

Parçacık Hızlandırıcılarının Genel Kullanım Alanları ve Ar-Ge Çalışmaları

Prof. Dr. Ömer YAVAŞ

Ankara Üniversitesi Fizik Müh. Bölümü
yavas@ankara.edu.tr

İÇİNDEKİLER

- Giriş
- Hızlandırıcıların Gelişimi
- Hızlandırıcıların Genel Kullanım Alanları
- Hızlandırıcıların ve Kullanım Alanlarının Dağılımı
- Hızlandırıcıların Parçacık Fiziği Araştırmalarında Kullanımı
- Hızlandırıcıların Medikal Alanda Kullanımı
- Hızlandırıcıların Endüstride Kullanımı
- Hızlandırıcıların Savunma ve Güvenlik Alanında Kullanımı
- Hızlandırıcıların Enerji Alanında Kullanımı
- Hızlandırıcıların Işınım Kaynağı Olarak Kullanımı
- Hızlandırıcıların Nötron Kaynağı Olarak Kullanımı
- Hızlandırıcıların Tarihi ve Kültürel Miras Alanında Kullanımı
- Hızlandırıcıların Geliştirilmesi İçin Ar-Ge Çalışmaları
- Sonuç

GİRİŞ

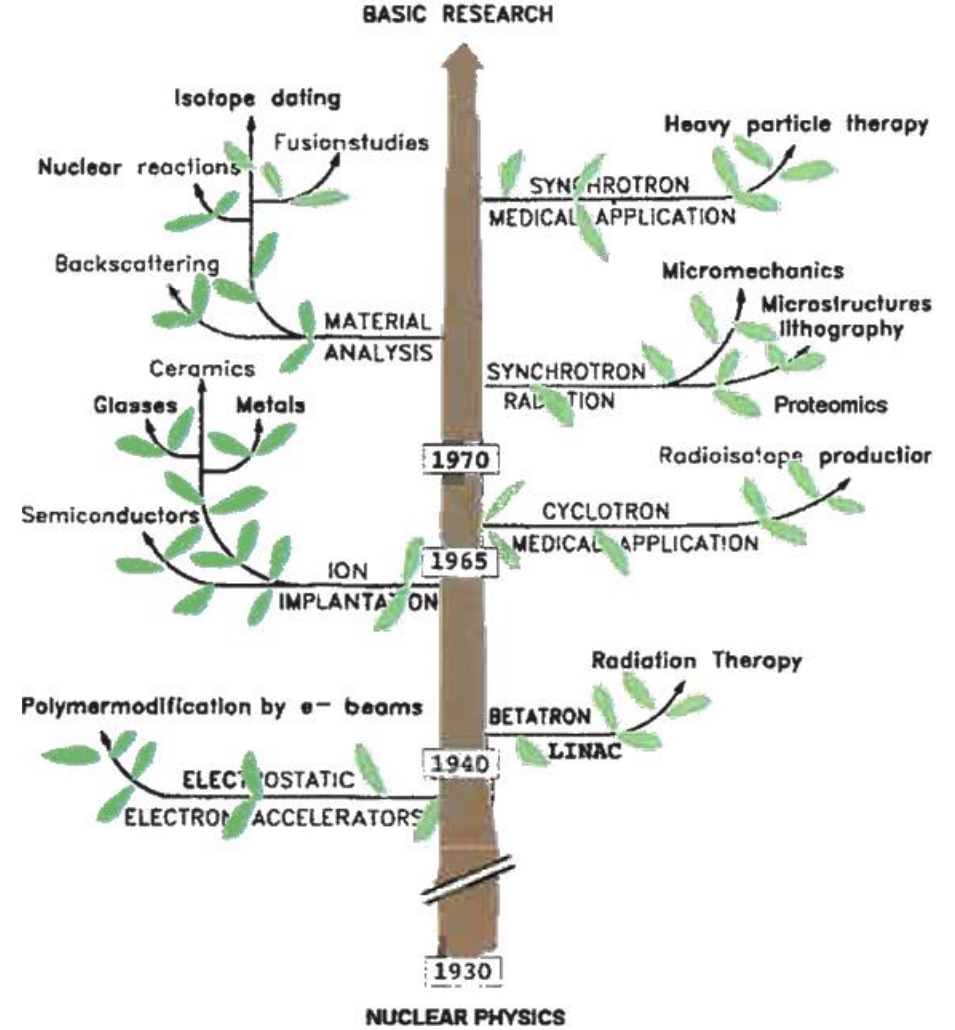
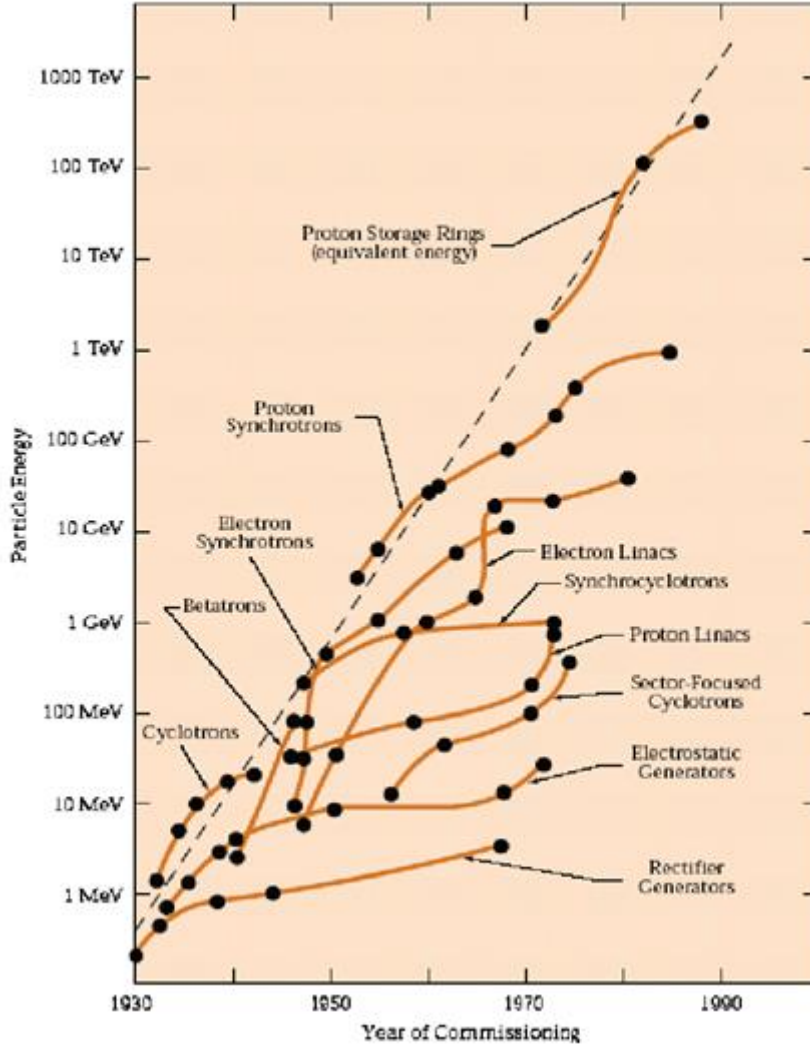
Parçacık hızlandırıcı, dedektör ve ışınım teknolojileri yüzyılımızın öncü teknolojilerindedir.

Hızlandırıcılar ile gerçekleştirilen ileri düzeyli Ar-Ge ve teknoloji geliştirme çalışmaları, diğer öncü teknolojiler olan biyoteknoloji, nanoteknoloji, malzeme, enerji, sağlık, genetik, uzay, savunma, güvenlik, iletişim ve ulaşım teknolojilerin doğrudan ve dolaylı gelişiminde çok önemli bir rol oynamaktadırlar.

Dünyada hızlandırıcı sektörü hızla gelişmektedir. Hızlandırıcı ana ve alt sistemleri alanında üretim yapan global firmaların yıllık ciroları > 10 milyar \$'ı, Hızlandırıcı ürünlerini kullanan üretim ve hizmetlerin mali boyutu ise yıllık > 500 milyar \$'ı aşmış durumdadır.

Bu derste, parçacık hızlandırıcılarının, çarpıştırıcılarının, dedektörlerinin, ışınım ve nötron kaynaklarının bilimsel araştırma, medikal, endüstriyel, savunma ve güvenlik, enerji, malzeme, gıda, kültürel miras vb. alanlarda kullanımlarının yanı sıra hızlandırıcı ve çarpıştırıcıların geliştirilmesi için Ar-Ge çalışmalarının hangi alanlarda yoğunlaştığı ele alınmıştır.

HIZLANDIRICILARININ GELİŞİMİ (LIVINGSTON PLOT)

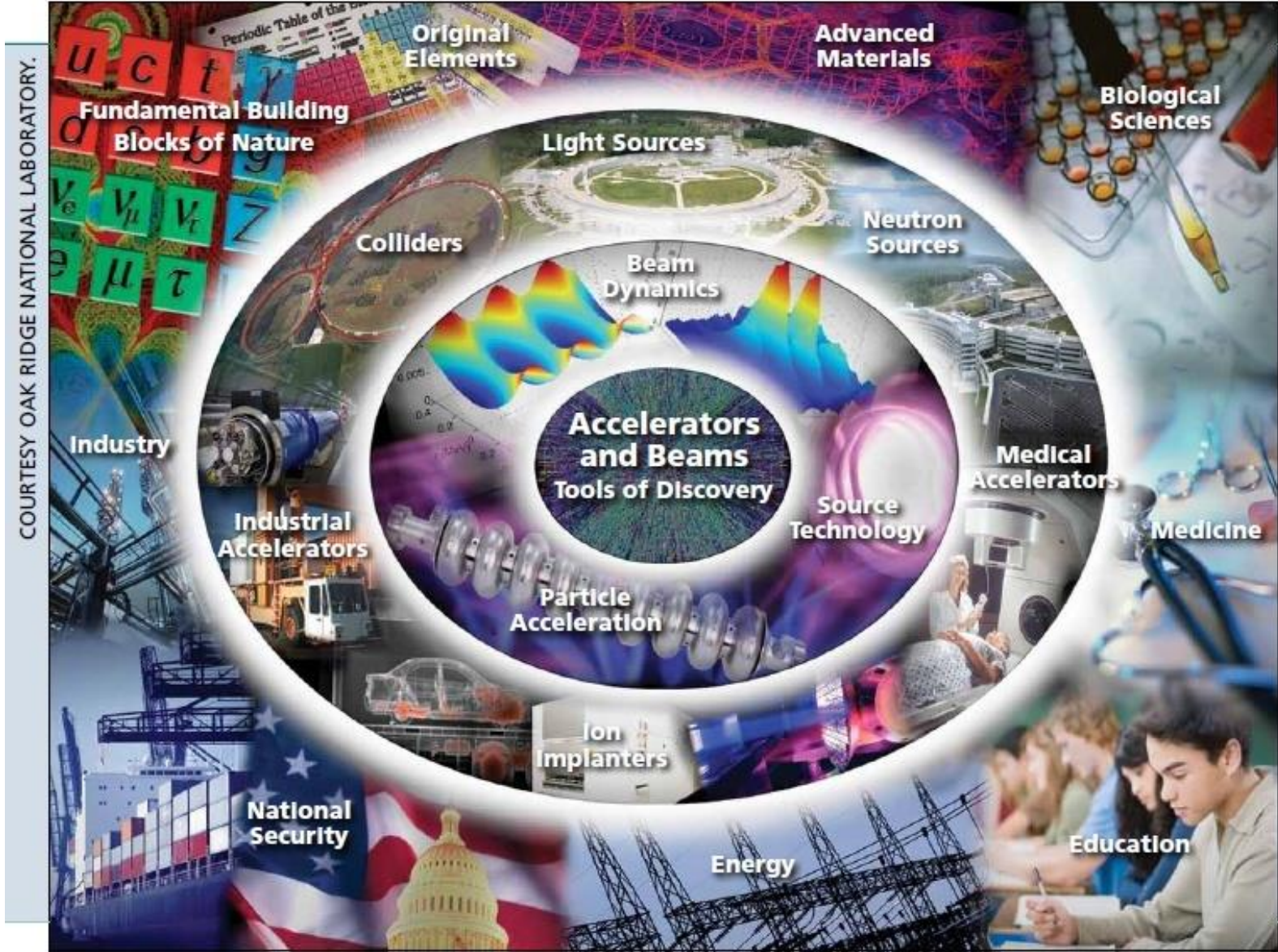


Parçacık hızlandırıcıları genel olarak;

- Parçacık fiziği ve nükleer fizik araştırmalarında,
- Medikal görüntüleme ve tedavide,
- Radyoizotop üretiminde,
- Endüstriyel işlemler ve Ar-Ge çalışmalarında,
- Yüzey ve malzeme modifikasyonunda,
- Işınım ve nötron üretiminde,
- Enerji ve güvenlik sektörlerinde,
- Tarihi ve kültürel mirasın araştırılmasında

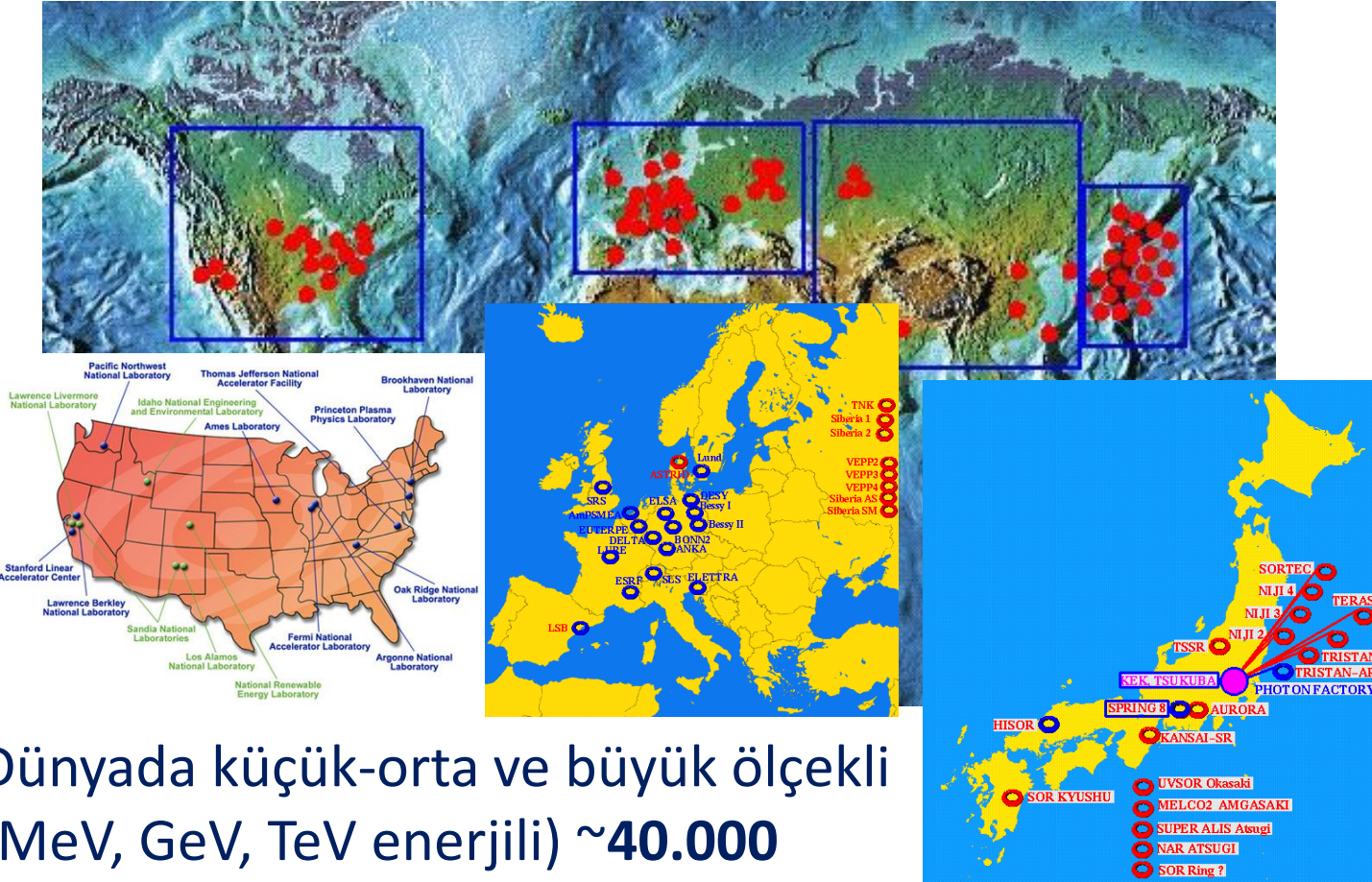
kullanılmaktadırlar.

HIZLANDIRICILARIN GENEL KULLANIM ALANLARI



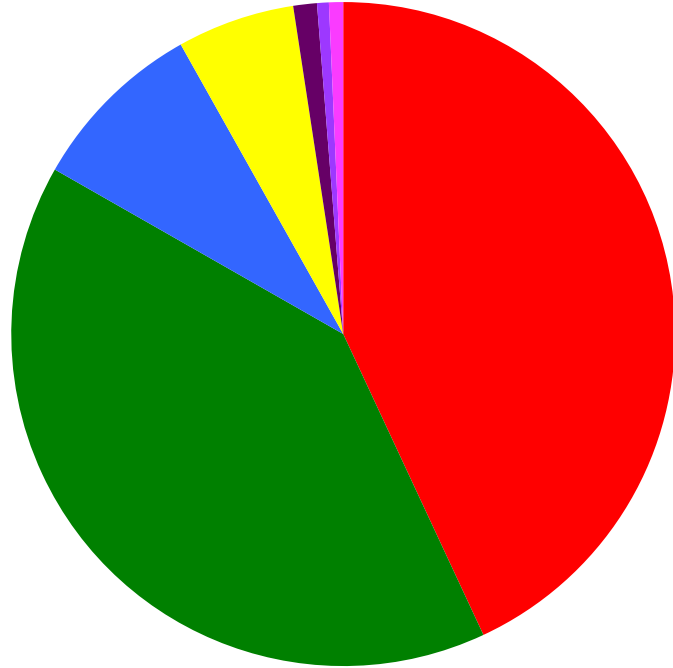
HIZLANDIRICI MERKEZLERİNİN GENEL DAĞILIMI

Büyük Ölçekli Hızlandırıcıların Dünyadaki Dağılımı



Dünyada küçük-orta ve büyük ölçekli (MeV, GeV, TeV enerjili) **~40.000** hızlandırıcı mevcuttur.

HIZLANDIRICILARIN GENEL KULLANIM ALANLARI



- Radiotherapy accelerators
- Ion implanters, surface & bulk modification
- Industrial processing and research
- Low energy accelerators for research
- Medical radioisotope production
- Synchrotron light sources
- High energy accelerators for research (E>1GeV)

S. Sheehy, CAS, Slovakia (2019)

- ❖ *Medikal Amaçlı Kullanım : ~ % 45*
- ❖ *Endüstriyel Amaçlı Kullanım : ~ % 45*
- ❖ *Araştırma, Eğitim, Işınım, İzotop ve Nötron Üretimi : ~ %10*

HIZLANDIRICILARIN GENEL KULLANIM ALANLARI

~40.000 hızlandırıcının kullanım amacına göre dağılımı:

■ **Medikal Hızlandırıcılar:**

~16.000 : Medikal linak

~1900 : İzotop üretim

~100 : Hadron terapi

■ **Endüstriyel Hızlandırıcılar:**

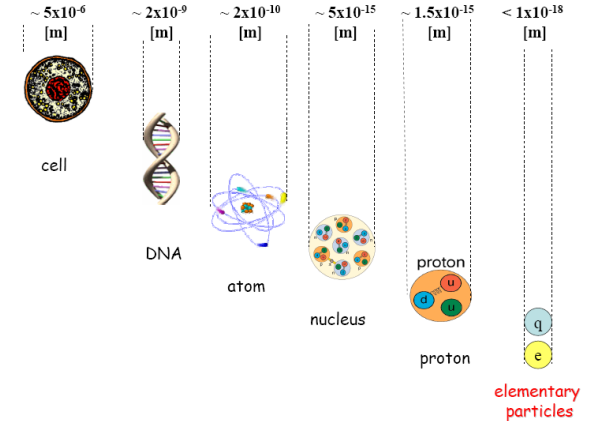
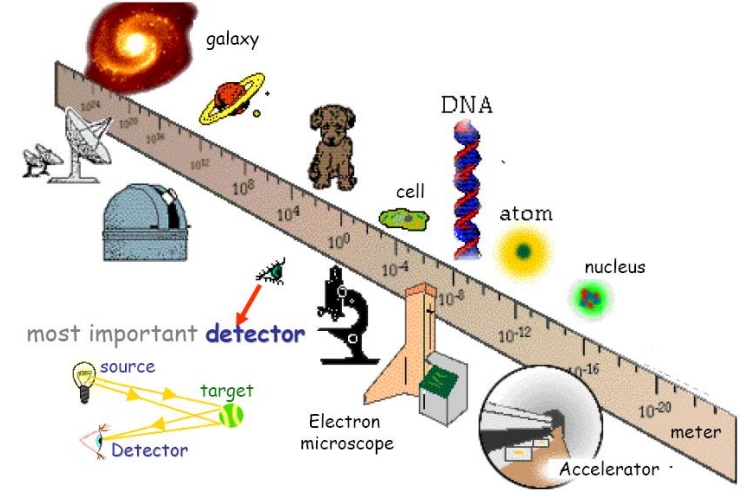
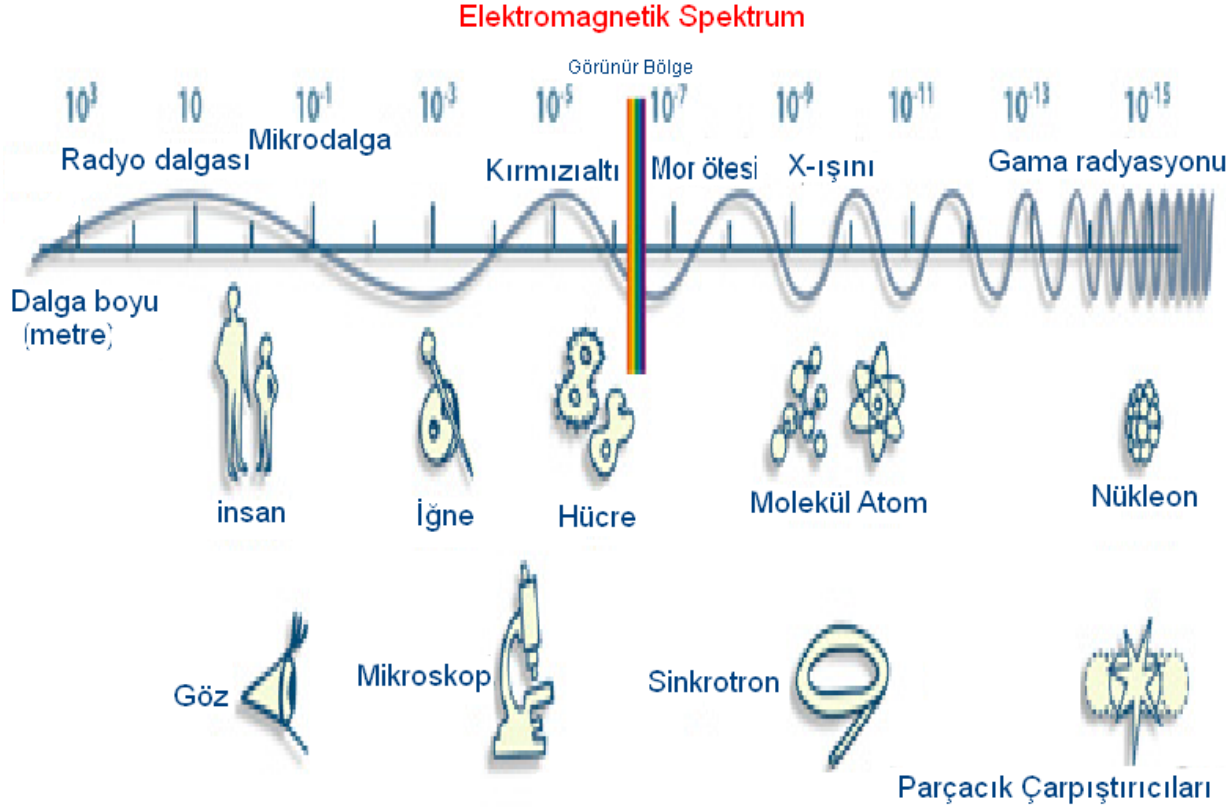
~10.000 : İyon implantasyonu

~6.000 : Malzeme işleme (<10 MeV)

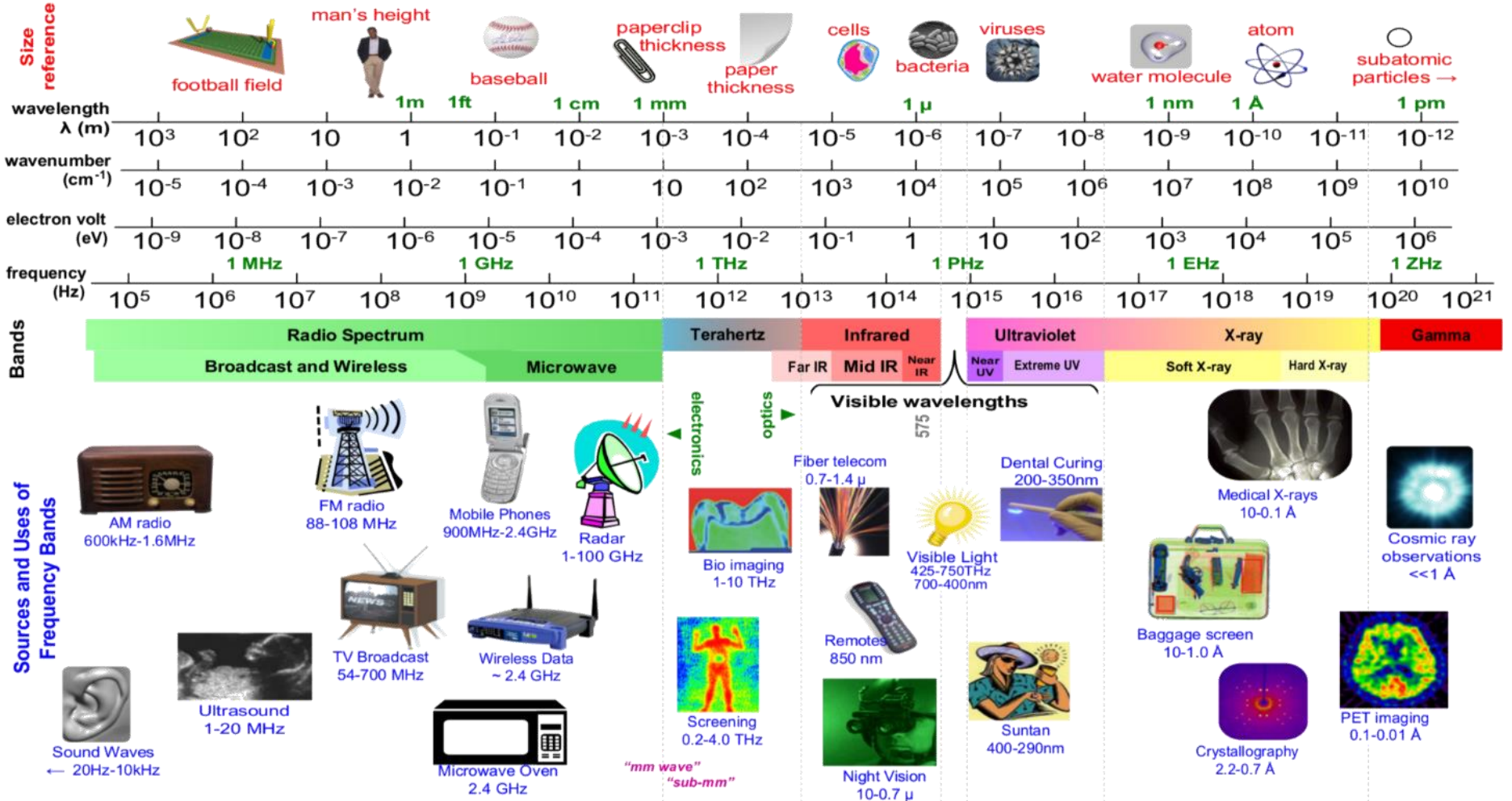
~2.000 : Sterilizasyon (<10 MeV)

■ **Araştırma, Eğitim, Işınım, İzotop ve Nötron Kaynağı: ~4000**

ELEKTROMAGNETİK SPEKTRUM VE HIZLANDIRICILARIN YERİ



E.M. SPEKTRUM, IŞINIMLAR VE HIZLANDIRICILAR



← Hızlandırıcılar ile üretilebilen ışınım bölgesi →

- **Parçacık Fiziği ve Nükleer Fizik Araştırmaları**

Çarpışan demet ve sabit hedef deneyleri sayesinde yeni parçacıkların keşfi, temel etkileşmelerin ve çekirdek yapısının araştırılması, nükleer spektroskopi.

- **Malzeme Bilimi ve Uygulamaları:**

Atomik ve moleküler düzeyde yapı geliştirme, yüzey modifikasyonu, iyon implantasyonu, polimer ve radikal analizi, endüstriyel malzemelerin analizi ve kalite kontrolü.

- **Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler (HSS) ve Nükleer Atık Dönüşümü:**

Toryuma dayalı nükleer güç santrali, yakıt geliştirme, HSS ile uzun yarı ömürlü izotopların daha kısa yarı ömürlülere dönüştürülmesi, HSS'ye dayalı nükleer Ar-Ge çalışmaları.

- **Nükleer Teknoloji:**

İzotop üretimi, proton hızlandırıcıları ve nötron demetleriyle Ar-Ge ve teknoloji geliştirme çalışmaları, tahribatsız muayene uygulamaları.

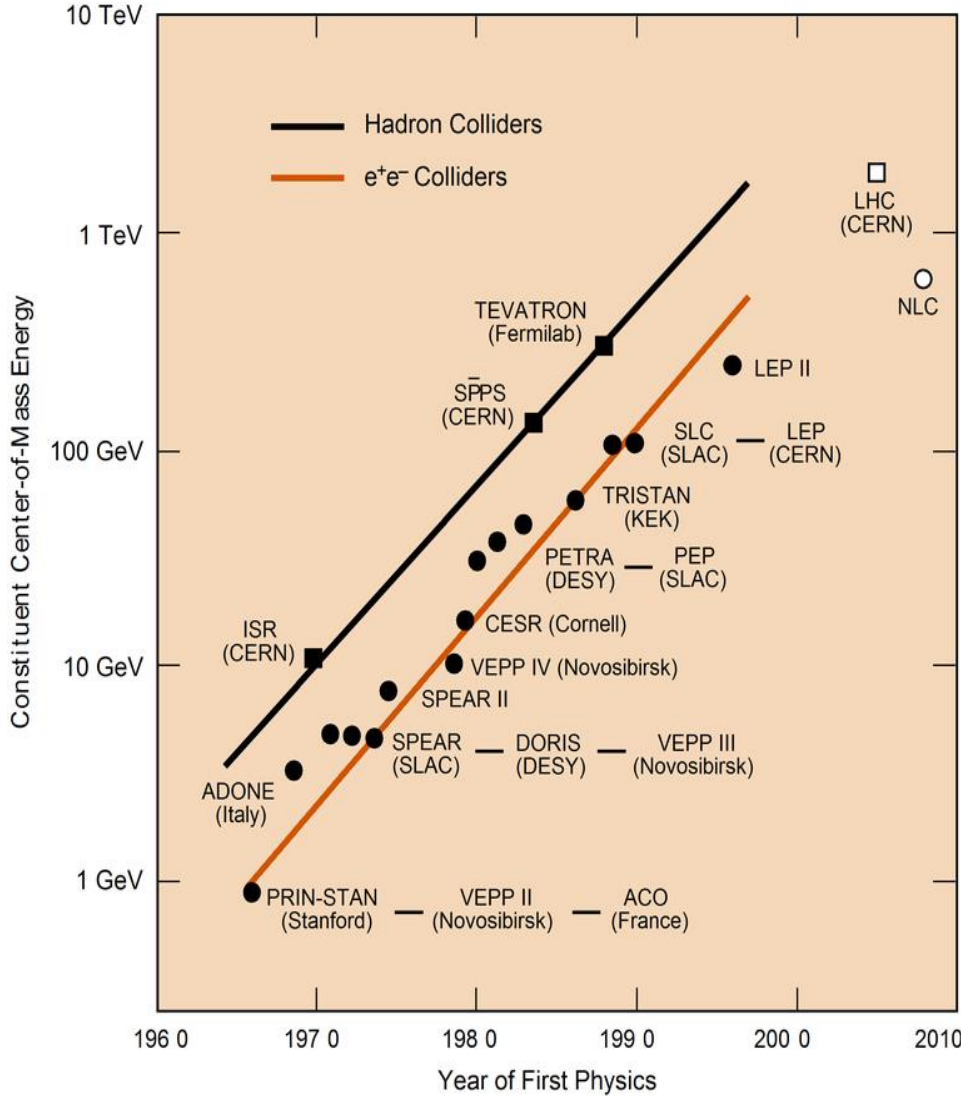
HIZLANDIRICILARIN GENEL KULLANIM ALANLARI

- **Madencilik Sanayi:**
Maden aranması, yatak tespiti, maden işlenmesi ve analizi, mineroloji.
- **Savunma ve Güvenlik Sanayi:**
X-ışınları ve nötronlar ile tarama, sınır güvenliği, radar ve dedektör geliştirme, lazer silahları vb.
- **Uzay Sanayi:**
Radyasyon dayanım testleri, kompozit malzeme ve yakıt geliştirme.
- **Yaşam Bilimleri ve Medikal Uygulamalar:**
İlaç geliştirme, genetik araştırmaları, teşhis ve tedavi (kanser vb.) teknikleri, hadron terapi, ışınlama, radyo-izotop üretimi, sterilizasyon, lazer mikrocerrahisi.
- **Mücevher Sektörü:**
Mücevher işlenmesi, yüzey kalitesi, sertlik ve renk ayarı.
- **Hızlandırıcıya Dayalı Işınım Kaynakları:**
Sinkrotron ışınımı, serbest elektron lazeri ve frenleme ışınımı üretimi.

HIZLANDIRICILARIN GENEL KULLANIM ALANLARI

- **Gıda Sanayi:** Işınlama ile sterilizasyon, uzun raf ömrü sağlama.
- **Bilişim ve İletişim Teknolojileri:** Mikroçip üretimi, yakıt ve malzeme geliştirme, veri toplanması ve veri işlenmesi.
- **Fotonik Araştırma ve Uygulamaları:** Lazer geliştirme, ultra-hızlı fotonik uygulamaları, mikroskopik ve spektroskopik analiz, görüntüleme
- **Biyoteknoloji:** Virus ve bakteri analizi, aşı geliştirme, hücre ve kök hücre araştırmaları, biyo-malzemelerin geliştirilmesi ve analizi.
- **Nanoteknoloji:** Nanoparçacık analizi, nano-malzeme bilimi, nano kaplama teknikleri, nano robot teknolojisi.
- **Arkeoloji:** Harç, kaplama, boya, hammadde analizi, tarihlendirme, spektroskopik ve mikroskopik analiz.
- **Çevre Uygulamaları:** Çevre atıklarının etkisiz hale getirilmesi, baca gazlarının ve atık suların temizlenmesi, mineral ve toprak analizi.

HIZLANDIRICILARIN PARÇACIK FİZİĞİ VE NÜKLEER FİZİK ARAŞTIRMALARINDA KULLANIMI



Parçacık hızlandırıcı ve çarpıştırıcıları ile atom altı temel parçacıkların (lepton, hadron, kuark, bozon vb.) keşifleri yapılabilmekte ve etkileşimleri analiz edilebilmektedir.

Atom çekirdeğinin yapısı ve nükleonların iç yapılarının analizinde yüksek enerjili (~ GeV-TeV) çarpıştırıcıların yanı sıra nükleer spektroskopi deneylerinde orta enerjili (~ MeV) parçacık ve iyon demetleri de kullanılmaktadır.

Higgs bozonu CERN-LHC ATLAS ve CMS dedektörleri ile 2012'de keşfedilmiş ve Bu keşif ile 2013 yılında Nobel Fizik ödülü kazanılmıştır.

HIZLANDIRICILARIN PARÇACIK FİZİĞİ VE NÜKLEER FİZİK ARAŞTIRMALARINDA KULLANIMI

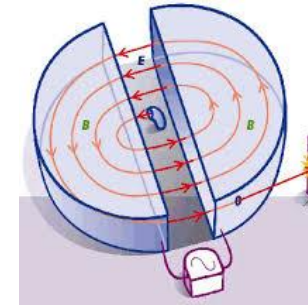
G • T • D		Fizikteki parçacıklar		[gizle]	
Temel	Fermiyonlar	Kuarklar	Yukarı (kuark • antikuark) • Aşağı (kuark • antikuark) • Tılsım (kuark • antikuark) • Garip (kuark • antikuark) • Üst (kuark • antikuark) • Alt (kuark • antikuark)		
		Leptonlar	Nötrinolar	Elektron nötrinosu • Elektron antinötrinosu • Müon nötrinosu • Müon antinötrinosu • Tau nötrinosu • Tau antinötrinosu	
			Diğer	Elektron • Pozitron • Müon • Antimüon • Tau • Antitau	
	Bozonlar	Ayar	Foton • Gluon • W ve Z bozonları		
		Skaler	Higgs bozonu		
	Diğer	Hayaletler			
Hipotetik	Süpererşler	Gauginolar	Gluino • Gravitino • Fotino		
		Diğer	Higgsino • Nötralino • Chargino • Aksino • Sfermion (Stop kuark)		
	Diğer	Planck parçacığı • Aksiyon • Dilaton • İkili graviton • Graviton • Leptokuark • Majoron • Majorana fermiyonu • Manyetik tek kutup • Preon • Steril nötrino • Takyon • W' ve Z' bozonları • X ve Y bozonları • X17 parçacığı			
Bileşik	Hadronlar	Baryonlar / Hiperonlar	Nükleon (Proton • Antiproton • Nötron • Antinötron) • Delta baryonu • Lambda baryonu • Sigma baryonu • Ksi baryonu • Omega baryonu		
		Mezonlar / Kuarkonyumlar	Pion • Ro mezonu • Eta ve eta prime mezonları • Fi mezonu • Omega mezonu • J/psi mezonu • Upsilon mezonu • Kaon • B mezonu • D mezonu		
		Egzotik hadronlar	Tetrakuark • Pentakuark		
	Diğer	Atom çekirdeği • Atomlar • Egzotik atomlar (Pozitronyum • Müonyum • Tauonyum • Onyum) • Süper atomlar • Moleküller			
	Hipotetik	Hipotetik baryonlar	Heksakuark • Skirmiyon		
Hipotetik mezonlar		Gluontopu • Teta mezonu • T mezonu			
Diğer		Mezonik molekül • Pomeron • Dikuarklar			
Sanki parçacıklar	Davidov çözümü • Dropleton • Eksiton • Elektron deliği • Fonon • Holon • Magnon • Orbiton • Plazmaron • Plazmon • Polariton • Polaron • Roton • Spinon • Triyon				
Listeler	Parçacıklar • Sanki parçacıklar • Baryonlar • Mezonlar • Parçacık keşiflerinin zaman çizelgesi				

HIZLANDIRICILARIN MEDİKAL ALANDA KULLANIMI

- ✓ Radyo-izotop üretimi ve PET görüntüleme
(siklotron, sinkrotron)
- ✓ X-ışını radyoterapi
(medikal linak)
- ✓ Hadron (proton, nötron ve iyon) terapi
(siklotron ve sinkrotron)
- ✓ Yaşam bilimleri Ar-Ge çalışmaları (moleküler biyoloji, radyo-biyoloji, genetik, nükleer tıp, izotop, radyasyon, görüntüleme, ilaç, malzeme, vb.)
(linak, siklotron, sinkrotron, ışınım kaynakları (SI & SEL))
- ✓ İlaç geliştirme
(SI, SEL, elektron, proton, nötron)
- ✓ Sterilizasyon
(elektron linak, gama ışınları)



Medikal Linak

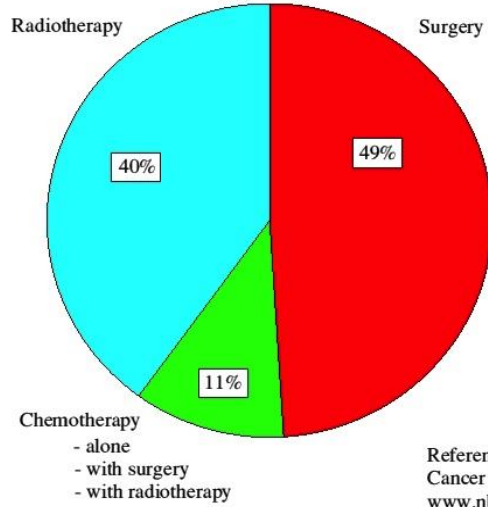


Siklotron



Sinkrotron

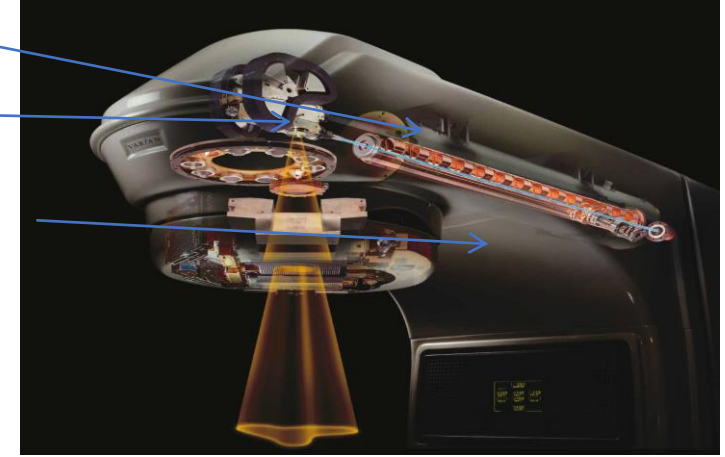
Patients cured by the major cancer treatment modalities



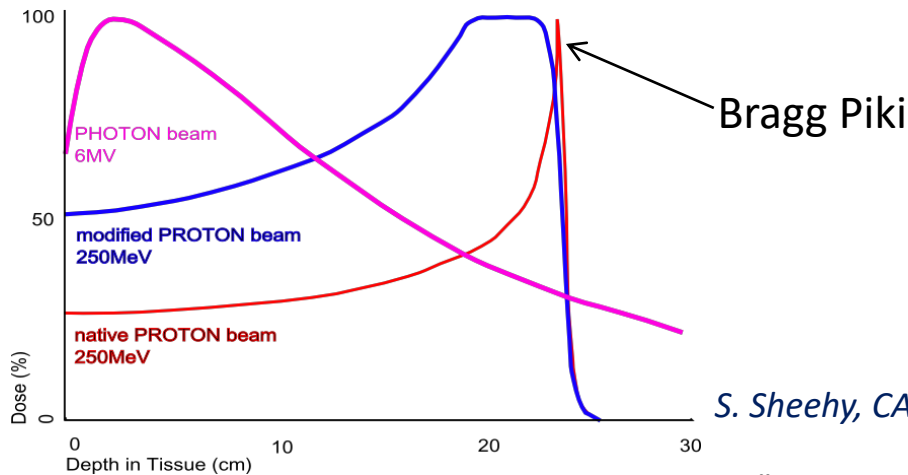
Reference
Cancer Services Collaborative 2002
www.nhs.uk/npat

X-ışını radyoterapi

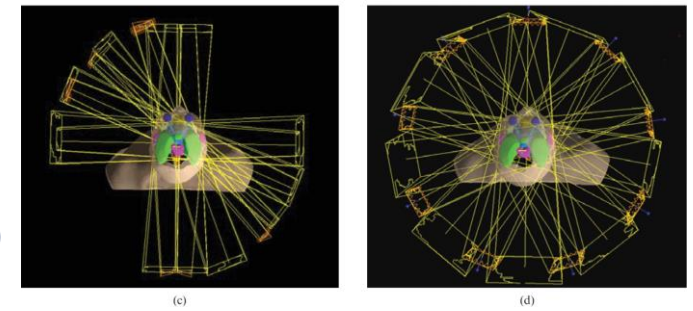
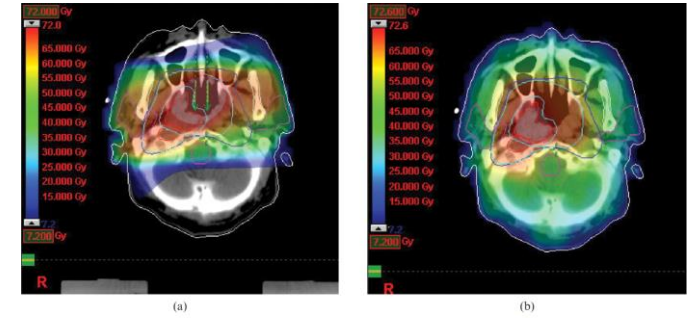
Linak
X-ışını üretimi
Odaklama sistemi



Yüklü Parçacık Terapisi

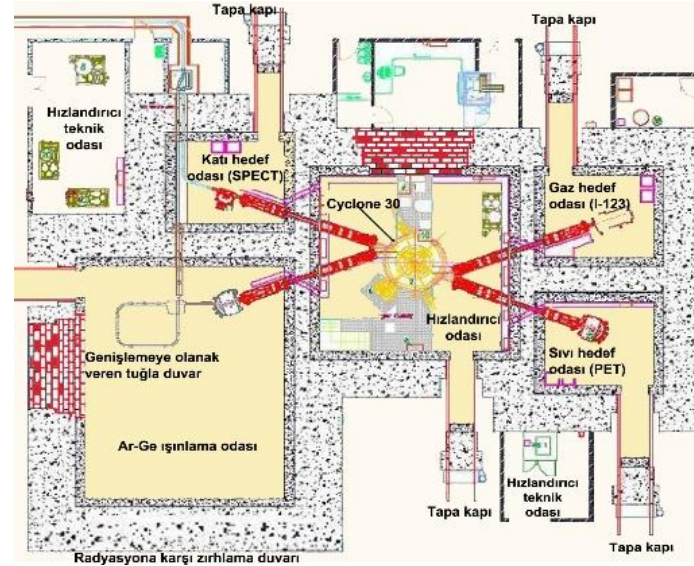


S. Sheehy, CAS, Slovakia (2019)



Radyoizotop üretimi

- Hızlandırıcılar (siklotron veya linak) medikal görüntüleme için kullanılan radyoizotopların üretiminde kullanılırlar.
- Kısa yarı ömürlü izotopların üretimi için 7-11 MeV proton demetleri kullanılır.
- Uzun ömürlü izotoplar için 7-100 MeV p demeti enerjileri gerekebilir.
- Pozitron Emisyon Tomografide (PET) ~110 dk yarı ömürlü ^{18}F kullanılır.



*TENMAK-
Proton
Hızlandırıcı
Tesis (PHT)
Flor-18
İyot-123
İndium-111
Galyum-67
Talyum-201*

HIZLANDIRICILARIN ENDÜSTRİDE KULLANIMI

- İyon implantasyonu
- Elektron demeti ile malzeme işleme
- Elektron demeti ile ışınlama
- Radyoizotop üretimi
- İyon demet analizi
- X-ışını ile kontrol ve muayene
- Nötron üretimi
- Sinkrotron ışınımı ve serbest elektron lazeri üretimi

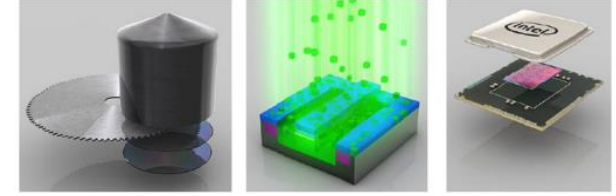


Gıda ışınlama

HIZLANDIRICILARIN ENDÜSTRİDE KULLANIMI

✓ İyon İmplantasyonu

Yüzey ve arayüzeylerin fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi, atomik ve moleküler yapının yeniden düzenlenmesi vb.



✓ Gıda Sterilizasyonu

Gıdaların raf ömürlerinin uzatılması, bakteri üremesinin önlenmesi ve kalite kontrolü

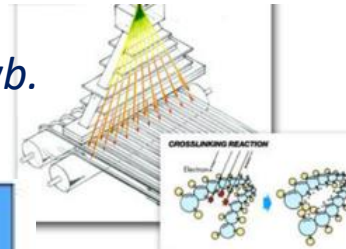
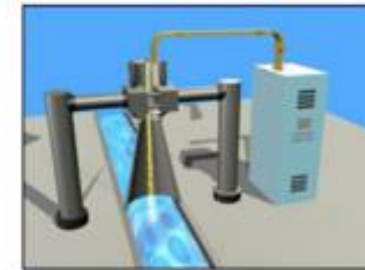


✓ Üretim Sektörü (Metal, Lastik, plastik, mobilya, kablo, film, polimer, tekstil vb.)

Bağların güçlendirilmesi, ısıya ve mekanik zorlanmaya dayanıklılık, kaynak ve kalite kontrolü, çizilmezlik özelliği kazandırma, kargo kontrolü vb.

✓ Diğer Uygulamalar

- Yapay eklemlerde yüzey sertlik ve kalite kontrolü
- Atık su ve gazların temizlenmesi, temiz su saflık ayarı
- Mücevher sektörü (renk ayarı vb.)
- Arkeoloji (yaş, renk, kalite vb. tayini)

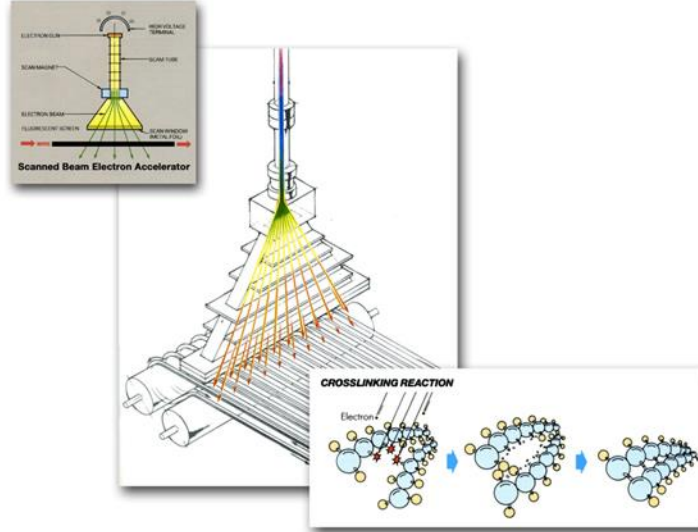


ABD'de endüstriyel hızlandırıcı piyasası : 50 milyar USD

[http://science.energy.gov/~media/hep/pdf/files/pdfs/Accel for Americas Future final report.pdf](http://science.energy.gov/~media/hep/pdf/files/pdfs/Accel%20for%20Americas%20Future%20final%20report.pdf)

Electron beam processing

33% Wire cable tubing
32% Ink curing
17% shrink film
7% service
5% tires
6% other



Equipment sterilisation

Manufacturers of medical disposables have to kill every germ on syringes, bandages, surgical tools and other gear, without altering the material itself.



E-beam sterilisation works best on simple, low density products.



Advantages: takes only a few seconds (gamma irradiation can take hours)

Disadvantages: limited penetration depth, works best on simple, low density products (syringes)

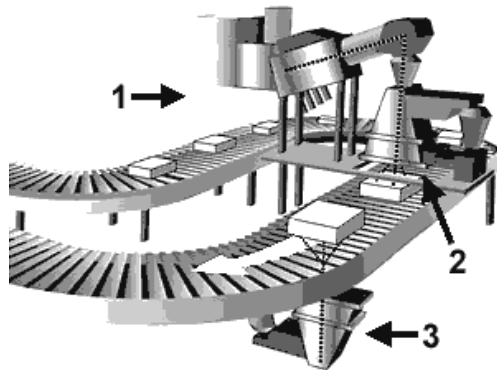
S. Sheehy, CAS, Slovakia (2019)

The IBA rhodotron – a commercial accelerator used for e-beam sterilisation

Food irradiation

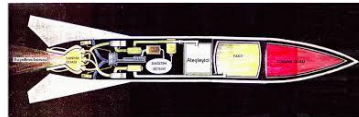
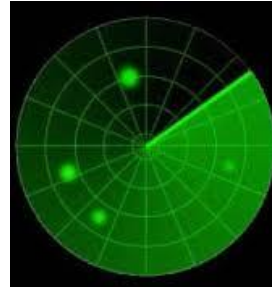
‘Cold pasteurisation’ or ‘electronic pasteurisation’ Uses electrons (from an accelerator) or X-rays produced using an accelerator.

The words ‘irradiated’ or ‘treated with ionising radiation’ must appear on the label packaging.



HIZLANDIRICILARIN SAVUNMA VE GÜVENLİK ALANINDA KULLANIMI

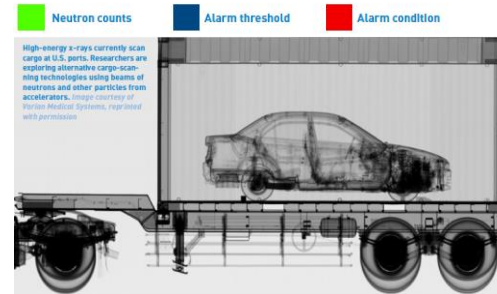
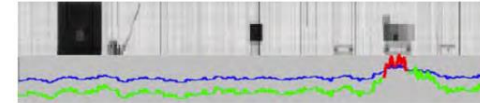
- Malzeme ve yakıt geliştirme ve kalite kontrolü
- Görüntüleme sistemleri
- Dedektör teknolojileri
- Nükleer silah ve savunma sistemleri ve Nükleer Ar-Ge
- Lazer güdümlü sistemler
- RF anten ve radar sistemleri
- Sınır güvenliği (X-ışını ile tarama vb.)
- Savunma gemileri nükleer yakıt ve silah (lazer vb.) sistemleri



[Accelerators for America's Future \(2010\)](http://science.energy.gov/~media/hep/pdf/files/pdfs/Accel%20for%20Americas%20Future%20final%20report.pdf)

[http://science.energy.gov/~media/hep/pdf/files/pdfs/Accel for Americas Future final report.pdf](http://science.energy.gov/~media/hep/pdf/files/pdfs/Accel%20for%20Americas%20Future%20final%20report.pdf)

[Chapter 4: Accelerators for Security and Defense](#)



Hızlandırıcı tabanlı X-ışınları (6 MV) ve nötronlar kargo kontrolünde Co-60'dan daha iyi sonuçlar vermektedir.

Füzyon için malzeme testi

“Döteryum-Tirityum nükleer füzyon reaksiyonları ile $10^{18} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ akı ve 14.1 MeV enerjili nötron demeti üretilerek reaktör kabını duvarları ile test amacıyla etkileştirilir.

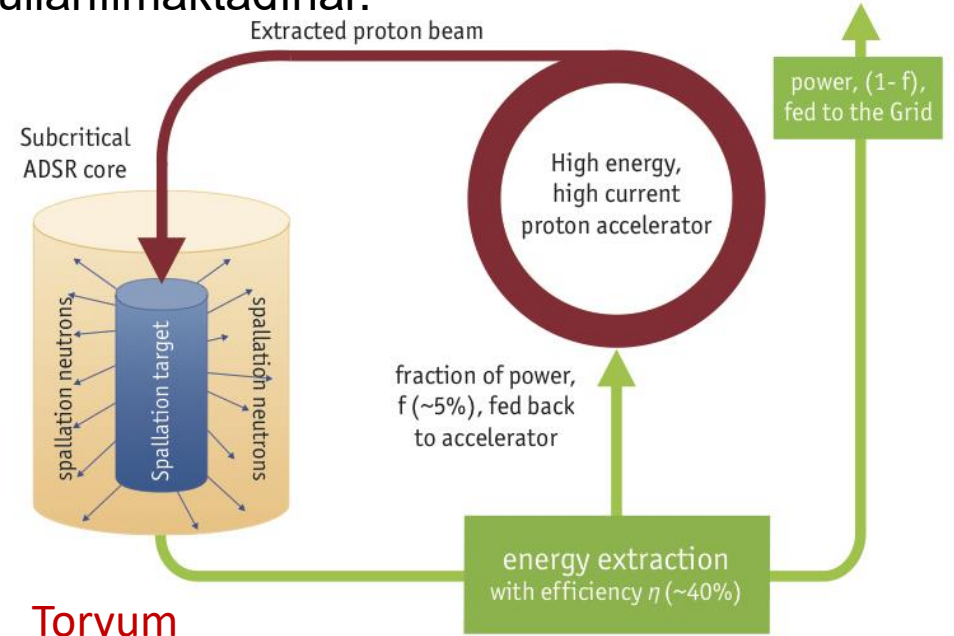
Uluslararası Füzyon Malzeme Işınlama Tesisi (IFMIF)

40 MeV enerjili ve 125 mA akımlı (5MW güçlü) iki döteron demeti bir füzyon reaktöründeki şartlar altında bir Li jeti oluşturmak üzere üst üste gelecek şekilde etkileştirilir.

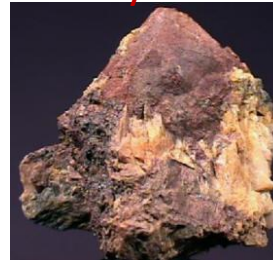
Kaynak: IFMIF.org

Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler (ADS)

ADS sistemi nükleer atık izotoplarının dönüşümü ve enerji üretimi için kullanılmaktadır.



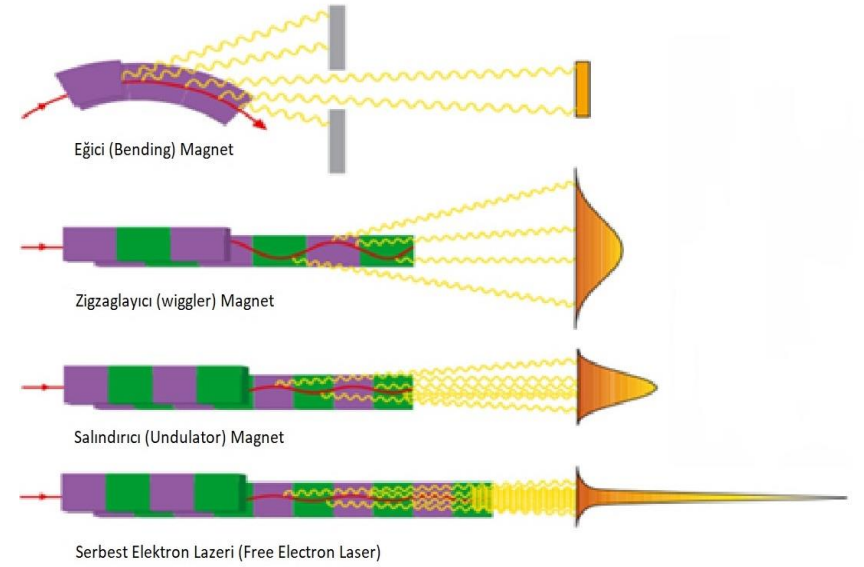
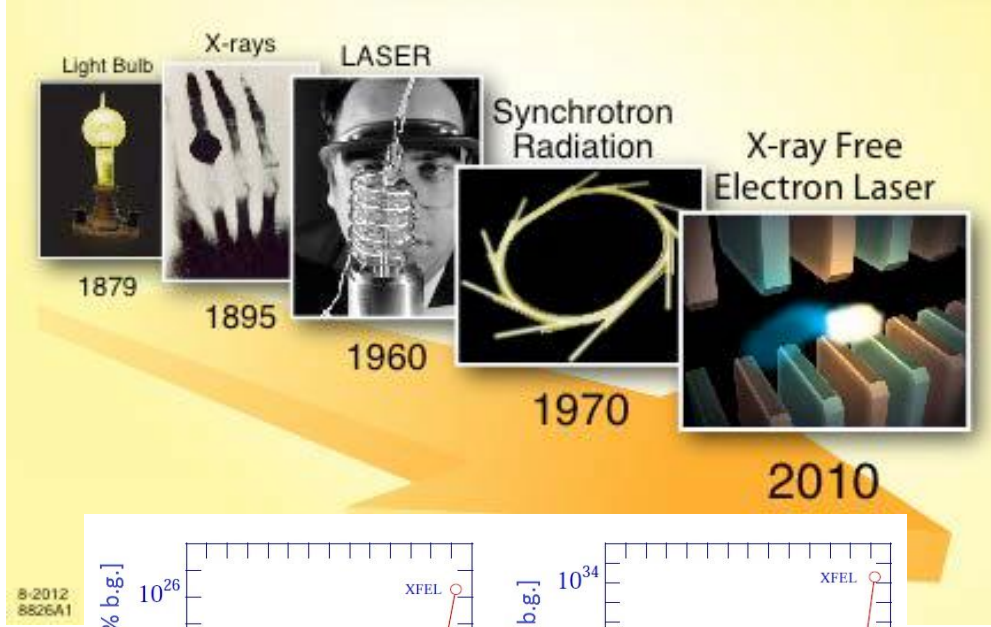
Toryum



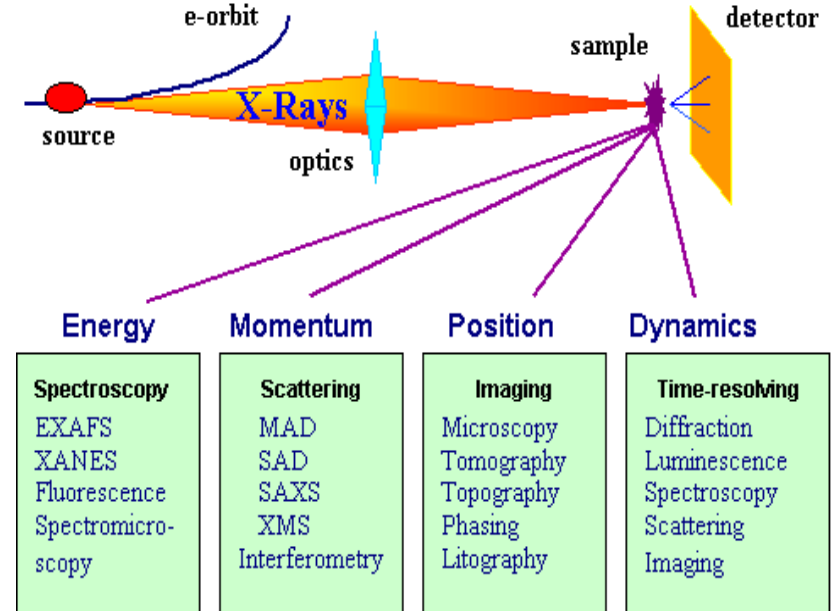
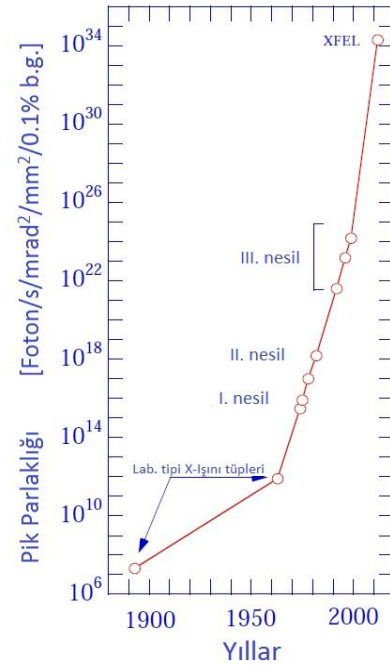
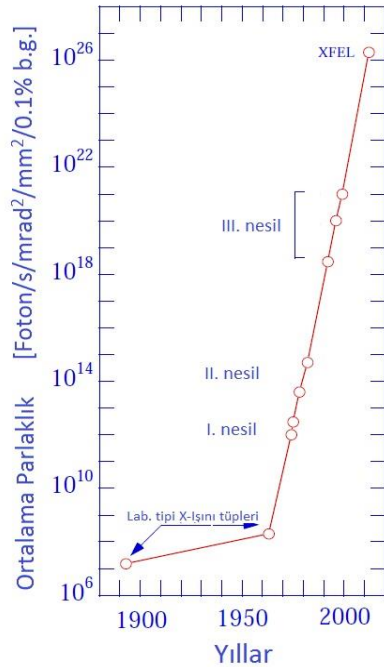
ADS uygulamaları için 10 MW ve üzeri güce sahip demetlerin üretimi mümkün hale gelmiştir.

S. Sheehy, CAS, Slovakia (2019)

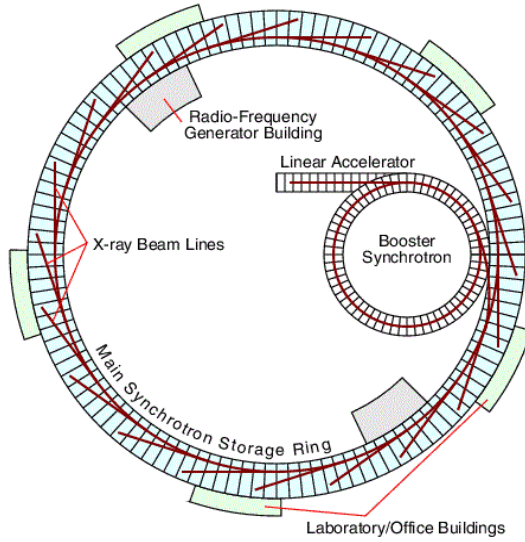
HIZLANDIRICILARIN IŞINIM KAYNAĞI OLARAK KULLANIMI



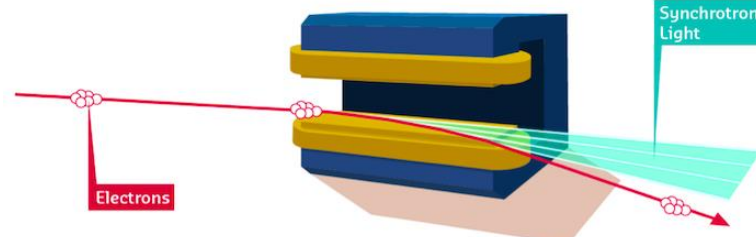
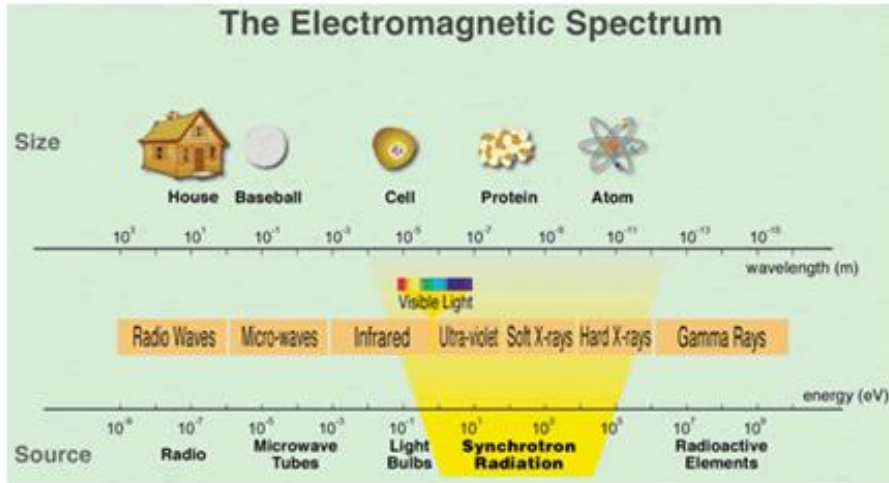
8-2012
8826A1



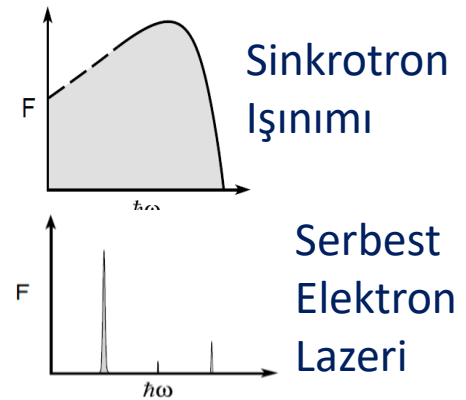
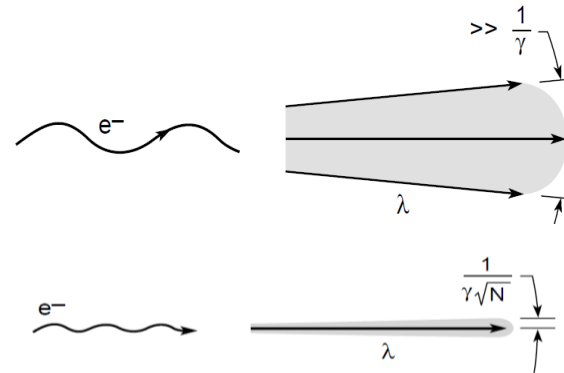
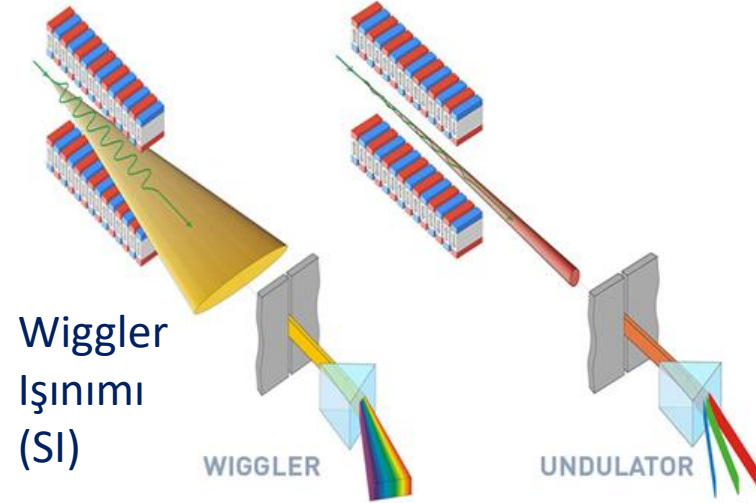
HIZLANDIRICILARIN IŞINIM KAYNAĞI OLARAK KULLANIMI



Sinkrotron Işınımı ile İncelenebilen Bölge



Bending magnet
Işınımı (SI)



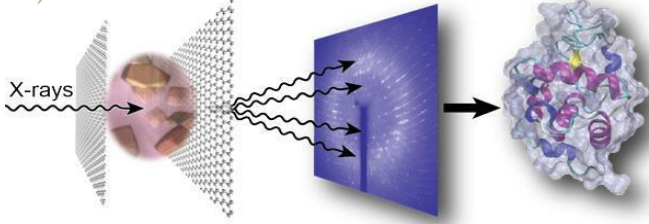
Işınım Kaynaklarının (SI & SEL) Genel Kullanım Alanları

Hızlandırıcıya dayalı ışınım kaynaklarının başlıca özellikleri:

- *Yüksek akı*
- *Yüksek parlaklık*
- *Kohorentlik*
- *Monokromatiklik*
- *Kutuplanabilirlik*
- *Dalgaboyu ayarlanabilirlik*
- *Atmalı yapı*
- *Kararlılık*

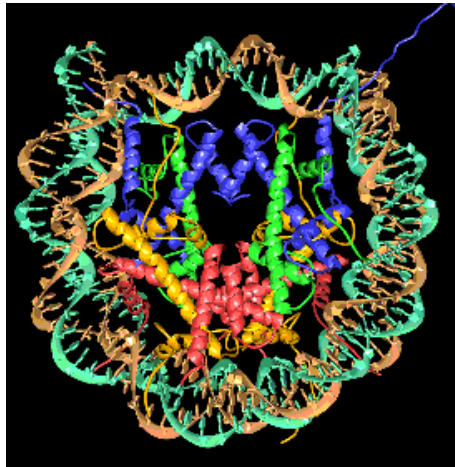
Dalgaboyu Å	Foton Enerjisi (eV)	Biyoloji/ Tıp	Kimya	Fizik	Teknoloji
1000	0.1 Kızılötesi	Biyokimya Biyofizik	Katalizli reaksiyonlar	Katıların elektron yapısı	<u>Spektroskopide yeni metodlar</u>
100	1 Görülebilir	VUV ve X ışını mikroskopisi	Foto-kimya Elektron spektroskopisi ile kimyasal analiz	Yüzeylerin ve aravüzeylerin özellikleri	Yüksek performanslı optik
10	10 Morötesi	Radyografi	İşılama tahribatının incelenmesi	Atomik ve moleküler fizik	<u>Kalibrasyon ve radyasyon standartları</u>
1	100 Vakum Morötesi	Akışkan Yüzeylerde Kompleks biyomoleküllerin yapısının belirlenmesi	Polimerlerin yapısının belirlenmesi	Foto-elektron spektroskopisi	Zigzaglayıcı ve salındırıcı ışınması araştırması
0.1	1000 Yumuşak X ışını	X-ışını Aniyografisi ve tomografisi	İz elementlerin analizi	X-ışını optiği	X-ışını litografisi
	10000 Sert X ışını			X-ışını floresansı	Malzeme araştırması
				Tomografi	
				İnelastik X-ışını saçılması	
				Compton saçılması	

HIZLANDIRICILARIN IŞINIM KAYNAĞI OLARAK KULLANIMI



Hızlandırıcılara Dayalı **Sinkrotron Işınımı** ve **Serbest Elektron Lazerlerinin (0.1-100000 Å, 0.1-50.000 eV)**
Ar-Ge ve Teknoloji Amaçlı Kullanım Yöntemleri

Reconstruction of the 3D structure of a nucleosome (DNA packaging) with a resolution of 0.2 nm



✓ Kimyasal Analiz

- Radyografi
- VUV ve X Işını mikroskopisi
- Katalizli reaksiyonlar
- Fotok-kimya elektron spektroskopisi
- Işıma tahribatı incelemesi
- Polimerlerin yapı analizi
- İz elementlerinin belirlenmesi

✓ Fiziksel Analiz

- Katıların elektron yapısı
- Yüze ve arayüzey analizi
- Atomik ve moleküler fizik
- Foto-elektron spektroskopisi
- X-ışını optiği
- X-ışını floresansı
- Tomografi
- İnelastik X-ışını saçılması
- Compton saçılması

✓ Teknoloji Geliştirme

- Spektroskopide yeni yöntemler
- Yüksek performanslı optik
- Kalibrasyon ve radyasyon standartları
- Salındırıcı ve zigzaglayıcı ışınması araştırması
- X-ışını litografisi
- Malzeme araştırmaları

HIZLANDIRICILARIN NÖTRON KAYNAĞI OLARAK KULLANIMI

Nötronlar, proton demetlerinin hedef çekirdeklerden saçılması yoluyla üretilebilirler

Uygulama Alanı	İnceleme Konusu	Amaç	
	Malzeme Bilimi	Malzeme hazırlama, Kompozit malzemeler, Alaşımlar	Kusur tespiti, Saflık analizi
	İnşaat Mühendisliği	Taş, Beton, Ağaç, Seramik ve Kil	Yapı, Nem oranı ve Katkı Maddesi Etkinliği Analizi
	Biyoloji	Bitkiler, Fosil Numuneler	Kimyasal Madde Etkisi, Hidrojen Oranı Analizi, Köken Analizi, Yapı Analizi
	Savunma Sanayi	Yakıcı ve Patlayıcı Mühimmat	Güvenirlilik, İrtibat, Patlayıcı Malzeme Analizi
	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Anahtarlar, Yalıtkanlar Bataryalar	Kusur Analizi, Elektrokimyasal Analizler
	Uzay ve Havacılık Sanayi	Yapısal Malzemeler Gösterge Cihazları	Kalite Kontrol, Paslanma ve Kaynak Kusur Analizi
	Petrol ve Gaz Endüstrisi	Sondaj	Gözenek Hacim Dağılım Analizi
	Enerji Depolama	Bataryalar Yakıt Hücreleri	Elektrolit Dağılım Analizi Gaz ve Sıvı Akışı

	Otomobil Endüstrisi	Motorlar, Döküm Kompozit Malzemeler	Kaynak ve Yağlanma Dağılımı, Malzeme Kusurları
	Tıp	Bor Katkılı Maddeler İnce Dokular	Bor Miktar Analizi
	Nükleer Endüstri	Yakıt Elemanları Kaplama Malzemeleri Kontrol Cihazları	Kusur Tespiti, Yakıt Yanma Ölçümü, Kalite Kontrol
	Arkeoloji	Demir ve Bronz Örnekleri Boyalar	Yapı ve Üretim Tekniği Analizi
	Diş Hekimliği	Doğal ve Yapay Dişler	Kalite Kontrol Yapıştırıcı Dağılım Analizi
	Türbin Motorları	Pervaneler	Malzeme Kusurları, Soğutma Kanalı Testi

HIZLANDIRICILARIN NÖTRON KAYNAĞI OLARAK KULLANIMI

Nötronların
Kullanım
Alanları

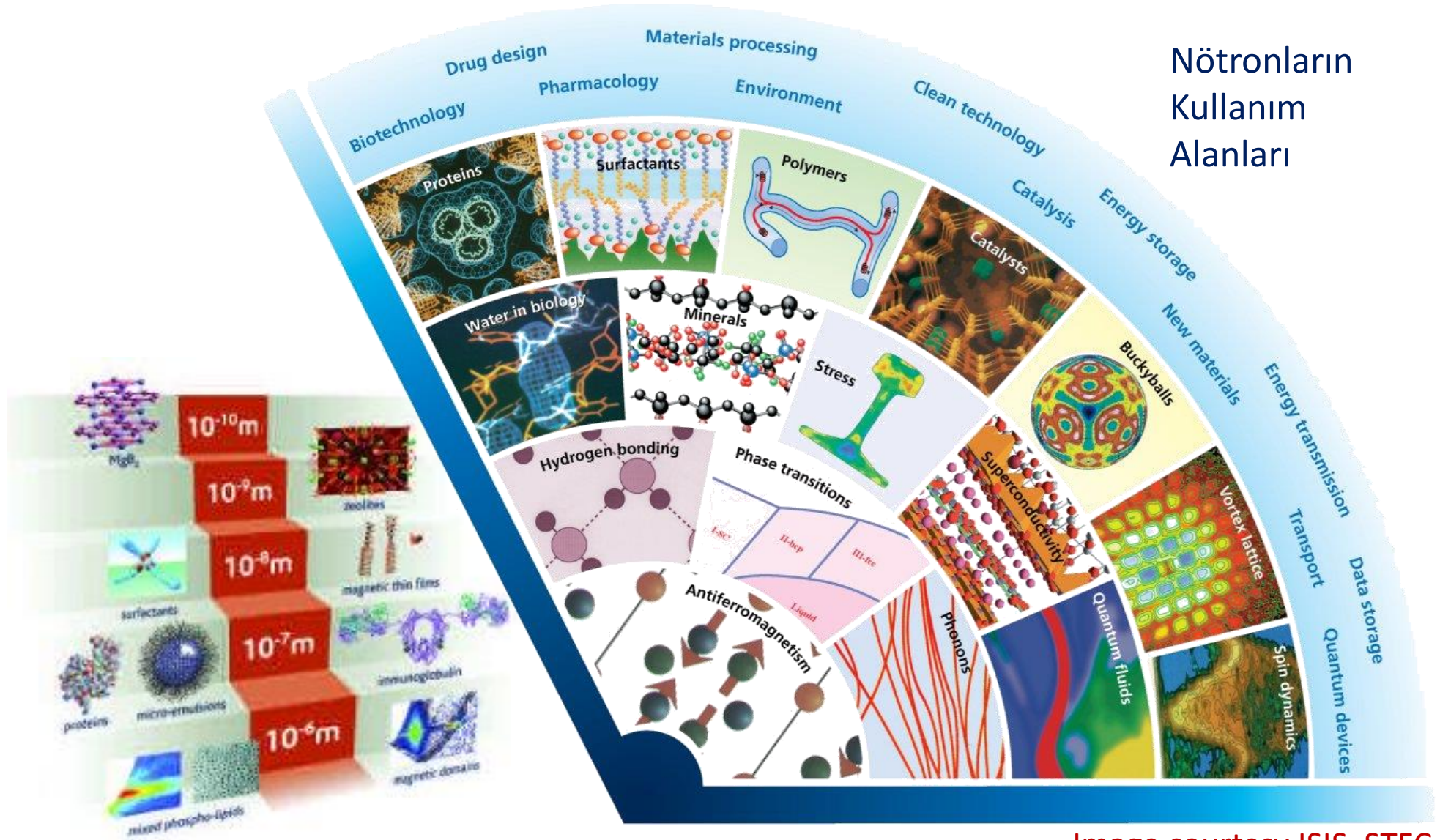
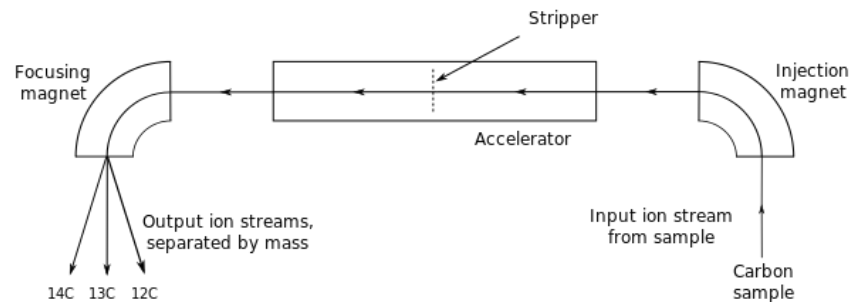


Image courtesy ISIS, STFC.

Radyo-karbon tarihlendirme

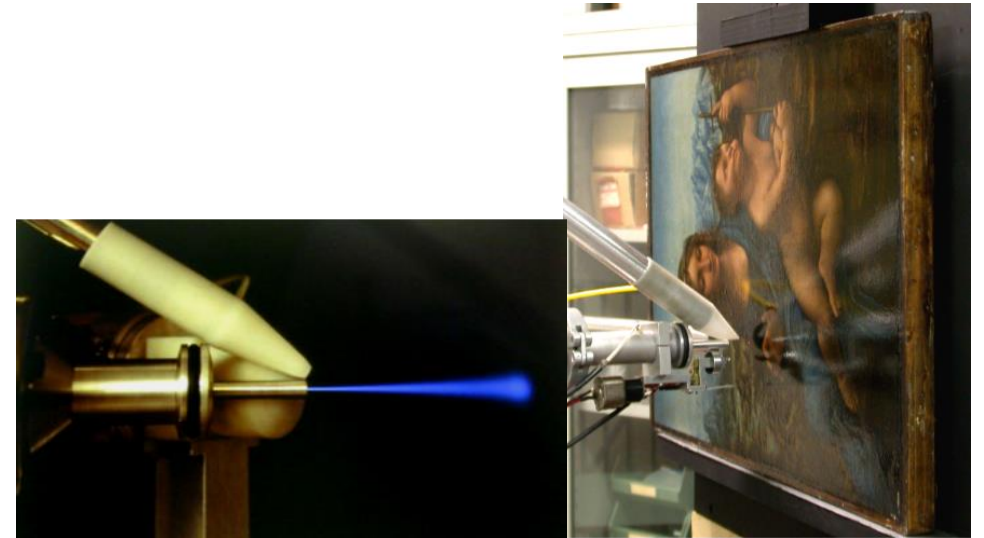
Radiocarbon dating is a method that provides **objective age estimates for carbon-based materials that originated from living organisms**. An age could be estimated by measuring the amount of carbon-14 present in the sample and comparing this against an internationally used reference standard.

Atomic Mass Spectroscopy (AMS) counts the atoms of ^{14}C and ^{12}C in a given sample, determining the $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio directly. The sample, often in the form of graphite, is made to emit C^- ions (carbon atoms with a single negative charge), which are injected into an **accelerator**

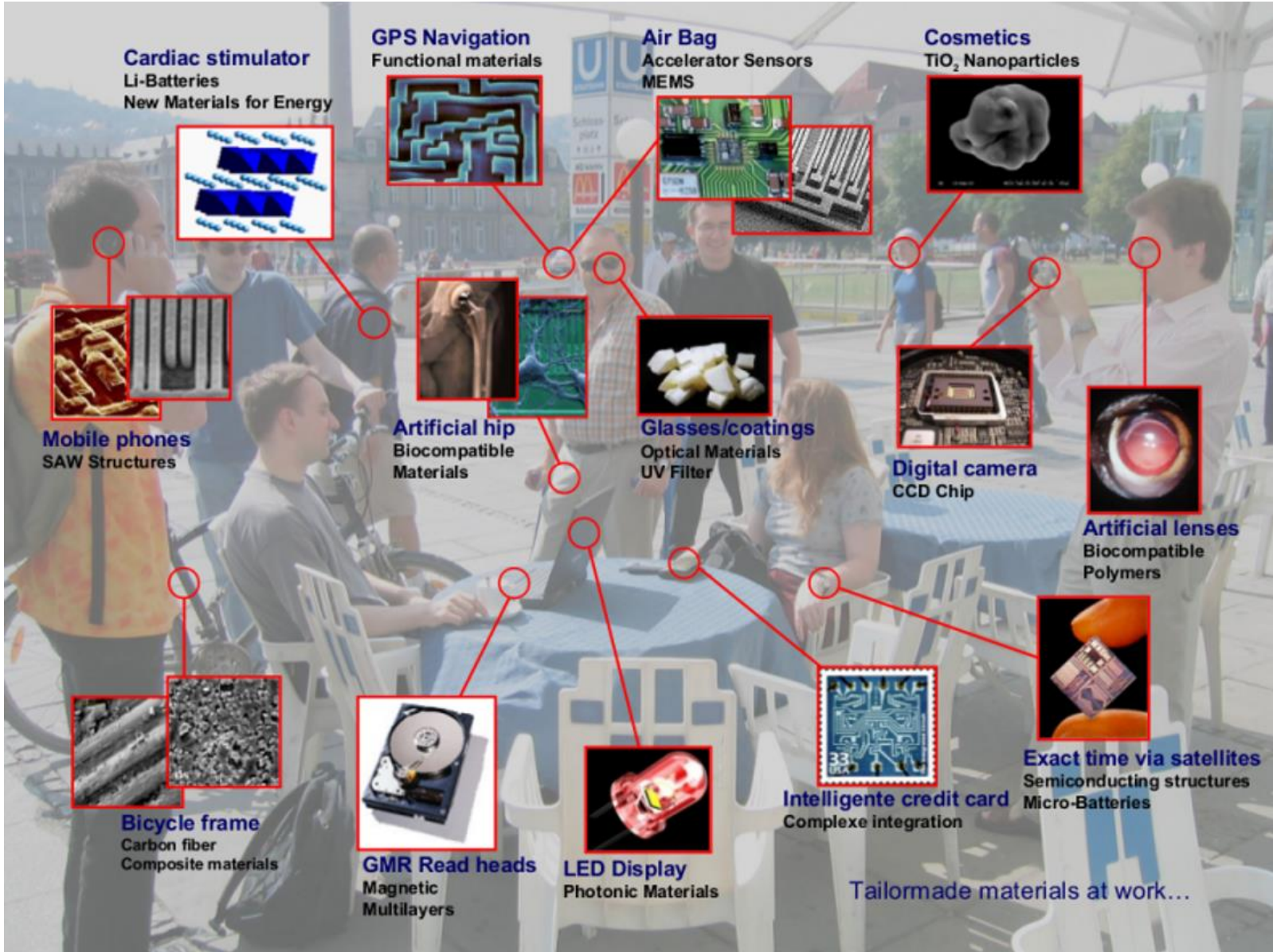


Sanat eserlerinde sahteciliğin tespiti

- MeV enerjili İyon Demet Analizi (IBA) boyamada kullanılan pigmentlerin kimyasal bileşimini gösterir.
- Geri saçılmalı ışınlar yüzey atomlarının kapsamlı analizini sağlarlar.
- Sanat tarihçileri eserlerin gerçek olup olmadıklarını bu tür yöntemlerle tespit edebilirler.



HIZLANDIRICILAR İLE GELİŞTİRİLMİŞ TEKNOLOJİK ÜRÜNLER



Kaynak:
DESY

- Parçacık hızlandırıcıları, dedektörleri, ışınım ve nötron kaynakları yüksek teknolojik donanımlardır ve teknolojinin gelişiminden doğrudan etkilenmektedirler.
- Hızlandırıcı teknolojileri alanında ana ve alt sistemlerin verimliliğini artırmak, boyutları ve maliyeti indirmek amacıyla yoğun Ar-Ge çalışmaları yürütülmektedir.
- Büyük ölçekli hızlandırıcı ve çarpıştırıcı tesislerinin (örn. LHC, FCC, CLIC vb.) planlamasından tasarımına, kurulumundan işletilmesine geçen süre bazen onlarca yıl sürebilmektedir.
- Bunun için ana ve alt sistemlerinin geliştirilmesi ve güncellenmesi doğal bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır ve Ar-Ge çalışmaları kesintisiz olarak sürdürülmektedir. Ar-Ge çalışmaları sonucu ortaya çıkan bilgi ve teknolojiler yenilikçiliği (inovasyon) beraberinde getirmektedir.

Başlıca Ar-Ge Konu Başlıkları:

■ Parçacık Kaynakları

Elektron, pozitron, proton, nötron vb. parçacık kaynaklarının geliştirilmesi

Ar-Ge Motivasyonu: Elde edilen parçacık verimliliğini artırmak

■ Paketleyici ve Hızlandırıcı RF Kaviteleler

İhtiyaç duyulan paketçik (bunch) yapısını elde etmek ve yüksek alan gradyenli hızlandırıcı kavitelelerin (yapıların) geliştirilmesi

Ar-Ge Motivasyonu: Normal iletken RF (Nc RF) (S,C & X Band, 3,6, 12 GHz) veya süperiletken RF kavitelelerde (SRF) yüksek elektrik alan gradyeni (>20 MV/m) ve kavite kalite faktörü (Q) ($\sim 10^{10}$) elde etmek

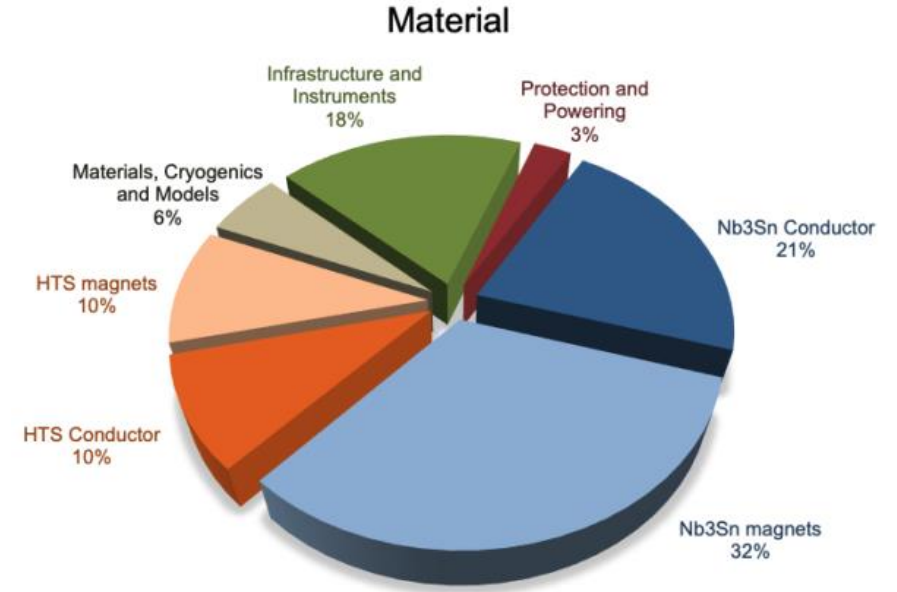
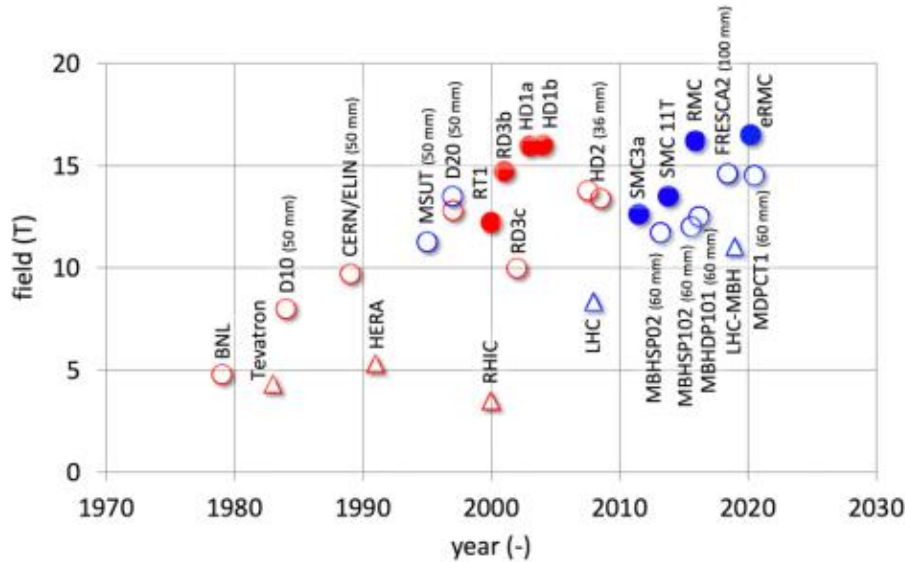
Kaynak:

European Strategy for Particle Physics - Accelerator R&D Roadmap, N. Mounet (ed.), CERN Yellow Reports: Monographs, CERN-2022-001 (CERN, Geneva, 2022),

<https://doi.org/10.23731/CYRM-2022-001>.

■ Magnetler

Dipol, Kuadrupol, Sekstupol, Undulator, Wiggler magnetlerin geliştirilmesi
Ar-Ge Motivasyonu: Elektromagnetler ve kalıcı (permanent) mıknatıslar için malzeme araştırmaları ve yüksek magnetik alan değerleri ve hassasiyeti



Değişik konfigürasyonlu Nb3Sn süperiletken dipol magnetlerin magnetik alan değerleri:
Kırmızı dolu yuvarlak: 4.2 K, Mavi dolu yuvarlak: 1.9 K
Kırmızı boş üçgen: Geçmiş çarpıştırıcılar
Mavi boş üçgen: Günümüzdeki çarpıştırıcılar

Ar-Ge çalışmalarının önümüzdeki yıllar için magnet malzemesi konusunda ortaya koyduğu seçenekler.

■ RF Güç ve RF Kontrol Sistemleri

RF Güç kaynakları ve RF kontrol sistemleri hızlandırıcıların hedeflendiği şekilde işletilebilmesi için büyük öneme sahiptir.

Ar-Ge Motivasyonu: Klystron, IOT ve SSA gibi RF güç kaynaklarının verimliliğini artırmak (birim ünite başına sağlanan RF gücü vb.) ve RF güç maliyetini düşürmek, RF alan salınımlarını ve buna bağlı paketçik uzunluğunu (\sim ps, fs) kontrol etmek.

■ Diyagnostik Sistemleri

Hızlandırıcılarda demet konumu, demet boyutları, demet yayılım (emittans), demet kaybı, demet enerjisi ve akımı gibi dinamik parametrelerin belirli konumlarda sürekli ölçülebilir olması ve kontrol odasından izlenebilmeleri büyük önem taşımaktadır.

Ar-Ge Motivasyonu: Dinamik demet parametrelerinin ölçümünde hassasiyeti artırmak, diyagnostik araçlarının radyasyon dayanımı, doğrudan ve dolaylı ölçüm tekniklerini geliştirmek

■ Radyasyon Güvenliği Sistemleri

Hızlandırıcı tesislerinde personelin, makinelerin ve ortamların radyasyon güvenliği büyük önem taşımaktadır.

Ar-Ge Motivasyonu: Radyasyon dayanımı yüksek malzeme geliştirilmesi ve radyasyon seviyesi ölçüm ve kontrol sistemlerinin geliştirilmesi

- Parçacık hızlandırıcı, dedektör ve ışınım teknolojileri ve zengin uygulama alanları günümüz öncü teknolojilerinin geliştirilmesi ve kullanımında kilit rol oynamakla birlikte, bu alana yatırım yapan toplumların refah düzeylerinin ve yaşam standartlarının yükselmesine somut katkılar sunmaktadır.
- Hızlandırıcı sektörü disiplinler arası çalışmalara ve uluslararası işbirliğine açık yapısı ile bu alanda yetişen temel bilimci ve mühendislere iyi koşullarda çalışma olanağı sunmaktadır.
- Ülkemizde ve dünyada kurulan, kurulumu planlanan, kurulum çalışmaları sürdürülen ve işletilen küçük, orta ve büyük ölçekli tüm hızlandırıcı, dedektör ve ışınım tesisleri için Ar-Ge çalışmaları büyük öneme sahiptir. Bu çerçevede parçacık hızlandırıcıların ve dedektörlerin boyutlarının indirgenmesi ve maliyetlerinin düşürülmesi ana hedef olarak her zaman gündemdeki yerini koruyacaktır.

- N. Mounet (ed.), ***European Strategy for Particle Physics – Accelerator R&D Roadmap***, CERN Yellow Reports: Monographs, CERN-2022-001, CERN, Geneva (2022)
<https://doi.org/10.23731/CYRM-2022-001>
- S. Sheehy, ***Accelerator Applications***, CERN Accelerator School on Introduction to Accelerator Physics, Vysoke-Tatry, Slovakia (2019)
- N. Lockyer, ***Particle Accelerators: Current and Future Applications***, Fermilab (2015)
<https://www.youtube.com/watch?v=ZalgEBPv34A>
- O. Barbalat, ***Applications of Particle Accelerators***, CERN/AC/93-04 (1994)
- E.A. Abramyan, ***Industrial Electron Accelerators and Applications***, Hemisphere Publishing Corporation (1988)
- W. Scharf, ***Particle Accelerators and Their Uses***, Harwood Academic Publishers (1986)
- Ö. Yavaş, ***Parçacık Hızlandırıcı Teknolojilerinin Güvenlik ve Savunma Amaçlı Kullanımı***, IV. Güvenlik Konferansı ve Fuarı (ISAF IV), Ankara (2020)
https://www.dropbox.com/s/abnhknd8girojxf/ISAF-IV_2020.pdf?dl=0
- <https://www.omeryavas.info/seminerler>