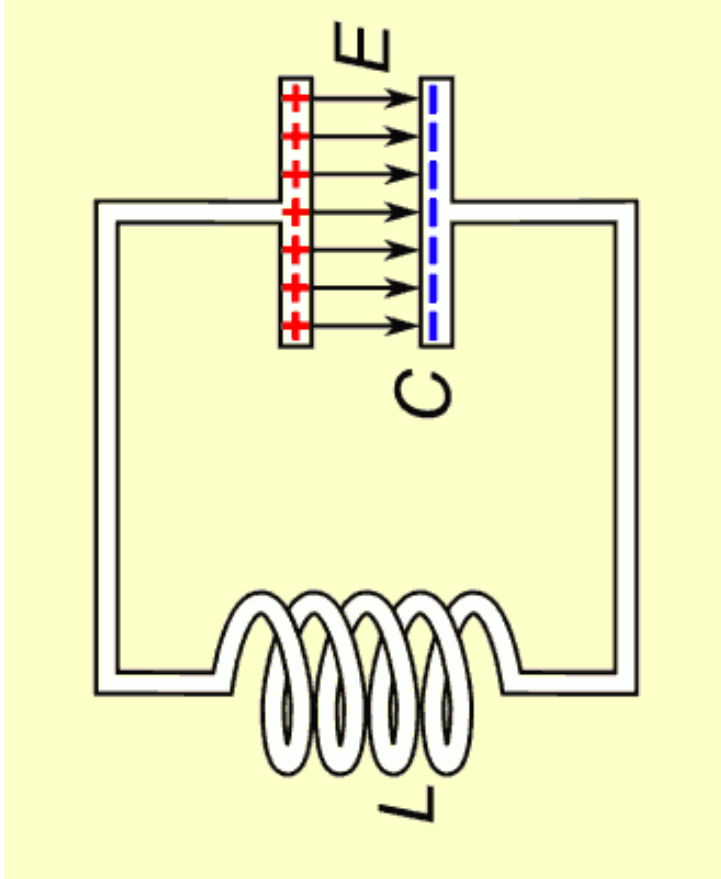
Metal bir yapı içerisinde ilerleyen elektromanyetik dalganın elektrik ve manyetik alan yönleri geometri (sınır şartları) ve frekans tarafından belirlenir.

SİLİNDİRİK (DAVUL) KOVUK

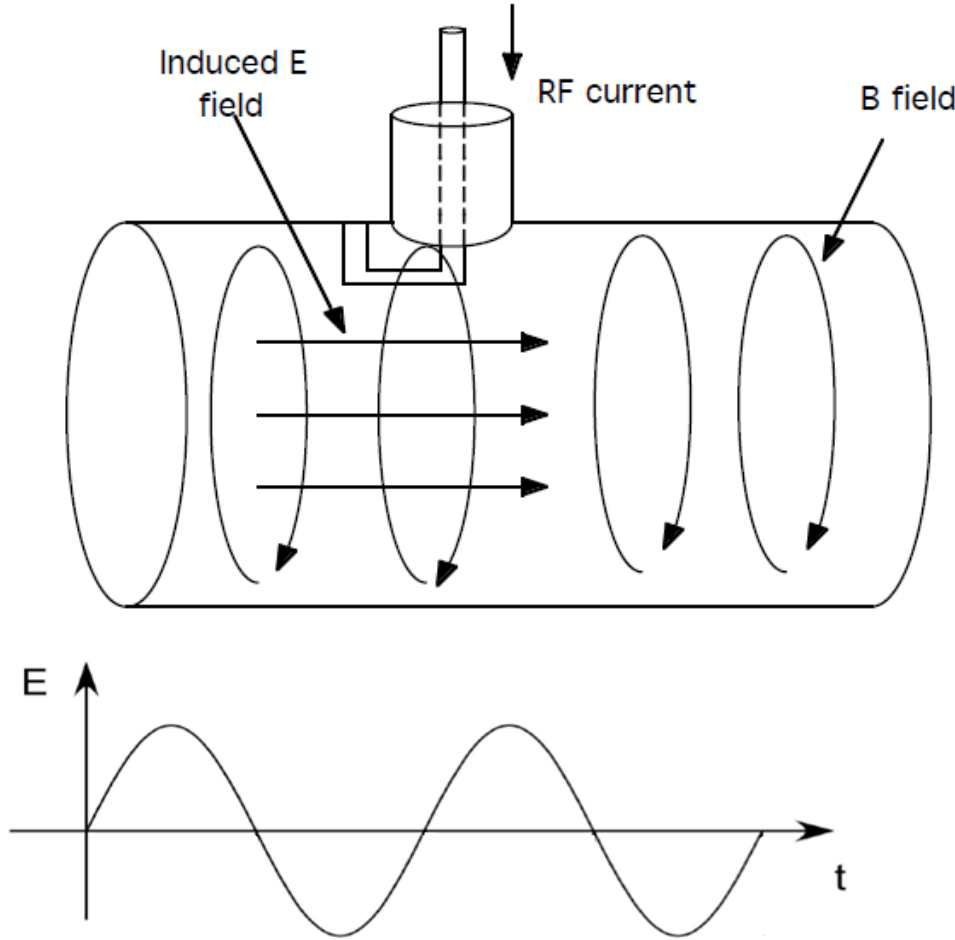
- Elektromanyetik dalga kovuk duvarlarından yansıyarak kovuk içerisinde durağan dalga (standing wave) oluşturuyor.
- Elektrik alan çizgileri silindirin simetri eksenine paralel.
- Manyetik alan çizgileri azimutal yönde.
- Hem manyetik alan hem elektrik alan kovuk içerisinde **salınım yapıyor**.
- Maxwell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



SILINDRIK (DAVUL) KOVUK

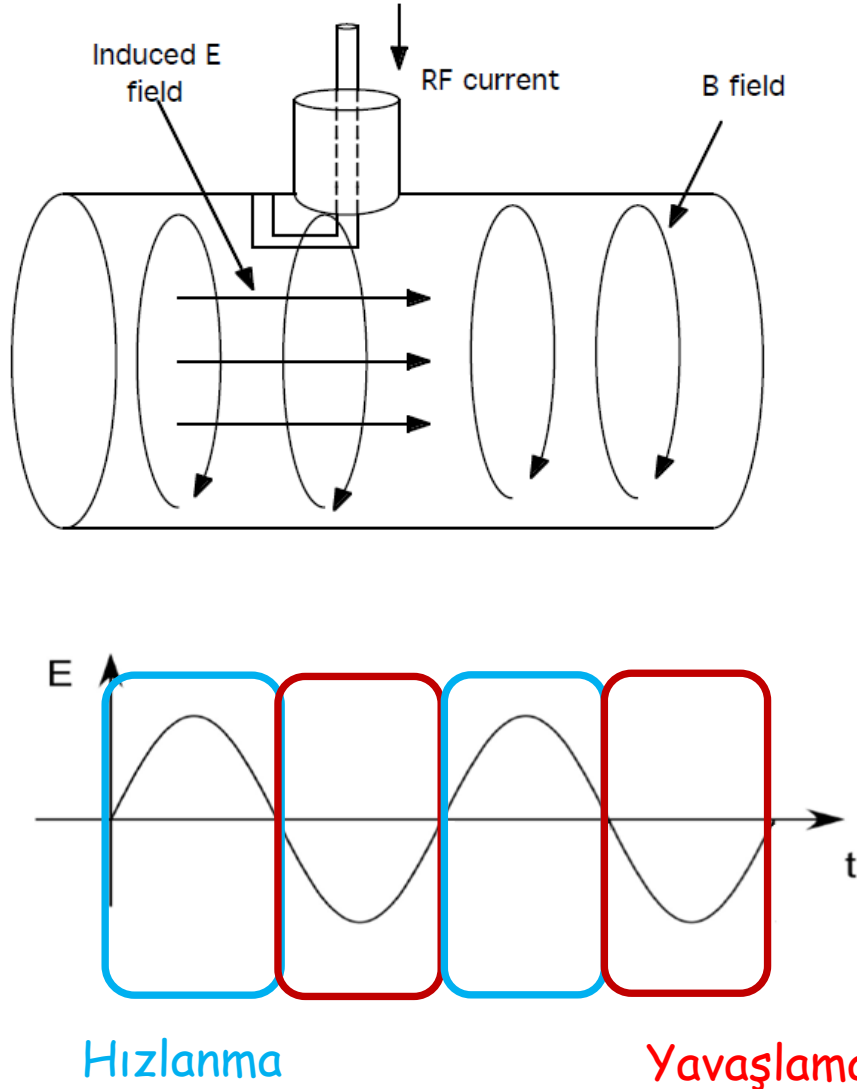


SİLİNDİRİK (DAVUL) KOVUK



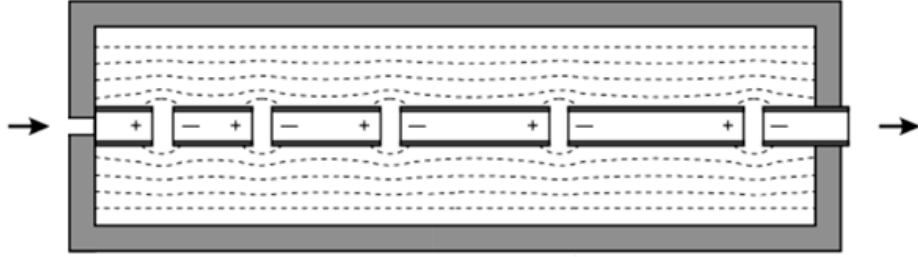
- Uzun boş bir silindirik kovuk içerisinde elektromanyetik alan indüklendikten sonra parçacıklar kovuk içerisine gönderildiğinde parçacıkları birkaç kez hızlandırabilir miyim?

DAVUL KOVUKTAN DTL'E

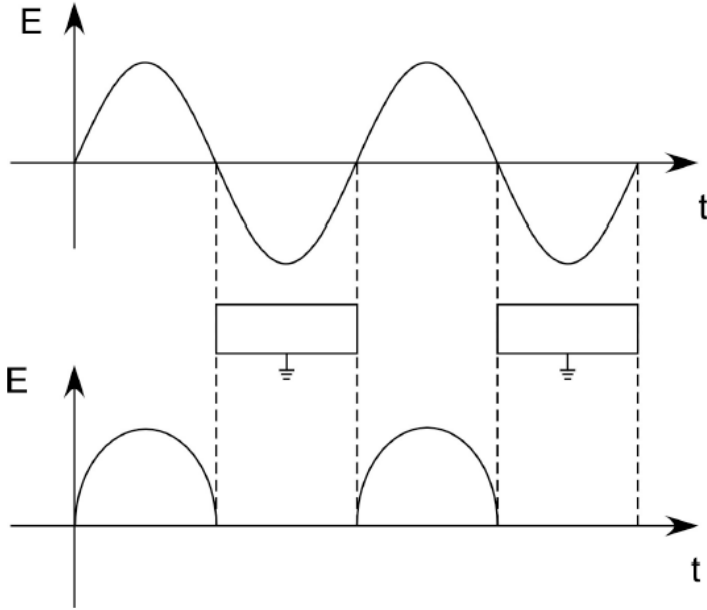


- Uzun boş bir silindirik kovuk içerisinde elektromanyetik alan indüklendikten sonra parçacıklar kovuk içine gönderildiğinde parçacıkların ortalama ivmesi sıfır olur!!!

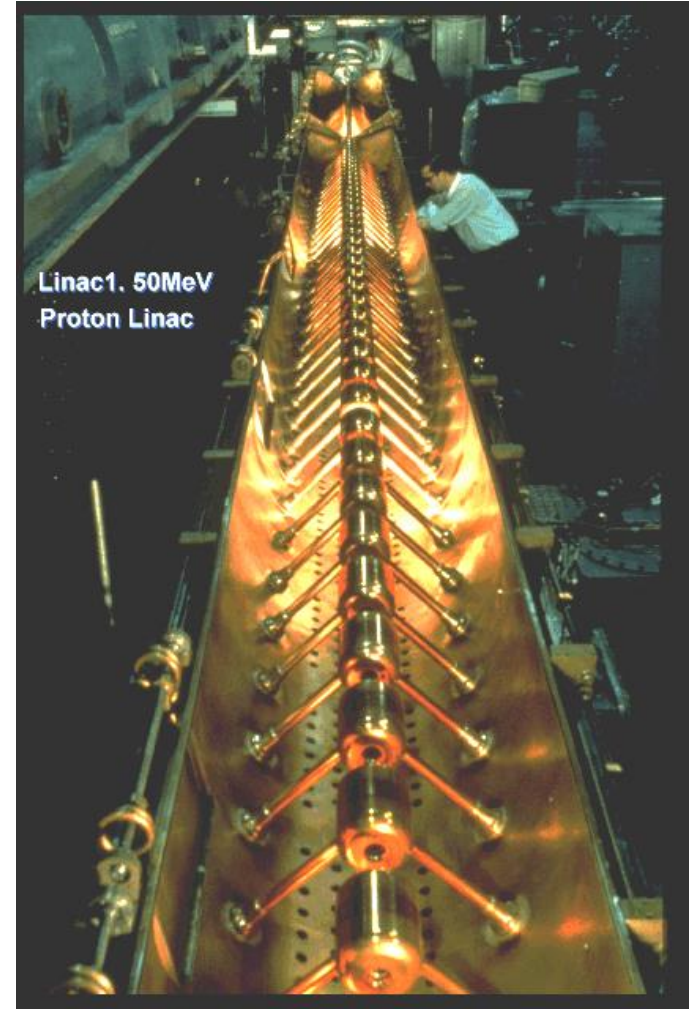
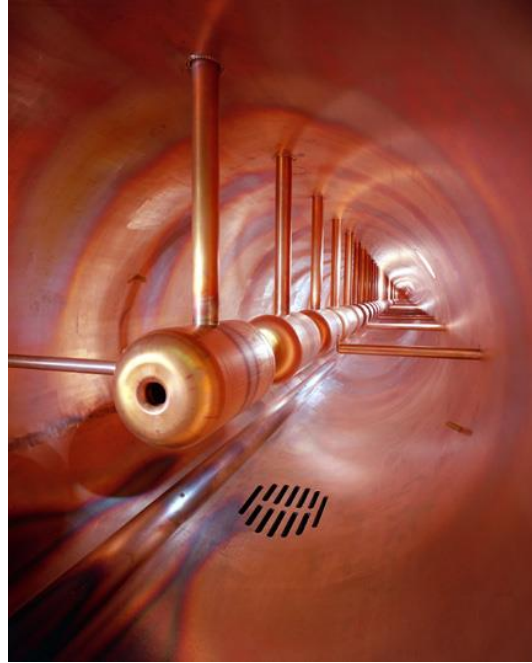
DAVUL KOVUKTAN DTL'E



- İletkenlerin 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).



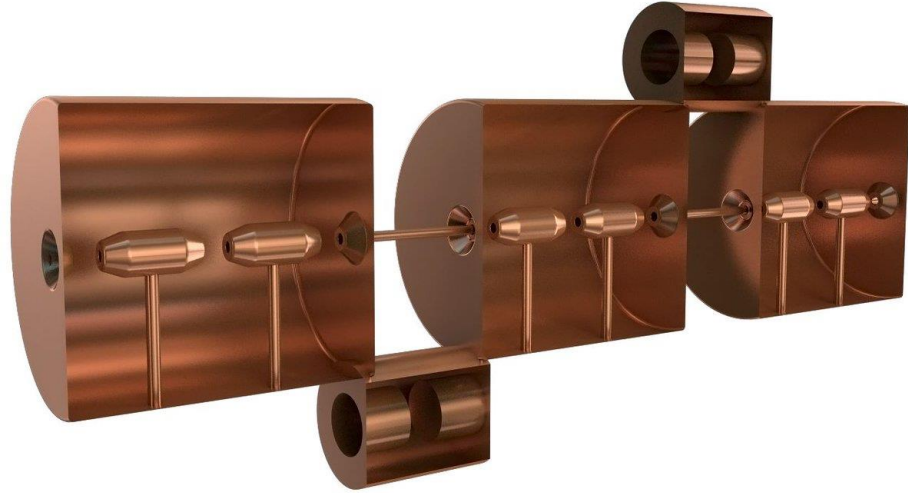
DTL: SURUKLENME TUPLU DOGRUSAL HIZLANDIRICI



RF KOVUKLARI

- RF (radyo frekansı) kovuklari, içrisine gönderdiğimiz elektromanyetik dalga sayesinde yüklü parçacıkları hızlandırdığımız metalik yapılardır.
- Frekans, hızlandırılan parçacık çeşidi, parçacıkların hızı gibi birçok etkene bağlı olarak değişik geometriye sahip olabilirler (Davul kovuk ve DTL iki örnek).

RF KOVUKLARI



RF HIZLANDIRICILAR

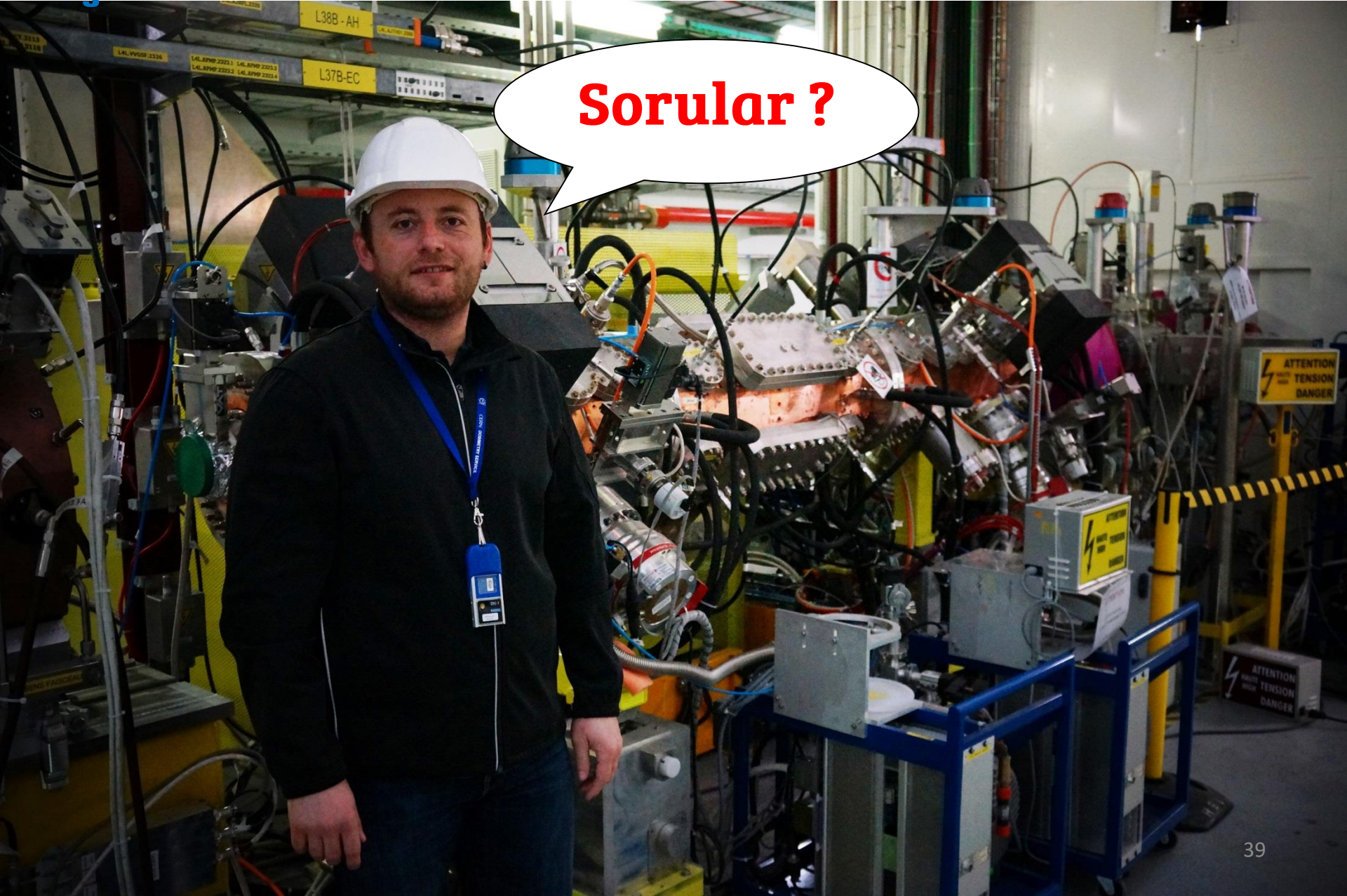
Doğrusal Hızlandırıcı



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 kovukları kullanılmaya başlandı.

TEŞEKKÜRLER!



Sorular ?