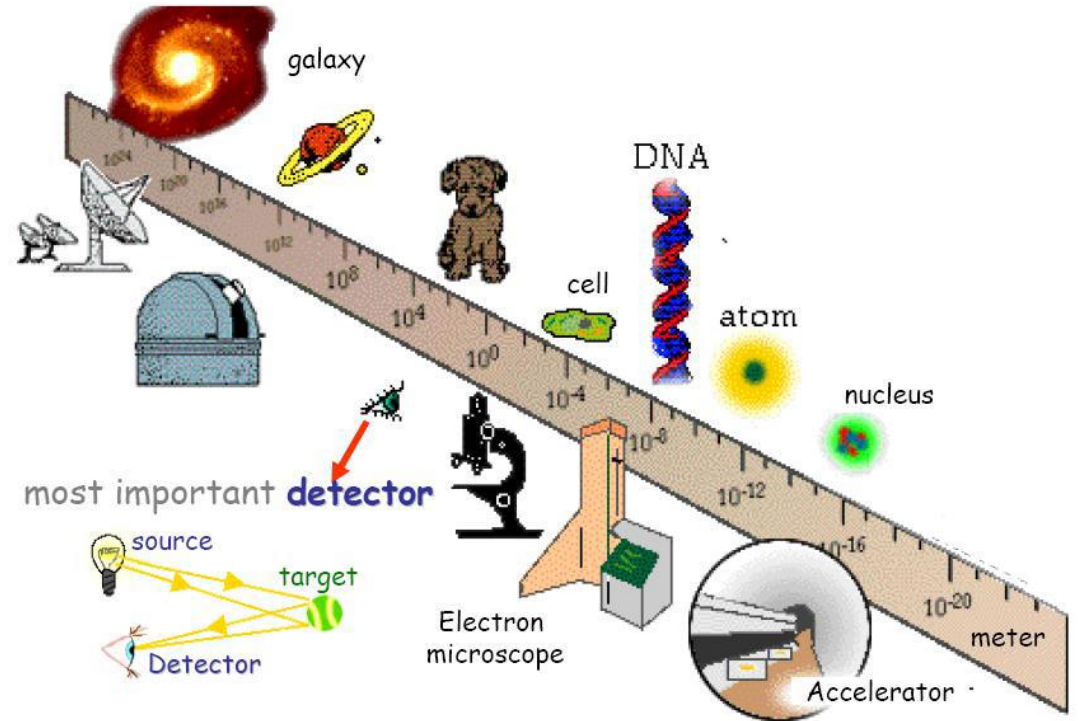


PARÇACIK HIZLANDIRICILARI



Parçacık Hızlandırıcıları Nedir?

Parçacık Hızlandırıcıları elektron (e^-), pozitron (e^+), proton (p), antiproton gibi yüklü temel parçacık demetlerini oluşturarak, onları hızlandırarak enerjilerini arzu edilen değere kadar çıkarabilen özel tasarımlı donanımlardır. Bu sistemler sayesinde daha yüksek enerjilere çıkarılan parçacık demetleri birbirleriyle ya da sabit hedeflerle çarpıştırılmakta, elde edilen sonuçlar da karmaşık detektör sistemleri ve bilgisayar programları vasıtasıyla tespit/analiz edilmektedir.



Parçacık hızlandırıcıları ve algıçlar 10^{-20} metre seviyesinde gözlem yapabilmemize olanak sağlar.

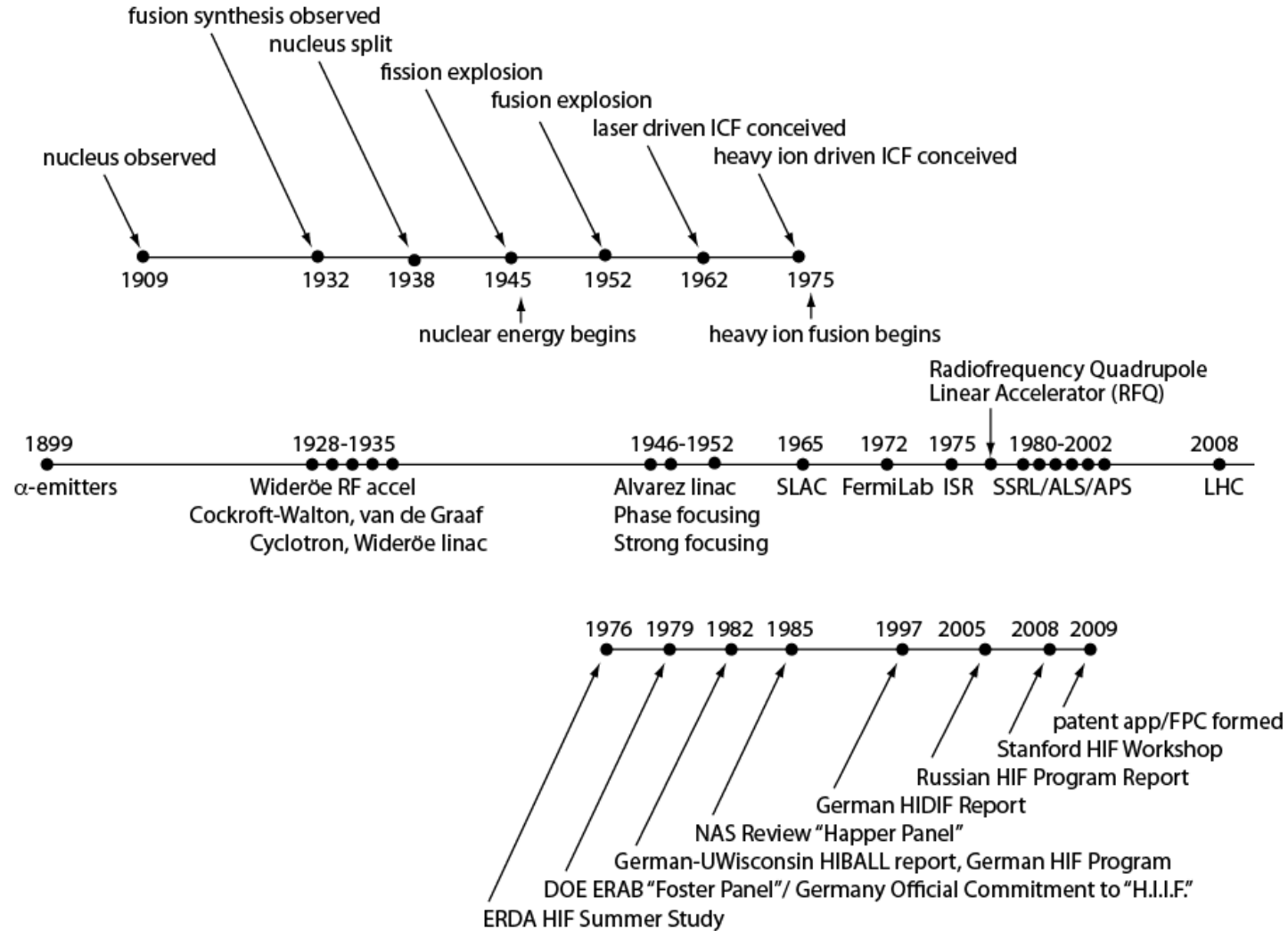
Paracak Hızlandırıcılarının Kullanım Alanı

Paracak hızlandırıcıları temel paracak fiziği ve nükleer fizik deneyleri başta olmak üzere;

- Malzeme fizięinden mikrospektroskopiye,
- Hadron terapisinden iyon implantasyonuna,
- Çevresel atıklarının etkisiz hale getirilmesine,
- Gıda sterilizasyonundan izotop üretimine,
- Nükleer atıkların temizlenmesinden toryuma dayalı nükleer santrallere,
- Anjiyografiden baca gazlarının temizlenmesine,
- Sinkrotron ışınımından serbest elektron lazerine,
- Ağır iyon füzyonlarından plazma elde edilmesine kadar yüzlerce alanda

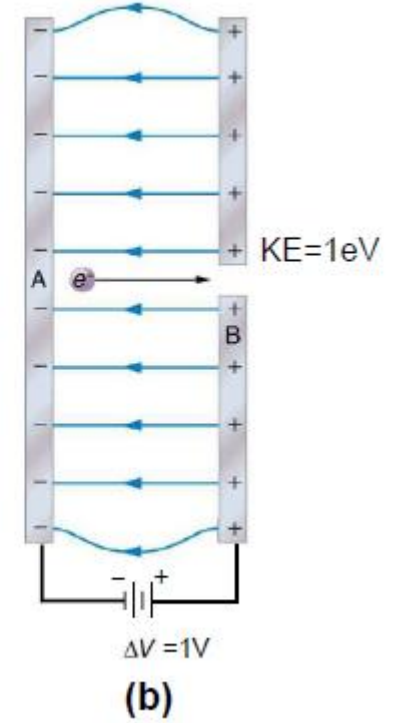
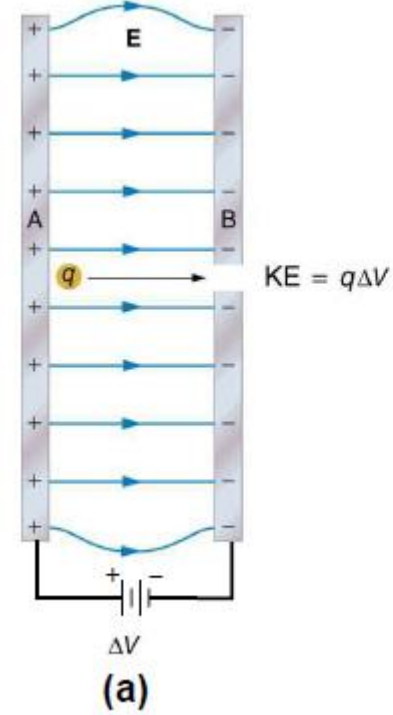
kullanılabilmektedir.

Parçacık Hızlandırıcılarının Tarihi ve Çeşitleri

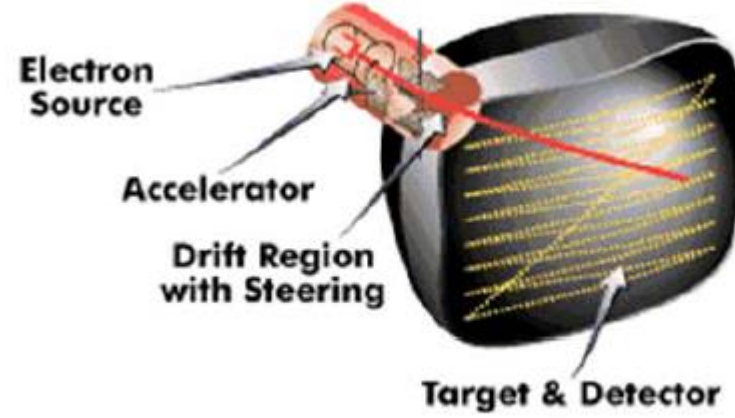
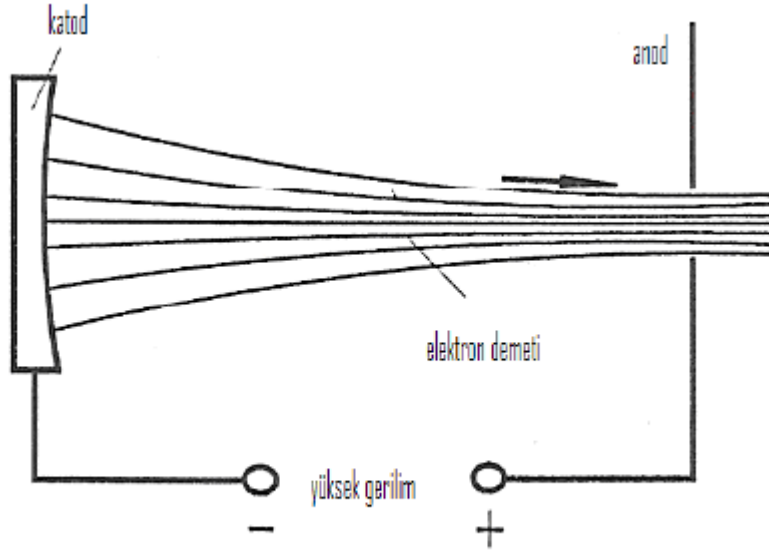


1. Elektrostatik Hızlandırıcılar

Elektrostatik hızlandırıcıların çalışma prensibi, yüklü parçacıkların sabit bir potansiyel farkından geçirilerek hızlandırılmasına dayanır. En basit elektrostatik hızlandırıcı, bir doğru akım üreticinin iki kutbuna bağlanmış bir çift paralel levhadır. İki levha arasına bir gerilim uygulandığında levhalar arasında bir elektrik alan oluşur. Yüklü parçacıklar oluşturulan bu elektrik alanında hızlandırılabilir.



Katot ışınları tüpü, Tv tüpleri, x ışını tüpleri bunlara iyi birer örnektir.



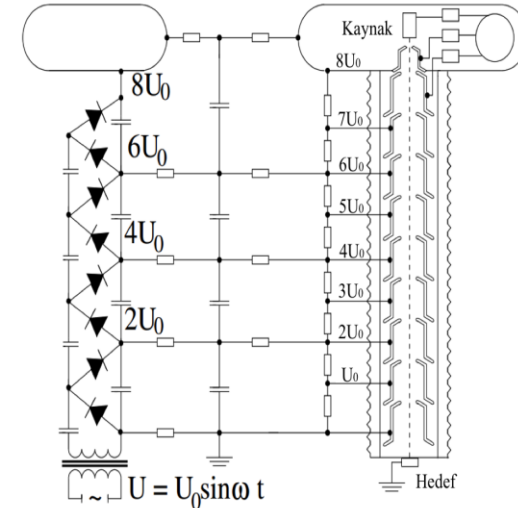
Cockcroft-Walton ve Van de Graaff hızlandırıcıları yaygın olarak kullanılan elektrostatik hızlandırıcı çeşitleridir.

1.1 Cockroft-Walton Hızlandırıcısı

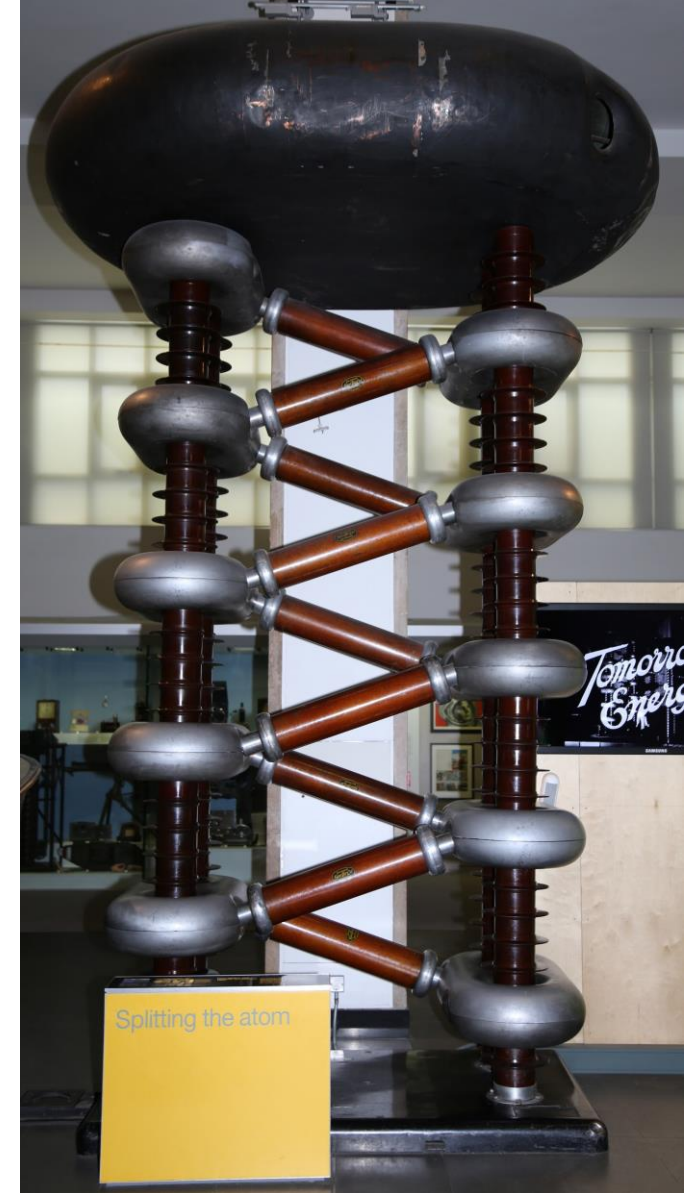
1911 yılında atom çekirdeğinin keşfinden sonra, Ernest Rutherford, hızlandırılmış parçacıklar ile atom çekirdeğinin parçalanabileceğini düşünüyordu. 1928 yılında Rutherford'un iki öğrencisi John D. Cockroft ve Ernest T. S. Walton, Rutherford'un desteği ile, proton hızlandırmada kullanılmak üzere 800kV'luk bir üreteç tasarlamaya başladılar.



Ernest Walton (sol), Ernest Rutherford (orta), John Cockcroft (sağ)

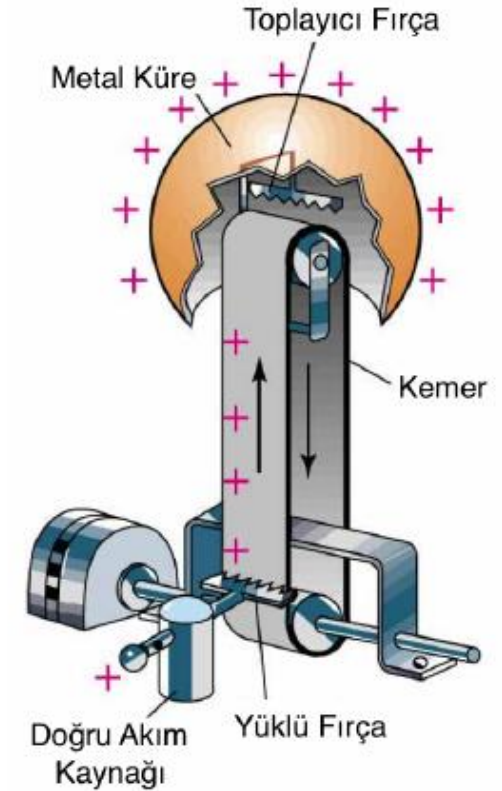


John Cockroft ve Ernest Walton, ürettikleri elektrostatik hızlandırıcı ile 1932 yılında protonları 400keV enerjiye kadar hızlandırıp bir lityum tabakasına vurdurdular. Hızlandırılmış protonlar lityum atomunun çekirdeğini parçalayarak iki helyum atomu çekirdeği meydana getirdi. Bu deney, yapay olarak, bir atom çekirdeğinin parçalandığı ilk deneydir. Cockroft-Walton üreticinin verebileceği maksimum voltaj 1.5MV civarındadır.



1.2 Van de Graaff Hızlandırıcısı

1931 yılında Amerikalı fizikçi Robert J. Van de Graaff yüksek potansiyel üretebilecek bir sistem geliştirdi. Bir elektrik motoru tarafından hareket ettirilen kayış sayesinde elektrik yüklerinin bir küre üzerinde biriktirilmesi prensibine dayanmaktadır. Elektrik yükleri, doğru akım kaynağına bağlanarak yüklenen bir fırça sayesinde hareket eden kemerin üzerine bırakılır ve kemer üzerinde küreye taşınır. Toplayıcı fırça sayesinde bu yükler iletken küre üzerine aktarılır. Küre üzerinde biriktirilen yüklerin çeşidi (pozitif veya negatif) yüklü fırçanın akım kaynağının hangi kutbuna bağlandığına göre değişir. Küre üzerine biriken yük miktarı arttıkça kürenin potansiyeli de artmış olur.



Van de Graaff jeneratörü ile 20MV'tan daha yüksek potansiyel değerlerine çıkılmıştır. Van de Graff jeneratörü, Cockroft-Walton hızlandırıcısında olduğu gibi, bir dizi elektrottan oluşmuş bir hızlandırma tüpüne bağlanarak yüklü parçacıkları hızlandırmada kullanılabilir.

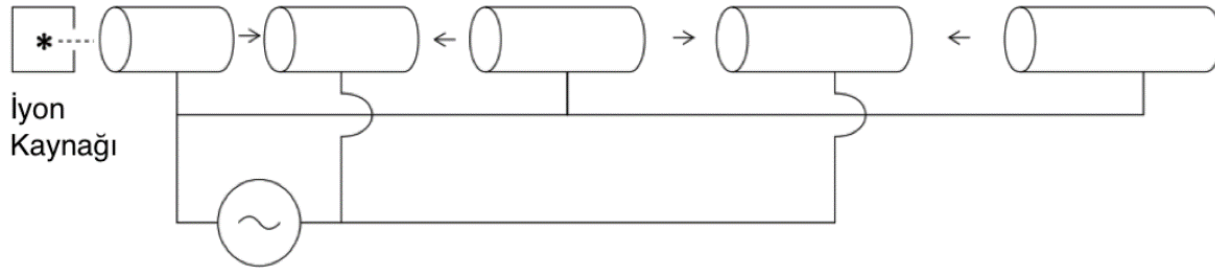


2. Radyo Frekansı Hızlandırıcılar

Elektrostatik hızlandırıcılar ile parçacıkların ulaşabileceği en yüksek enerji, üretcin potansiyeli ile sınırlıdır. Bu kısıtlama hızlandırma işlemi için alternatif akım kullanılarak aşılabılır. Alternatif akım kullanan hızlandırıcılarda parçacıkların ulaşabileceği en yüksek enerji kullanılan alternatif akım kaynağının potansiyelinden çok hızlandırıcının boyutlarına bağlıdır. Yaklaşık olarak, 3kHz ile 300GHz arasında kalan salınım frekansı Radyo Frekansı (RF) olarak adlandırılır. Bu aralıkta salınım yapan bir alternatif akım üretci kullanan hızlandırıcılara da RF hızlandırıcılar olarak adlandırılır. Hızlandırıcılarda alternatif akım kullanma fikri ilk defa 1924 yılında İsveç'li fizikçi Gustaf Ising tarafından ortaya sürdü. 1927'de, Norveç'li fizikçi Rolf Wideroe bu fikri geliştirdi ve 1928 yılında bir hızlandırıcı üretti. Wideroe, ürettiği bu doğrusal hızlandırıcıyla 25kV'luk güç kaynağı kullanarak pozitif iyonları 50keV'a kadar hızlandırdı. Günümüze kadar birçok çeşit RF hızlandırıcısı geliştirilmiş ve üretilmiştir. RF hızlandırıcılarını doğrusal hızlandırıcılar ve dairesel hızlandırıcılar olarak iki grupta inceleyebiliriz.

2.1 Doğrusal (Lineer) Hızlandırıcılar

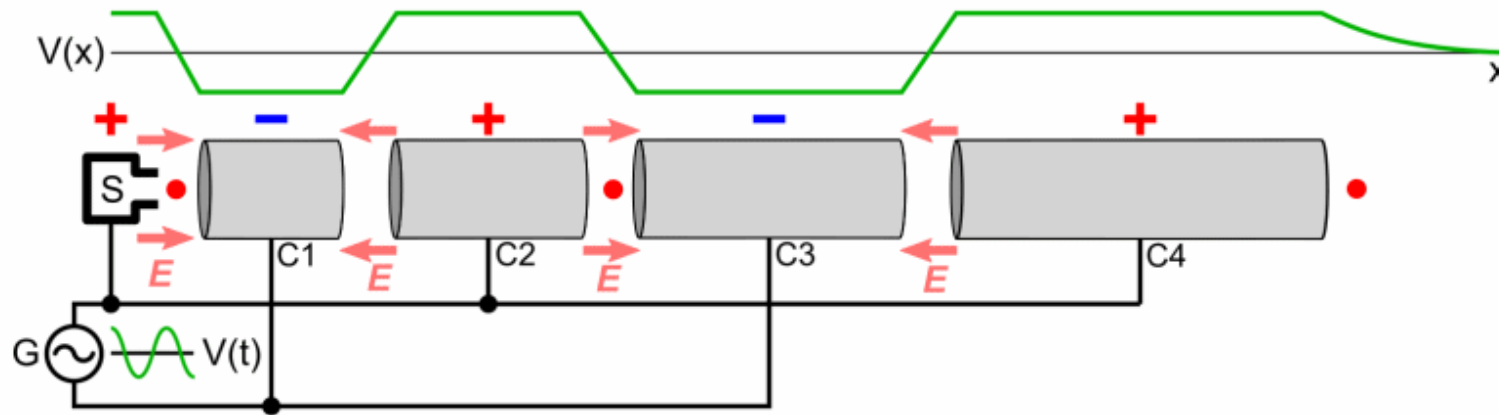
Doğrusal hızlandırıcı, linak (linear accelerator) olarak adlandırılır ve alternatif akım (AC) yöntemi ile çalışırlar. İlk doğrusal hızlandırıcı Wideroe tarafından geliştirilmiştir.



Wideroe doğrusal hızlandırıcısının şematik gösterimi.

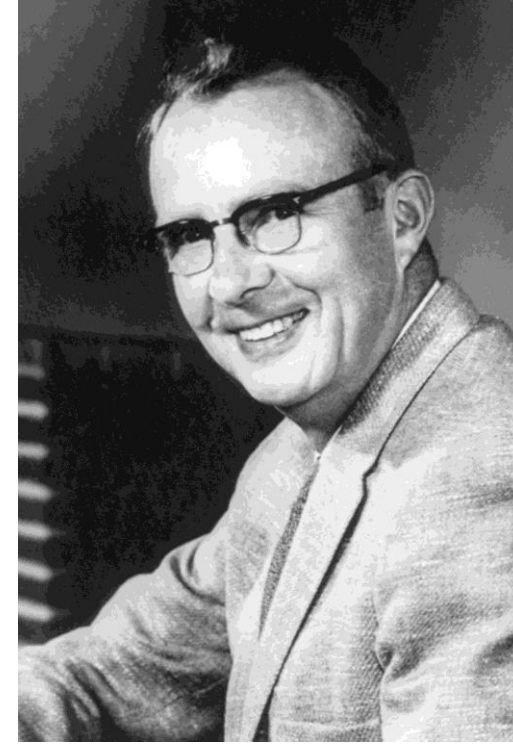


Wideroe doğrusal hızlandırıcısı, hızlandırılacak parçacıkların oluşturulduğu bir iyon kaynağı ve alternatif akım kaynağına bağlanmış bir dizi metal sürüklenme tüpünden oluşmaktadır. Metal sürüklenme tüpleri alternatif akım kaynağının kutuplarına kablolar ile bağlanmıştır ve bu bağlantılar sayesinde tüplerin üzerlerine elektrik yükleri taşınmaktadır. İki ardışık sürüklenme tüpü alternatif akım kaynağının farklı kutuplarına bağlandığından iki ardışık sürüklenme tüpü zıt elektrik yükleri ile yüklenir ve iki sürüklenme tüpü arasında kalan boşlukta (hızlanma boşluğu) elektrik alan oluşur. Sürüklenme tüplerinin içinde elektrik alan oluşmaz bu sebeple parçacıklar sürüklenme tüplerinin içinden geçerken sabit hızda hareket ederler. Alternatif akım kaynağı kullanıldığından her tüpün üzerindeki elektrik yükü kaynağın periyodunun (T) yarısı kadar bir zamanda işaret değiştirir. Bu sebeple bir hızlanma boşluğundaki elektrik alan da her $T/2$ sürede yön değiştirir.

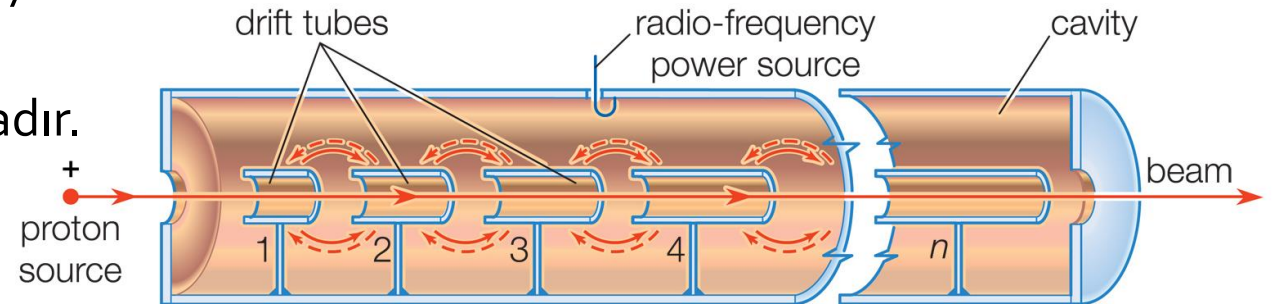


Elektron gibi hafif parçacıkların hızları ağır iyonlara göre çok çabuk artar. Wideroe'nin hızlandırıcısında hafif parçacıklar hızlandırılırsa eş zamanlılığı sağlamak için çok uzun sürüklenme tüplerine ihtiyaç duyulacağından, Wideroe'nin hızlandırıcısı hafif parçacıkları hızlandırmak için pratik değildir.

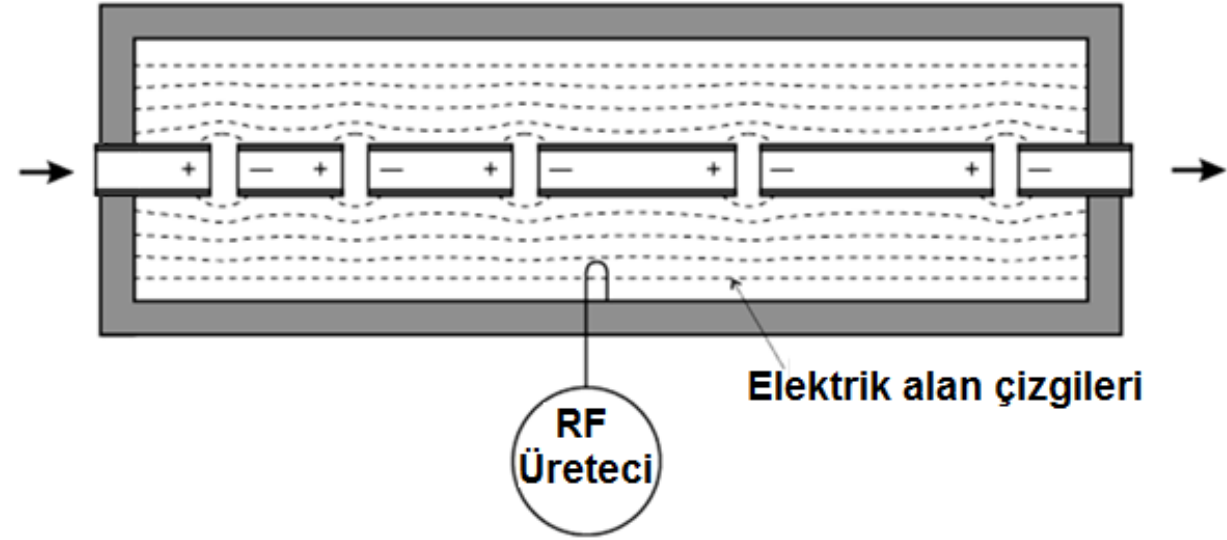
1947 yılında Amerikalı fizikçi Luis Alvarez yüksek frekanslarda parçacıkları hızlandırabilecek bir sistem geliştirdi ve Alvarez sürüklenme tüplü doğrusal hızlandırıcı (DTL:Drift Tube Linac) olarak adlandırılan yapıyı üretti. Alvarez'nin ürettiği doğrusal hızlandırıcı 200MHz frekansta çalışan bir proton hızlandırıcısıydı. Bu yapı günümüzde de proton hızlandırıcılarında yaklaşık 3-100MeV enerji aralığında kullanılmaktadır.



Luis Walter Alvarez



DTL'in çalışma prensibi iletken silindirik bir kovuk içerisine gönderilen elektromanyetik dalganın kovuk içerisinde elektrik alan oluşturması ve bu elektrik alanın belirli bir frekansta salınım yapması prensibine dayanmaktadır. DTL içerisine sürüklenme tüpleri yerleştirilmiş iletken bir silindirik kovuktan meydana gelmektedir. Kovuk içerisine RF retecinden gelen elektromanyetik dalga gönderildiğinde, silindir eksenine paralel yönde elektrik alan oluşmaktadır.



Alvarez DTL'in şematik görünümü

Günümüze kadar, Wideroe'nin parçacıklar ve elektrik alan arasındaki eşzamanlılık prensibi çerçevesinde birçok normal iletken ve süperiletken RF kovuğu geliştirilmiştir. Günümüzde inşa edilen doğrusal hızlandırıcılarda, tek bir hızlandırma yapısı kullanmak yerine değişik hızlarda değişik hızlandırıcı yapıları kullanılmaktadır. Bu yapıların seçilmesinde en önemli kriterlerden biri, parçacık hızlandırma sırasında elektrik güç tüketimini en aza indirmektir.

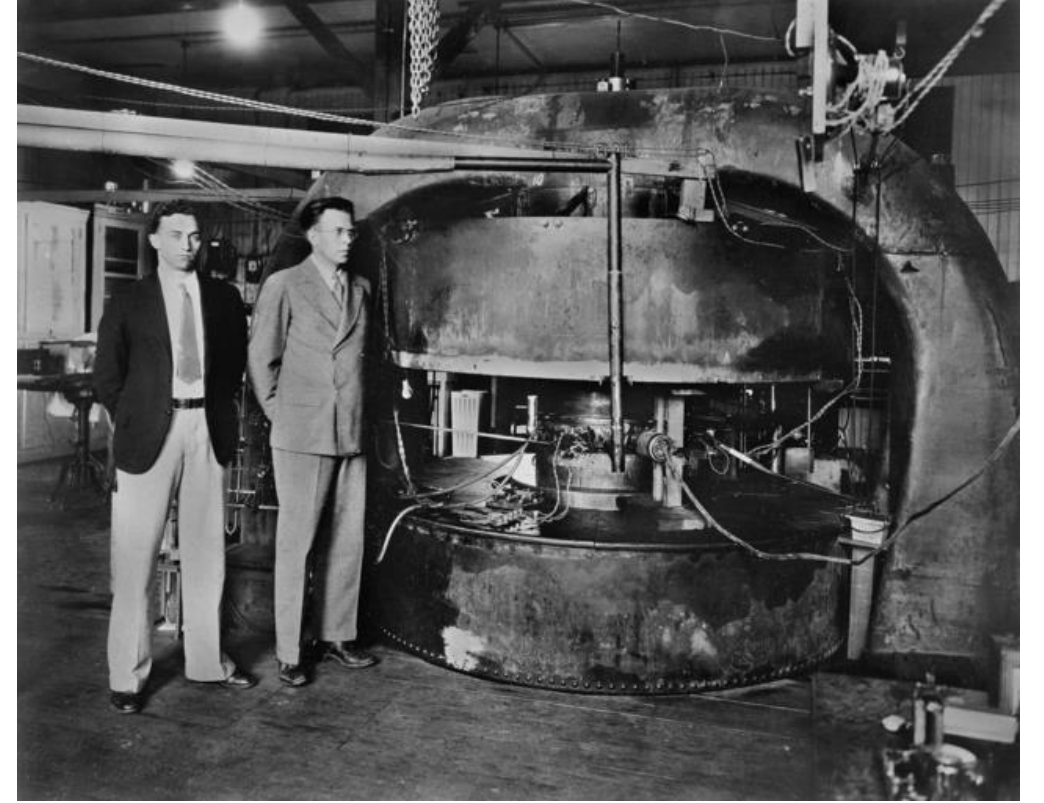


Superconducting RF Cavities

2.2 Dairesel Hızlandırıcılar

Dairesel hızlandırıcılar isimlerinden de anlaşılacağı gibi daire şeklindedirler. Günümüzde en çok kullanılan dairese hızlandırıcı tipleri döndürgeç (cyclotron) ve eşzamanlayıcıdır (synchrotron).

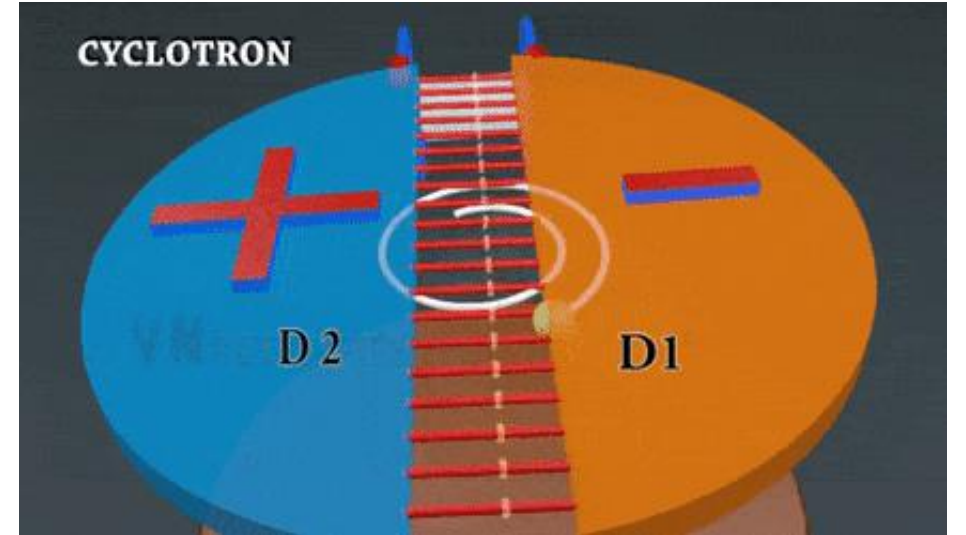
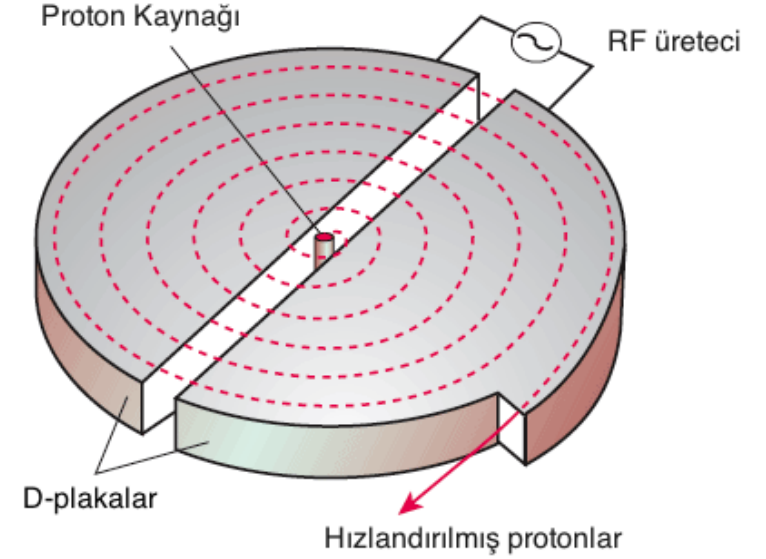
İlk başarılı döndürgeç (siklotron) 1931 yılında Ernest Lawrence ve öğrencisi M. Stanley Livingston tarafından geliştirildi. Bu döndürgeç 1.8kV luk RF üretici kullanarak protonları 80keV e kadar hızlandırdı.



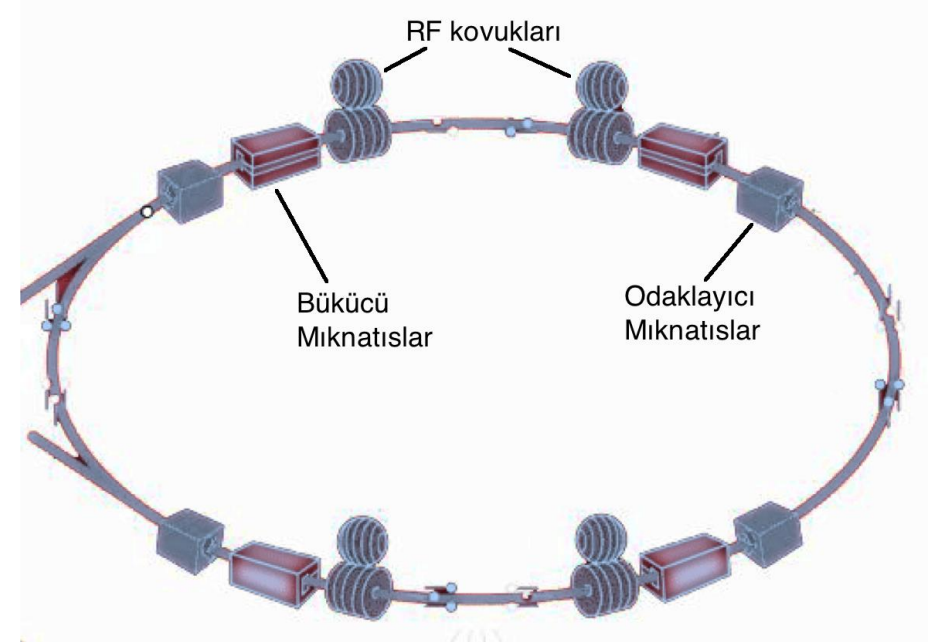
M.S. Livingston and Ernest Lawrence beside the 27-inch cyclotron

Döndürgecin çalışma prensibinin temelinde, manyetik alanda dairesel hareket yapmakta olan yüklü bir parçacığın hızının değişmesine rağmen dönme frekansının sabit kalması vardır. Döndürgeçte bir RF üretici 'D' şeklinde içi boş metal elektrotlara bağlanmıştır.

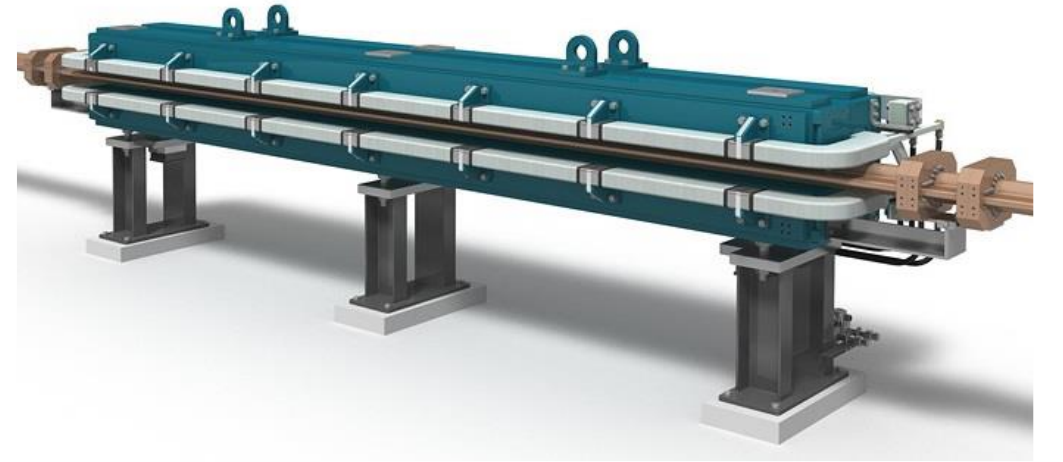
Bu sayede iki elektrot arasında elektrik alan oluşturulur. Oluşan elektrik alan RF üreticinin frekansına eşit bir frekansta salınım yapar. D-plakalar iki kutuplu bir elektromıknatısın içine yerleştirilir ve bu sayede parçacıkların hareket yönüne dik yönde bir manyetik alan elde edilir. Parçacıklar döndürgecin merkezinde bulunan kaynaktan üretilir ve manyetik alan sayesinde dairesel hareket yapmaya başlarlar. Parçacıklar D-plakalar arasından geçerken elektrik alan sayesinde hızlandırılırlar. Sabit hızlı bir parçacık sabit manyetik alanda hareket ederken dairesel bir yörünge izler. Eğer parçacığın hızı arttırılırsa izlediği yörüngenin yarı çapı da artar. Döndürgeçte parçacıkların hızı, parçacıklar D-plakaların arasından her geçtiklerinde arttığından, parçacıklar, dairesel bir yörüngede hareket etmek yerine spiral bir yörünge izlerler.



Düşük hızlarda parçacıkların hızı artsa bile dönme frekansı değişmeyeceğinden parçacıklar ve elektrik alan arasındaki eşzamanlılık korunur. Fakat, parçacıklar ışık hızına yakın hızlara çıktığında hız artıkça dönme frekansı azalır. Bu sebeple yüksek hızlara çıkıldığında, parçacıklar ve elektrik alan arasındaki eşzamanlılığın korunması için, RF üreticinin frekansı da azaltılmalıdır. Eşzamanlayıcı, parçacıkları manyetik alan sayesinde bir dairesel yörüngede hareket ettirme prensibine dayanır. Parçacıklar demet borusu olarak adlandırılan metal bir boru içerisinde hareket ederler. Eşzamanlayıcının (Sinkrotron) üç temel bileşeni vardır.

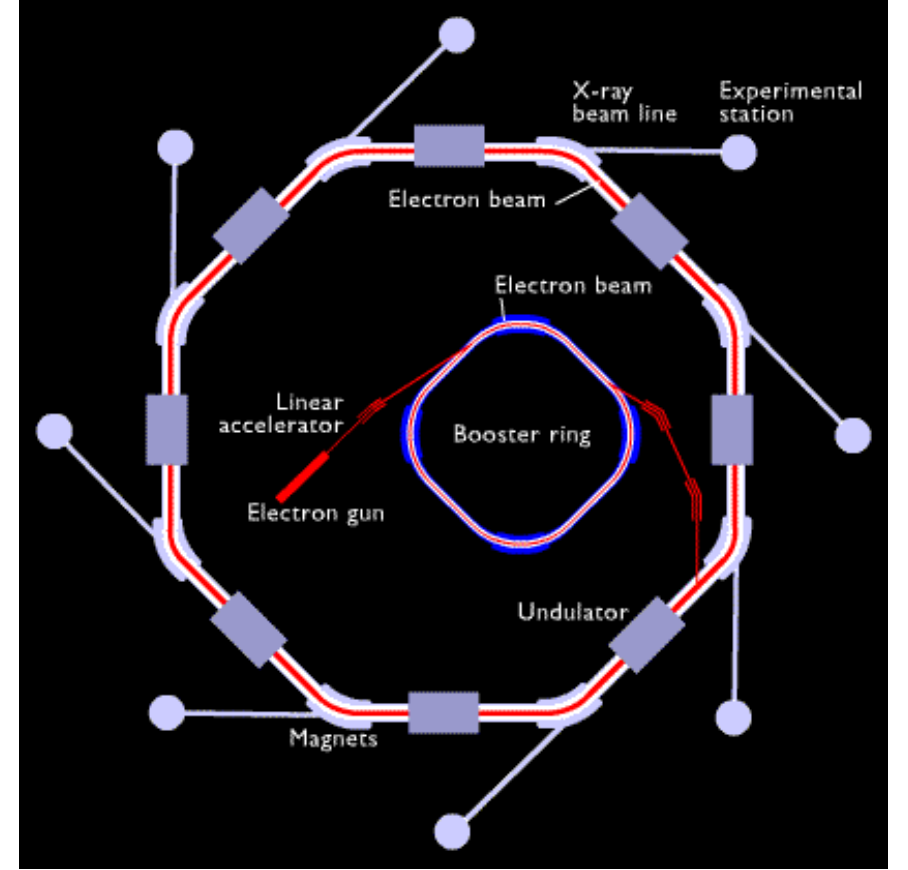


Eşzamanlayıcı (Sinkrotron)

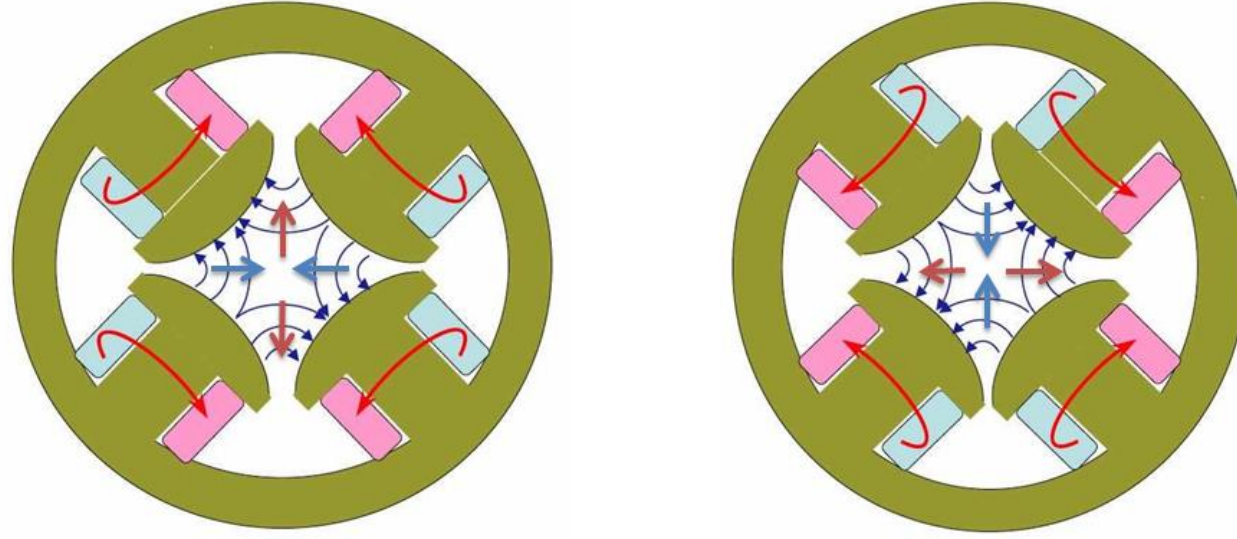


Bükücü mıknatıs ve demet borusu

RF kovukları içerisinde parçacıklar elektrik alan sayesinde hızlandırılırlar. Parçacıklar eşzamanlayıcı etrafında her turda RF kovuğunda tekrar hızlandırılır. Parçacıklar RF kovuğuna ulaştıklarında RF kovuğu içerisindeki elektrik alan parçacıkları hızlandıracak yönde olmalıdır, bu sebeple eşzamanlayıcılarda RF elektrik alanı ve parçacıklar arasındaki eşzamanlılık çok büyük önem taşır. Bükücü mıknatıslar, iki kutuplu mıknatıslar olarak da adlandırılırlar. Bükücü mıknatısların içerisinde parçacıkların hareket yönüne dik yönde bir manyetik alan oluşturularak parçacıkların sapması sağlanır. Bükücü mıknatıslar genelde eşzamanlayıcının çevresine eşit aralıklarla yerleştirilirler. Eşzamanlayıcıda kullanılan bükücü mıknatıs sayısına göre, mıknatısların içerisinde oluşturulan manyetik alanın kuvveti ayarlanır ve parçacıkların eşzamanlayıcı etrafında 360°'lik bir dönüş yapması sağlanır.



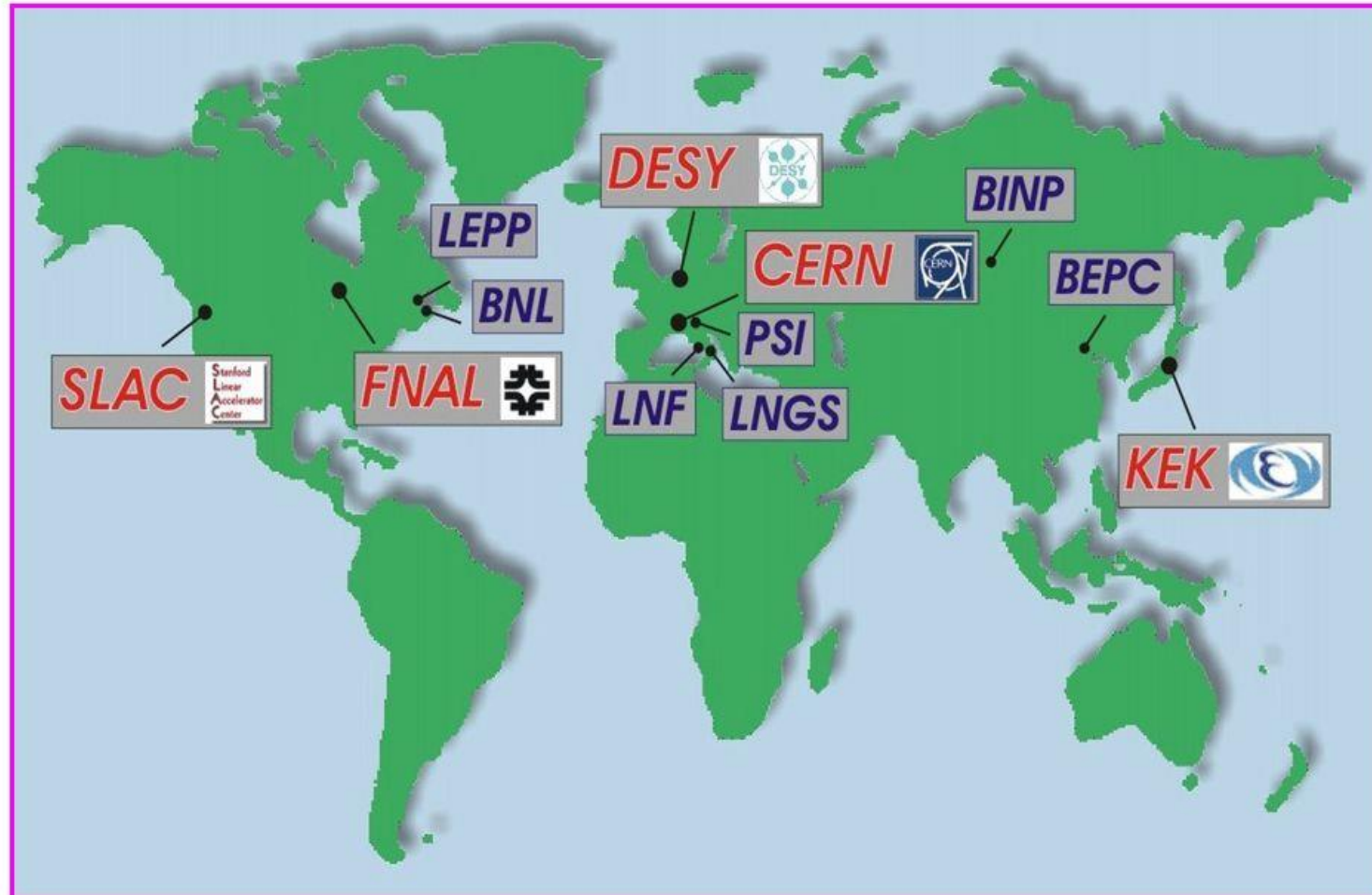
Parçacık hızlandırıcılarında demet, hızlandırma işlemi için paketler haline getirilir. Bu paketler bohça olarak adlandırılırlar. Bir bohça içerisinde aynı yüke sahip birçok parçacık olduğu için parçacıklar birbirlerine iterler ve demet hareket yönüne dik eksenlerde açılmaya başlar. Bu büyüme devam ederse parçacıklar bir süre sonra demet borusuna çarpmaya başlarlar. Parçacıkları demet borusunun merkezinde tutmak ve demetin dikine eksenlerdeki boyutunu kontrol etmek için odaklayıcı mıknatıslar (dört kutuplu mıknatıslar) kullanılır. Dört kutuplu mıknatıslar, ince kenarlı bir merceğin ışığı odakladığı gibi yüklü parçacıkları odaklarlar veya kalın kenarlı bir merceğin ışığı dağıttığı gibi yüklü parçacıkları dağıtırlar.



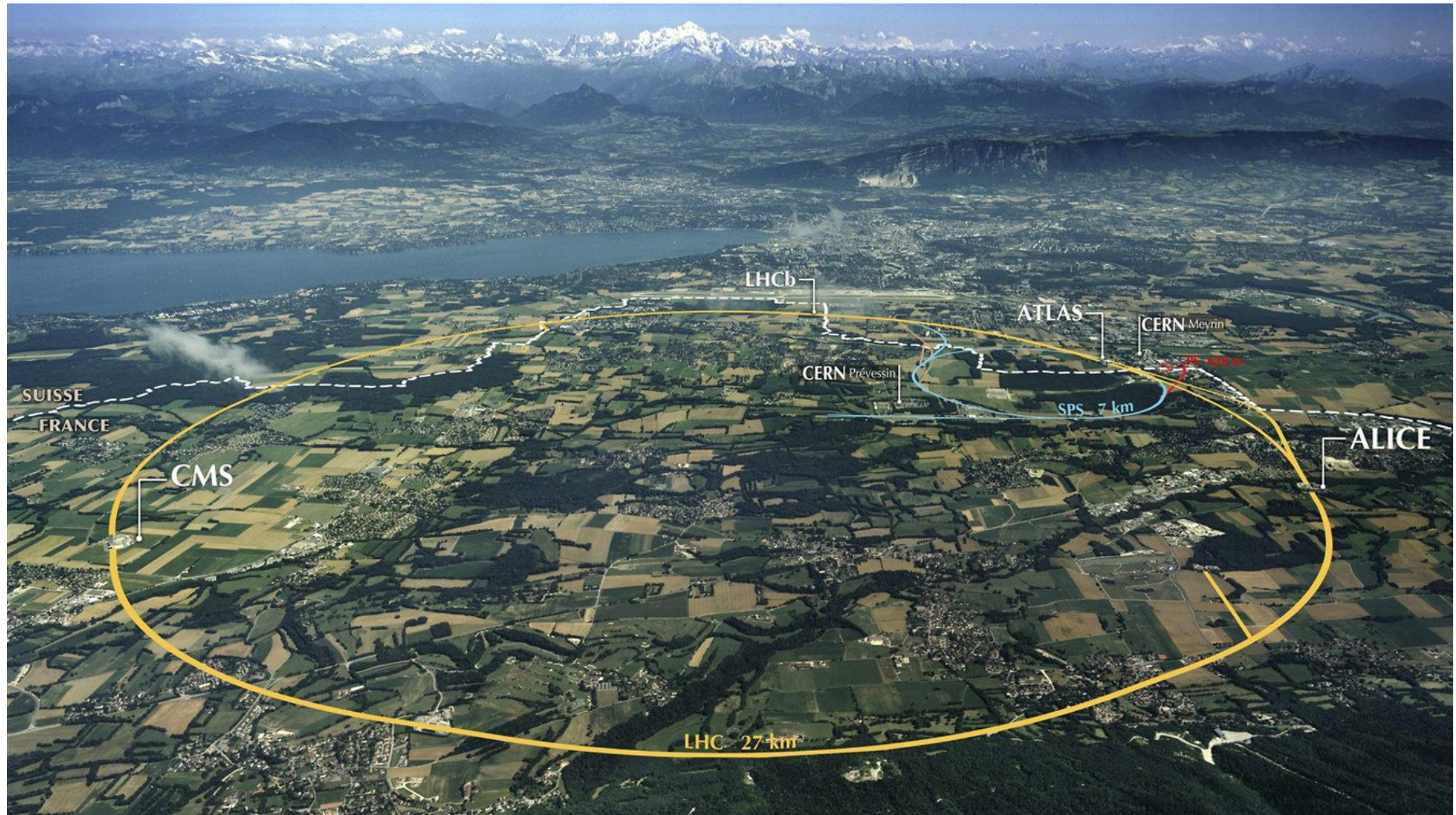
Odaklayıcı mıknatıslar ve parçacıklara uygulanan kuvvetin yönü

Dünya'daki Hızlandırıcı Laboratuvarları

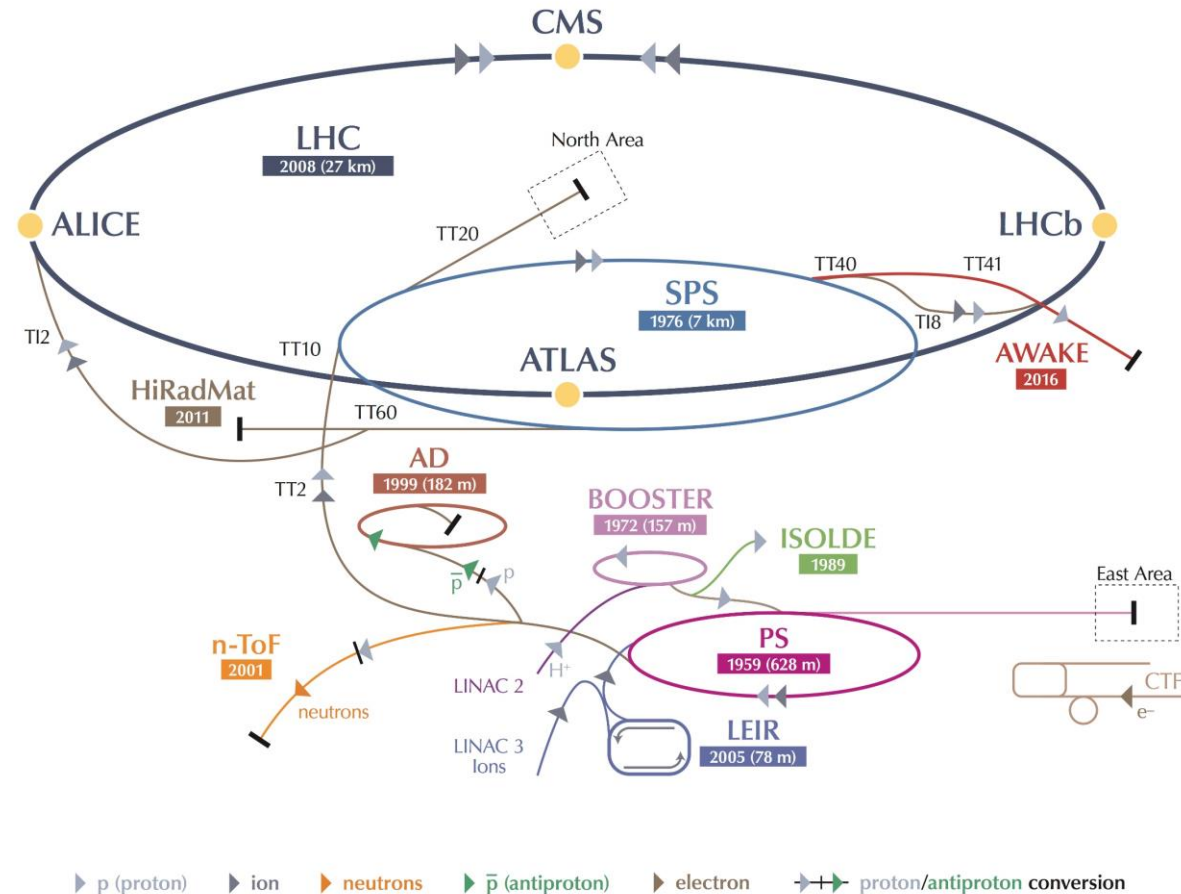
accelerator centers worldwide



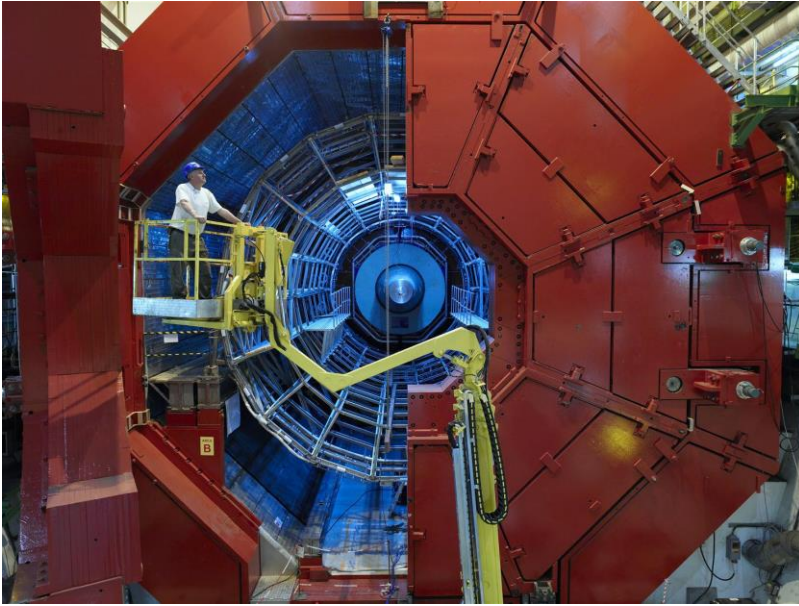
CERN



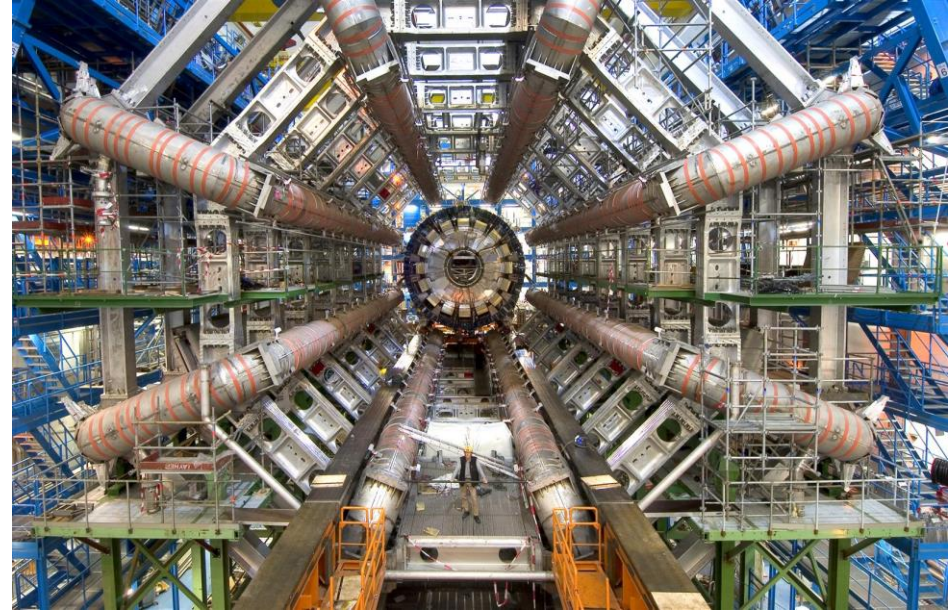
CERN's Accelerator Complex



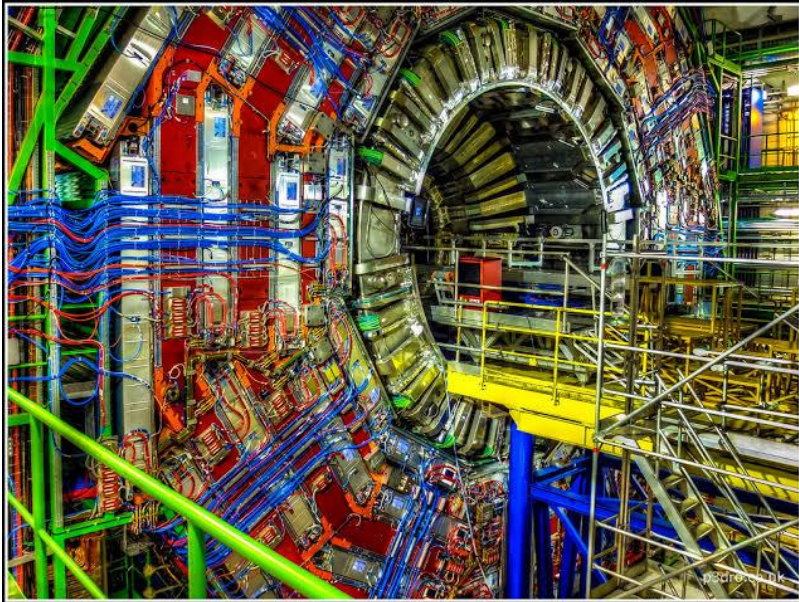
LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron
 AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility AWAKE Advanced WAKEfield Experiment ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice
 LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight HiRadMat High-Radiation to Materials



ALICE Dedektörü



ATLAS Dedektörü



CMS Dedektörü

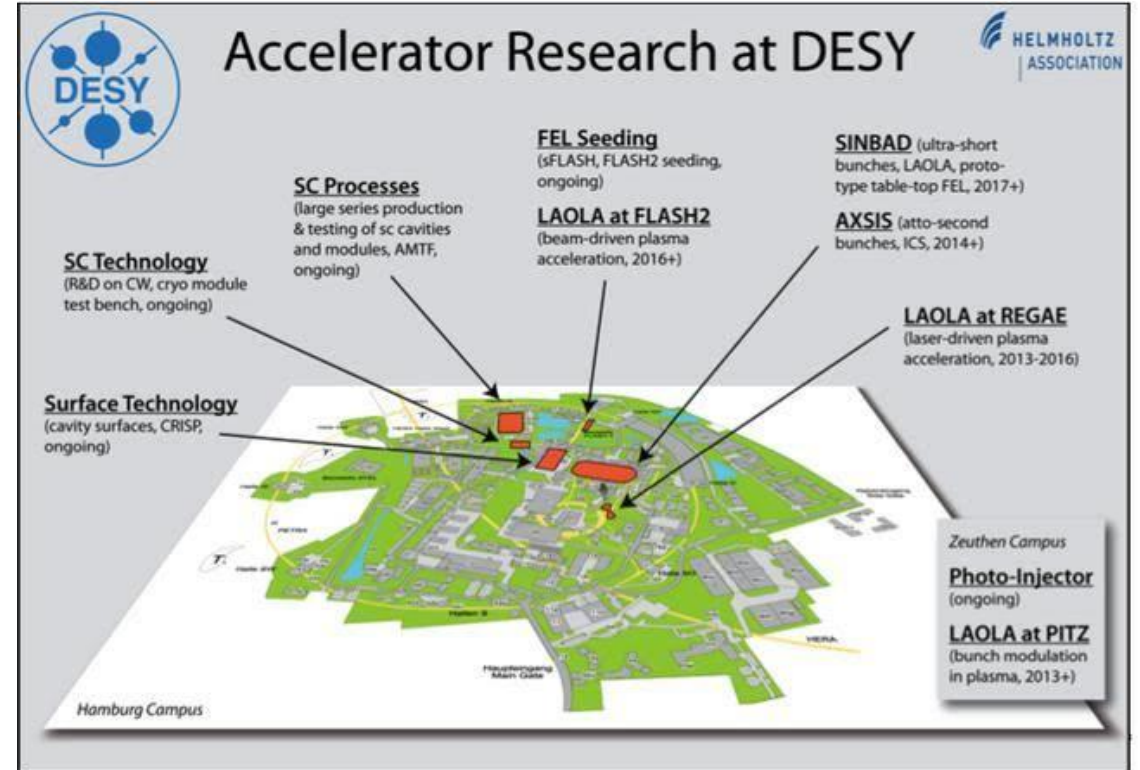


LHCb Dedektörü

SLAC (Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezi)



DESY (Alman Elektron Sinkrotronu)



FNAL (Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuvarı)



Dünya'da Aktif Durumda Çalışan Laboratuvarlar

Konum	ADI	Dalga Boyu	Türü
RIKEN (Japonya)	SACLA FEL	0.63 - 3 Å	Linak
SLAC-SSRL (Amerika)	LCLS FEL	1.2 - 15 Å	Linak
DESY (Almanya)	FLASH FEL	4.1 - 45 nm	Süper iletken linak
ELETTRA Trieste, İtalya	FERMI	4 - 100 nm	Linak
SDL(NSLS) Brookhaven (Amerika)	HGHG FEL	193 nm	Linak
DukeUniv. NC (Amerika)	OK-4	193 - 400 nm	Yükseltici Halka
iFEL (Japonya)	3	230 nm - 1.2 µm	Linak
	2	1 - 6 µm	
	1	5 - 22 µm	
	4	20 - 60 µm	
	5	50 - 100 µm	
Univ.Hawaii (Amerika)	MK-V	1.7 - 9.1 µm	Linak
Vanderbilt TN (Amerika)	MK-III	2.1 - 9.8 µm	Linak
Radboud University (Netherlands)	FLARE	327 - 420 µm	Linak
	FELIX1	3.1 - 35 µm	
	FELIX2	25 - 250 µm	
Stanford CA (Amerika)	SCA-FEL	3-10 µm	Süper iletken linak
	FIREFLY	15-65 µm	
LURE – Orsay (Fransa)	CLIO	3 - 150 µm	Linak
JeffersonLab VA (Amerika)	-	3.2 - 4.8 µm	Süper iletken linak
		363 - 438 nm	
Science Univ. Tokyo (Japonya)	FEL-SUT	5 - 16 µm	Linac
FZ Rossendorf (Almanya)	FELBE	4-22 µm	Süper iletken linak
		18-250 µm	
UCSB CA (Amerika)	FIR-FEL	63 - 340 µm	Elektrostatik
	MM-FEL	340 µm - 2.5 mm	
	30 µ-FEL	30 - 63 µm	
ENEA – Frascati (İtalya)	-	3.6 - 2.1mm	Mikrotron
ETL – Tsukuba (Japonya)	NIJI-IV	228 nm	Yükseltici Halka
IMS – Okazaki (Japonya)	UVSOR	239 nm	Yükseltici Halka
Dortmund, Univ. (Almanya)	Felicità 1	470 nm	Yükseltici Halka
LANL NM (Amerika)	AFEL	4 - 8 µm	Linak
	RAFEL	16 µm	
Darmstadt Univ. (Almanya)	IR-FEL	6.6 - 7.8 µm	Süper iletken linak
IHEP (China)	Beijing FEL	5 - 25 µm	Linak
CEA – Bruyeres (Fransa)	ELSA	18-24 µm	Linak
ISIR – Osaka (Japonya)	-	21-126 µm	Linak
JAERI (Japonya)	-	22 µm	Süper iletken linak İndüksiyon linak
		6 mm	
Univ. Tokyo (Japonya)	UT-FEL	43 µm	Linak
ILE – Osaka (Japonya)	-	47 µm	Linak
LASTI (Japonya)	LEENA	65 - 75 µm	Linak
KAERI (Kore)	-	80 - 170 µm	mikrotron elektrostatik
		10 mm	
Budker Inst. Novosibirsk, Russia	-	110 - 240 µm	Linak
Univ. of Twente (Netherlands)	TEU-FEL	200-500 µm	Linak
FOM (Netherlands)	Fusion FEM	1.5 mm	Electrostatik

Kaynaklar

- "Doğrusal ve Dairesel Hızlandırıcılar", Ömer Yavaş, 2009.
- "Meraklısına Parçacık ve Hızlandırıcı Fiziği", B. Akgün, G. Ünel, S. Erhan, S. Sekmen, U. Köse, V. Yıldız, 2014.
- "Temel Parçacıklara Giriş", David Griffiths, Çev.: G. Önengüt, Nobel, 2015.
- "Doğrusal ve Dairesel Hızlandırıcılar", Hatice Duran Yıldız, 2016.
- CERN, "CERN Document Server", Erişim: 8 Aralık 2019, <https://cds.cern.ch/?ln=en>.
- "The Particle Detector", Angela Vasilescu, R. K. Bock, Springer, 1998.