

Hızlandırıcıların Medikal ve Endüstriyel Uygulamaları

Prof. Dr. Taylan YETKİN

**Yıldız Teknik Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği
Bölümü**

taylan.yetkin@yildiz.edu.tr

İÇERİK

1. Giriş
2. Tıbbi görüntüleme ve tedavi
3. Hızlandırıcıların endüstriyel kullanımları
4. Sürdürülebilirlik ve güvenlik uygulamaları
5. Tarihi ve kültürel uygulamalar
6. Sinkrotron ışık kaynakları uygulamaları
7. Özet

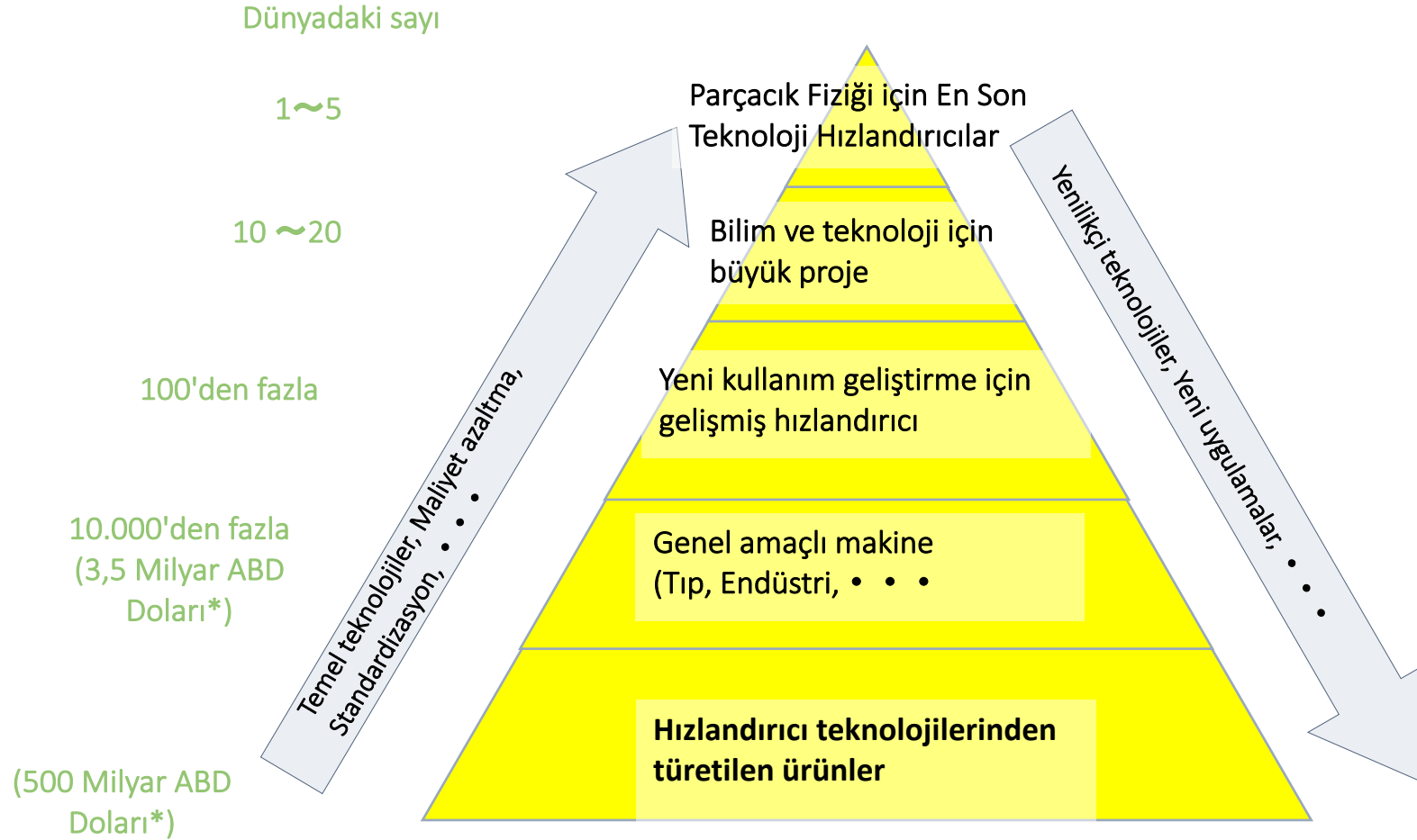
HIZLANDIRICILARIN FARKLI ALANLARA UYGULAMALARI

Belirli bir bilimsel amaç için icat edilen yeni fikirler ve araçlar, daha geniş bağlamlarda uygulama alanı bulmaktadır.

- ❑ Atomların işleyişini açıklamak için geliştirilen kuantum mekaniği, transistörlere, bilgisayarlara, lazerlere yol açtı ...
- ❑ Nükleer spin geçişleri üzerine yapılan çalışmalar MR tomografisine yol açtı
- ❑ Süperiletkenlik, yüksek alan mıknatıslarına, tren kaldırmaya, kriyo- tedavilere yol açtı ...

Parçacık hızlandırıcıları için de bu şekilde oldu. Yüksek enerjili parçacık demetlerinin küçük yapıları inceleme ve yeni madde formları yaratma yeteneği artık başka yerlerde de kullanılmaktadır.

HIZLANDIRICI PİRAMİDİ



*) " Accelerators for America' s Future" , 2010, Department of Energy, USA

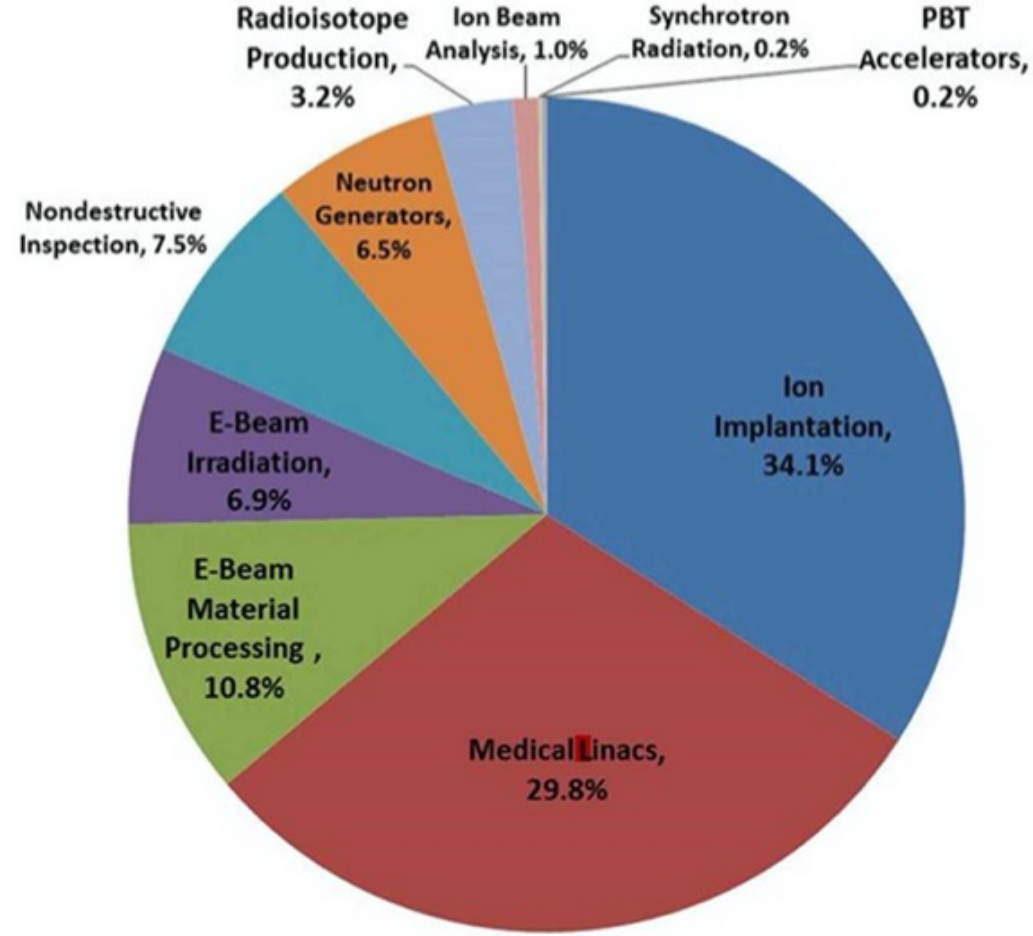
HIZLANDIRICI BİLİMİNİN KAHRAMANLARI

Hızlandırıcı bilimi disiplinlerin çok zengin bir karışımıdır:

- Klasik ve kuantum fiziği
- Uygulamalı matematik
- Bilgisayar bilimi
- Malzeme bilimi
- Elektrik Mühendisliği
- Makine ve inşaat mühendisliği

Bu alanların hepsinden insanların birlikte çalışması ile hızlandırıcılar yapılabilmektedir.

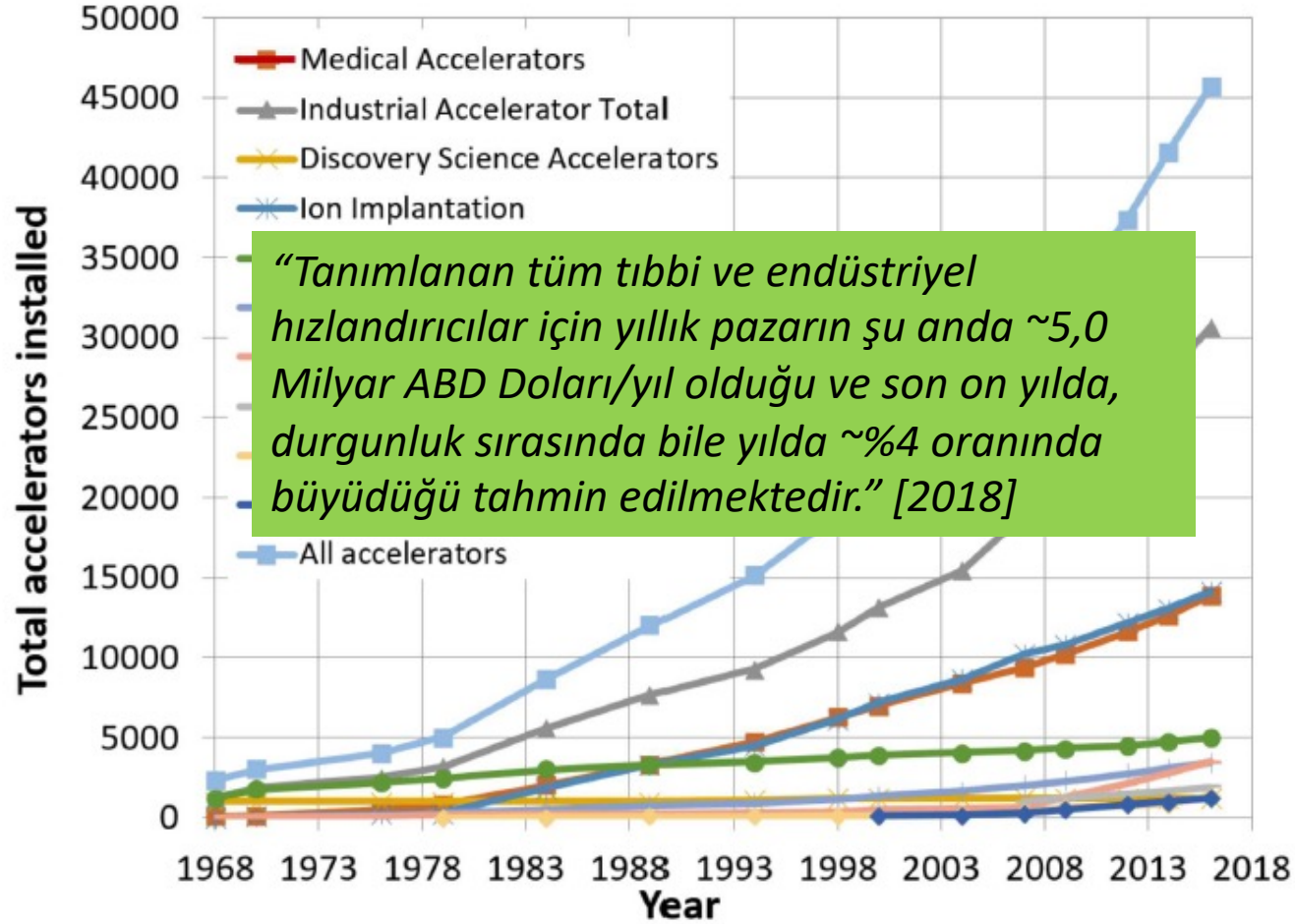
HIZLANDIRICILARIN KULLANIM ALANLARI



Doyle, McDaniel, Hamm, *The Future of Industrial Accelerators and Applications, SAND2018-5903B*

HIZLANDIRICILARIN KULLANIM ALANLARI

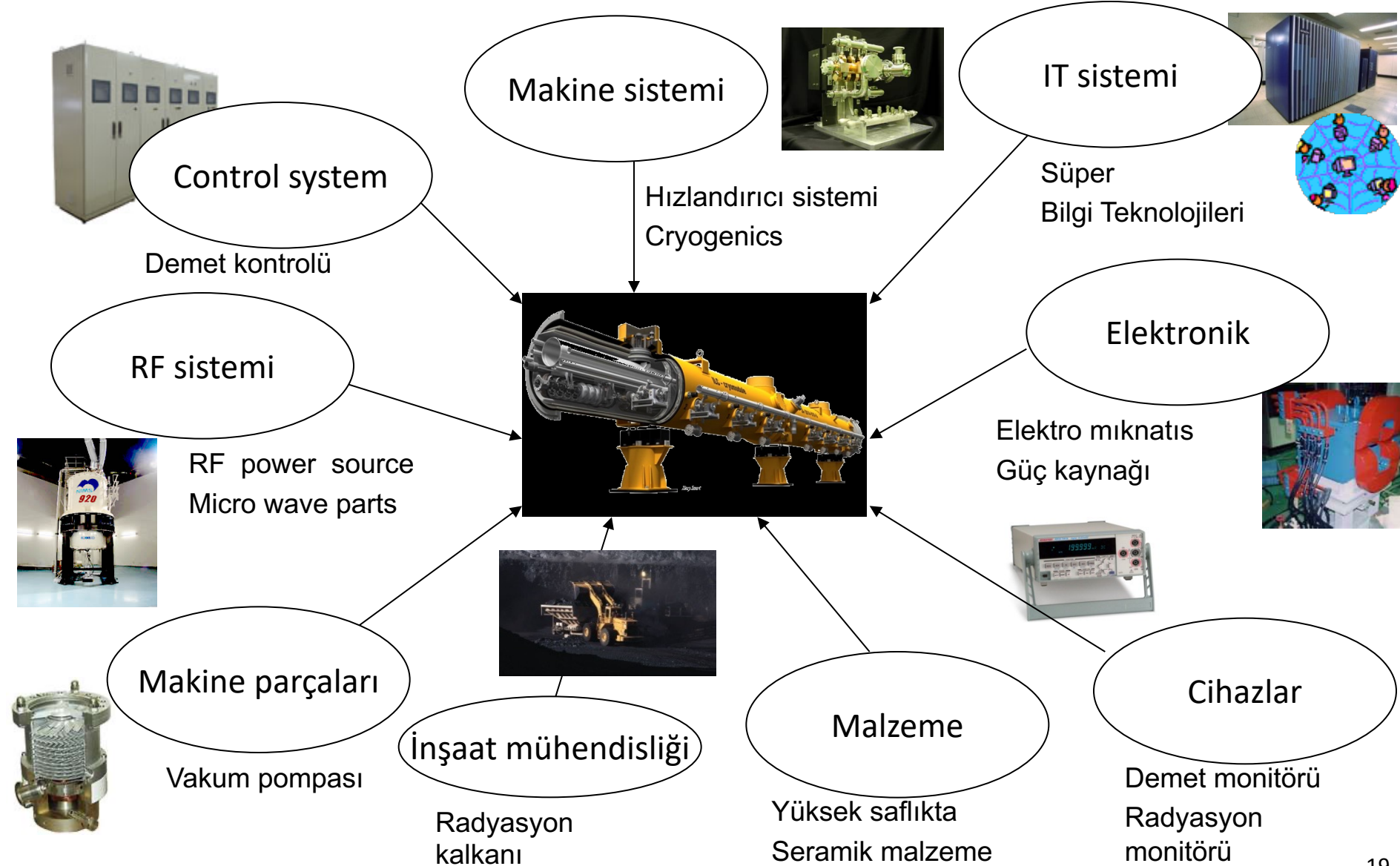
Accelerators Installed Worldwide



Doyle, McDaniel, Hamm, *The Future of Industrial Accelerators and Applications*, SAND2018-5903B

Çeşitli Endüstriler Tarafından Desteklenen Hızlandırıcılar

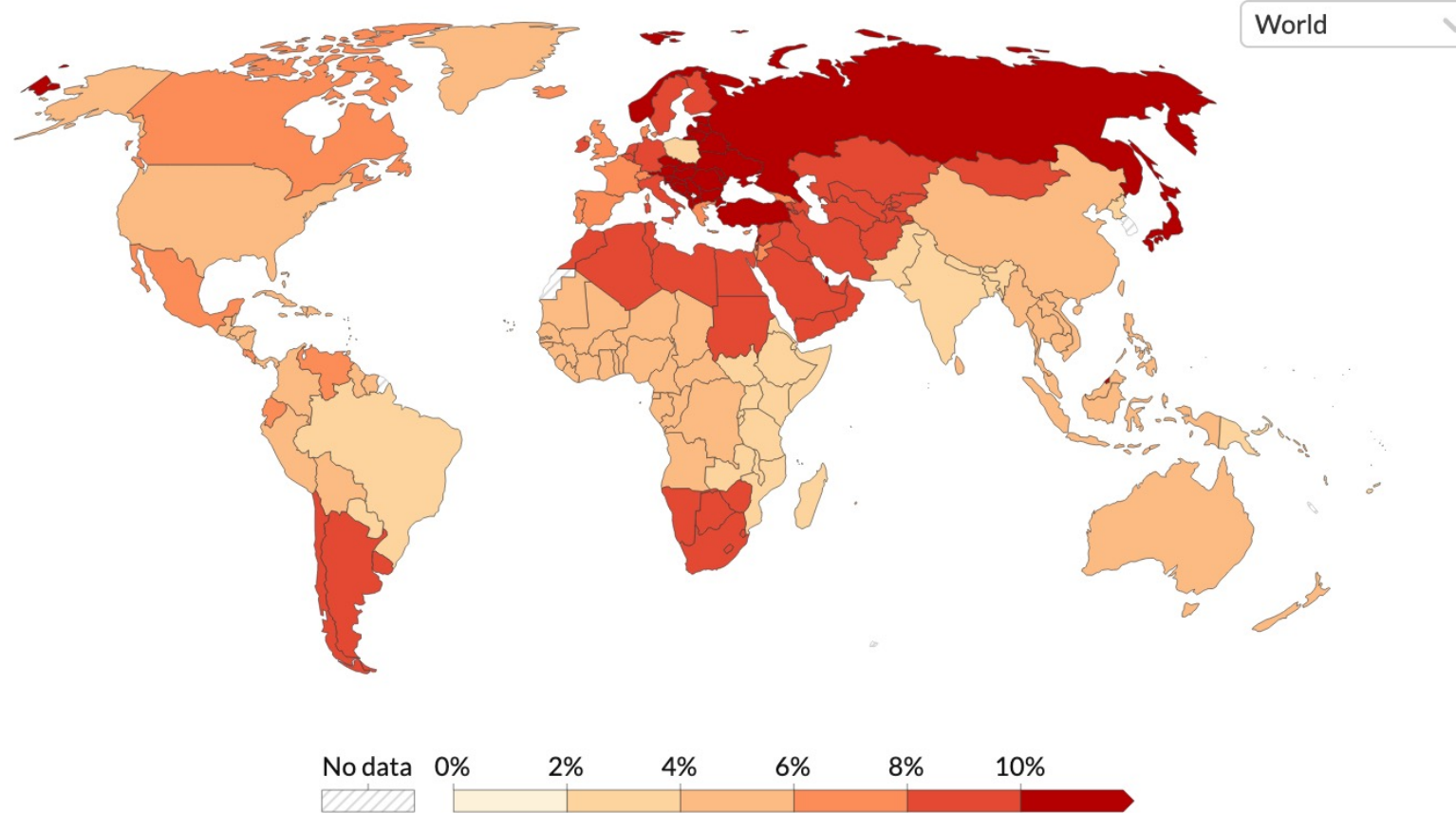
Hızlandırıcıdan türetilen yeni teknoloji birçok alanda büyük etki yaratacaktır.



Share of population with cancer, 2019

Share of total population with any form of cancer, measured as the age-standardized percentage. This share has been age-standardized assuming a constant age structure to compare prevalence between countries and through time.

Our World
in Data



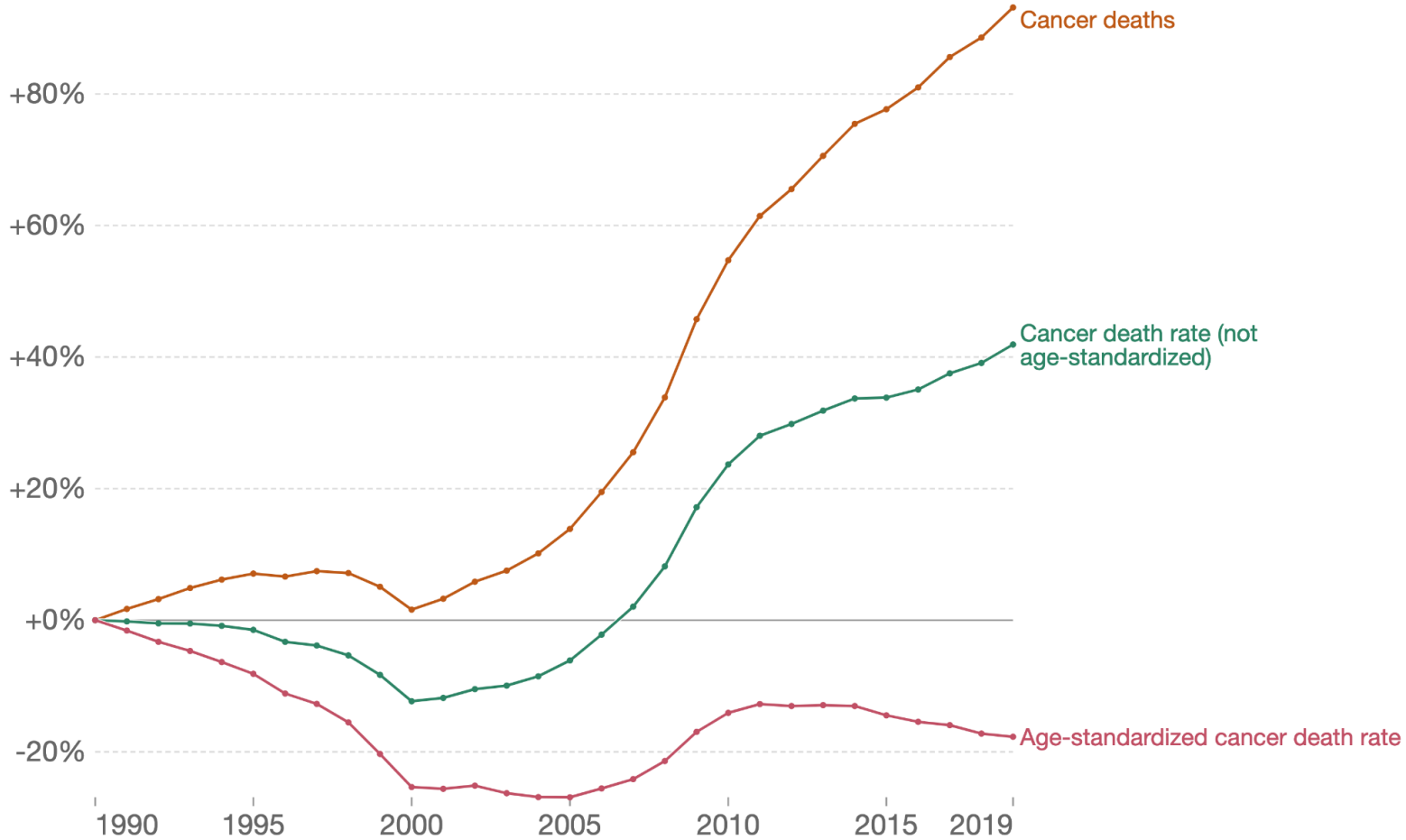
Source: IHME, Global Burden of Disease (2019)

OurWorldInData.org/cancer • CC BY

Change in three measures of cancer mortality, Turkey, 1990 to 2019

This chart compares cancer deaths, crude cancer death rates, and age-standardized¹ death rates.

Our World
in Data

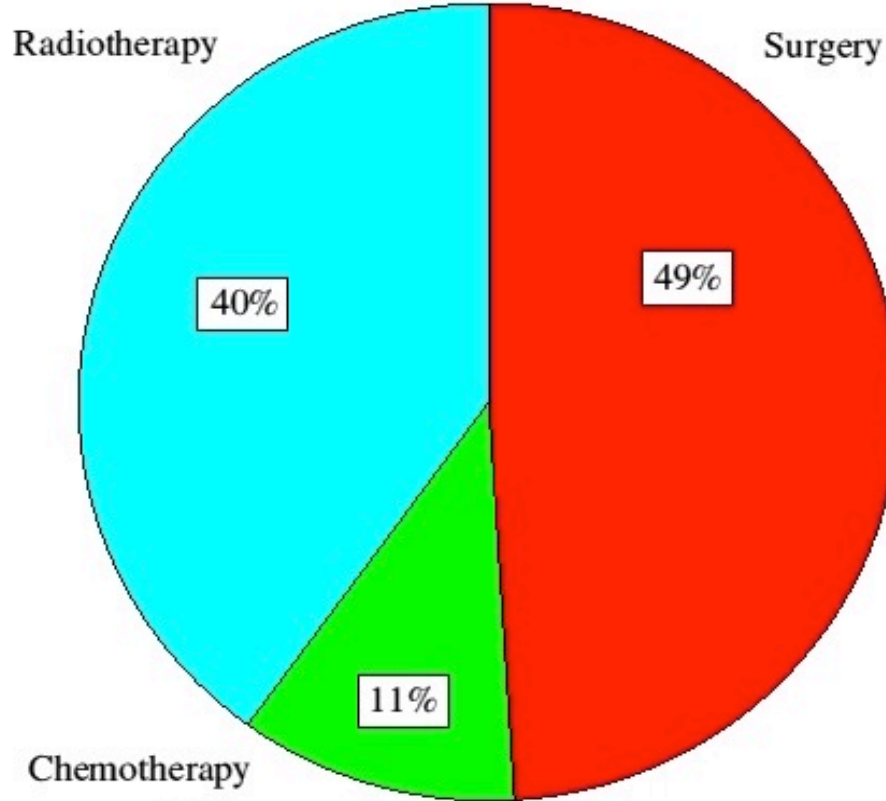


Source: IHME, Global Burden of Disease (2019)

OurWorldInData.org/cancer • CC BY

KANSERDE TEDAVİ BAŞARISI

Patients cured by the major cancer treatment modalities



Chemotherapy
- alone
- with surgery
- with radiotherapy

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

X-IŞINI RADYOTERAPİSİ

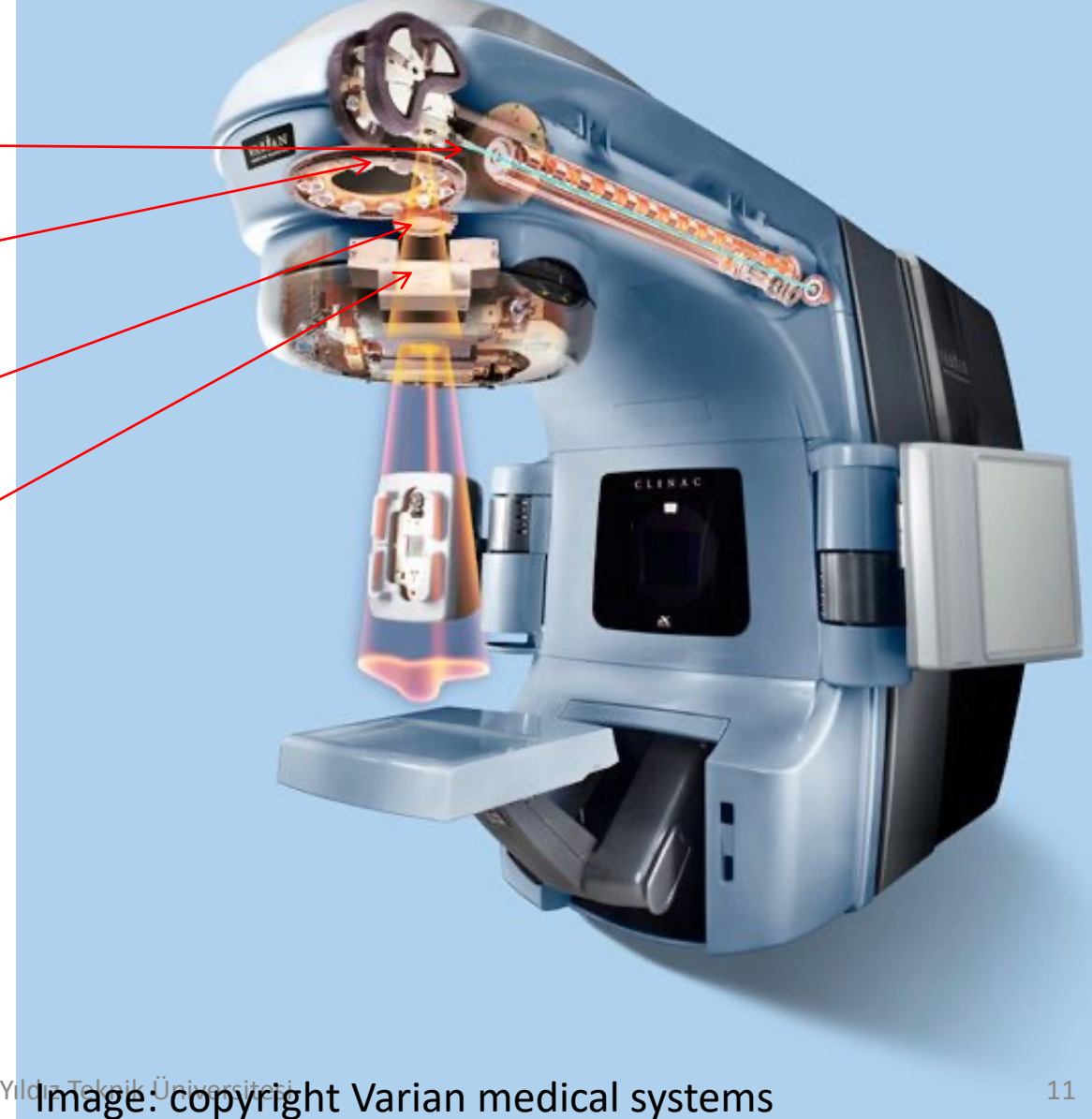
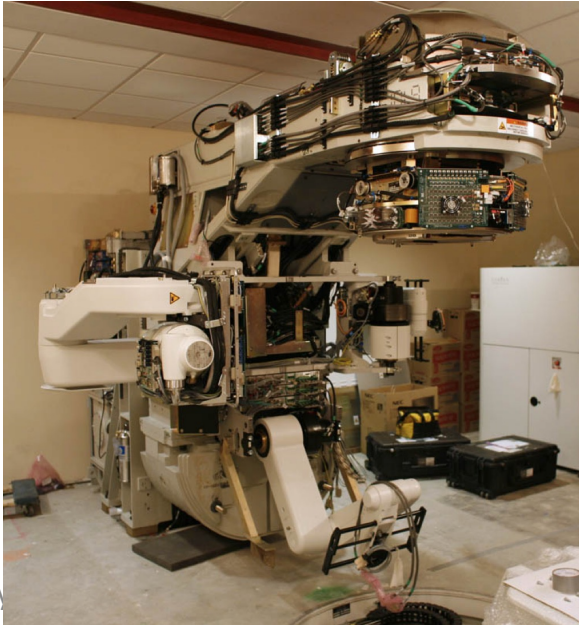
Tedavi sürecindeki tüm kanser hastalarının yaklaşık yarısı RT'den yararlanmaktadır

Linac (S-bandı)

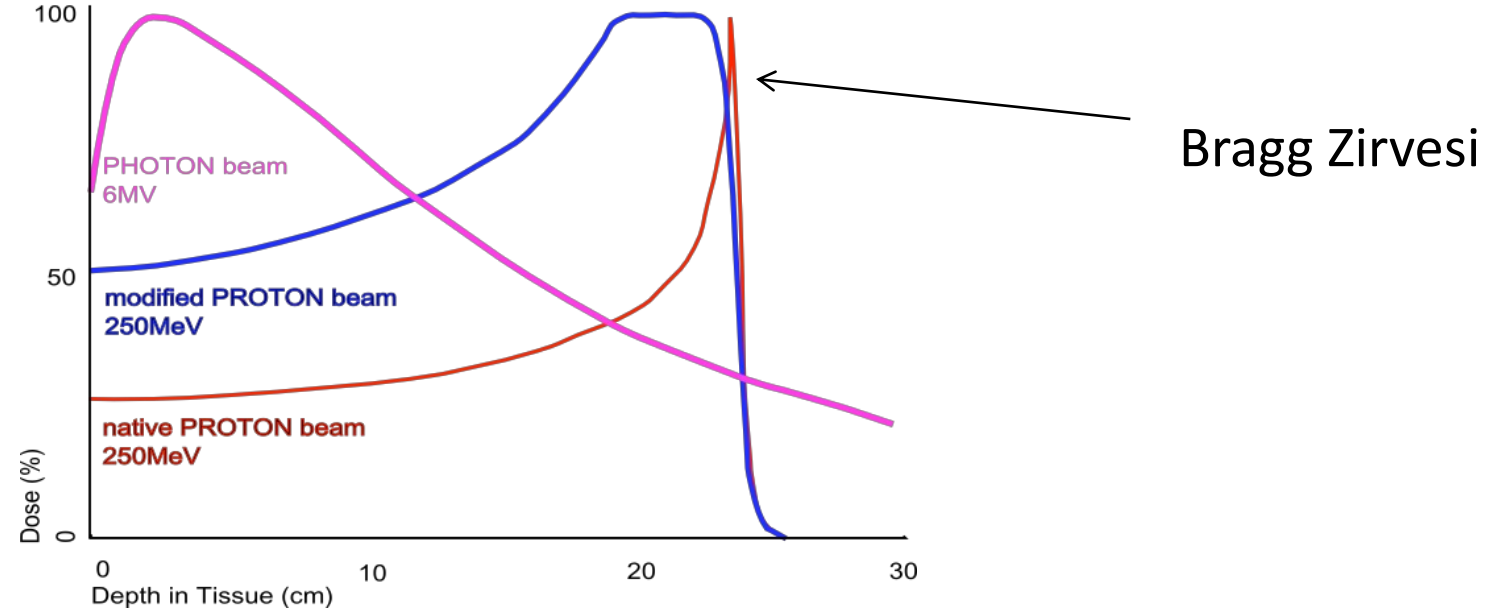
Akromatik Büküm

X-ışınları üretmek için folyo

Kolimasyon sistemi

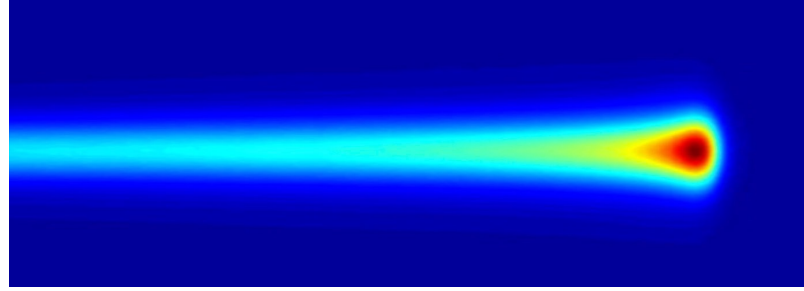


YÜKLÜ PARÇACIK TERAPİSİ



- Gerektiğinde daha yüksek doz
- Sağlıklı doku için daha az morbidite
- Hayati organlarda daha az hasar

MADDE İÇİNDE ENERJİ KAYBI



$$-\left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle = \frac{4\pi}{m_e c^2} \cdot \boxed{\beta^2} \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \cdot \left[\ln \left(\frac{2m_e c^2 \beta^2}{I \cdot (1 - \beta^2)} \right) - \beta^2 \right]$$

$$\beta = v / c$$

v velocity of the particle

E energy of the particle

x distance travelled by the particle

c speed of light

Z particle charge

e charge of the electron

m_e rest mass of the electron

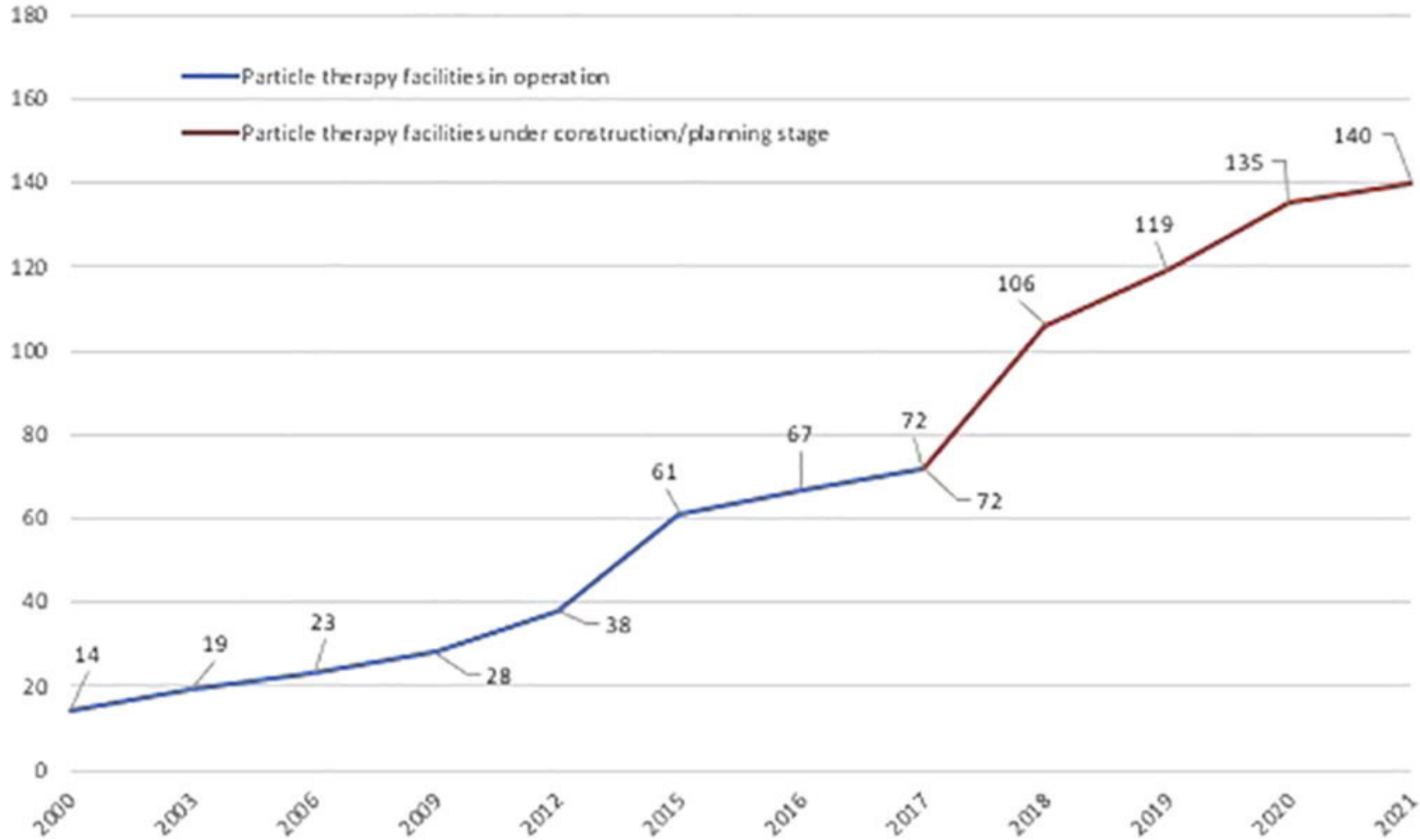
n electron density of the target

I mean excitation potential of the target

ϵ_0 vacuum permittivity

Yüksek hız -> küçük enerji kaybı
Düşük hız -> yüksek enerji kaybı

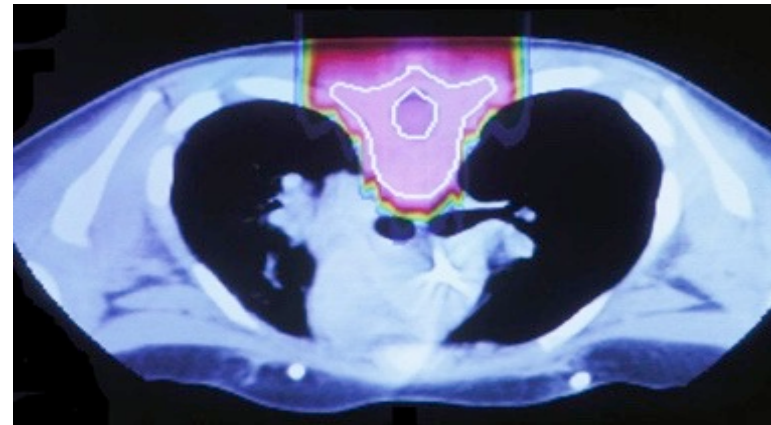
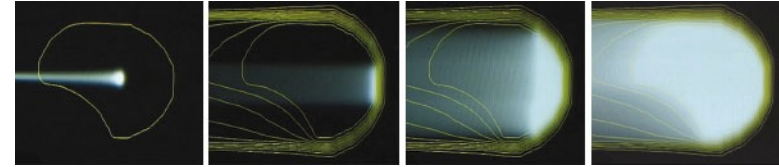
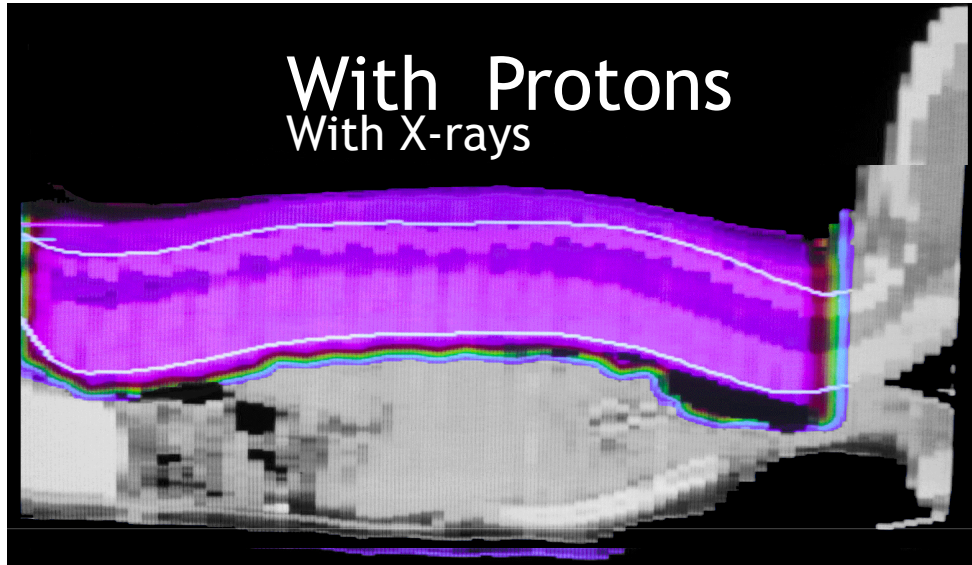
Particle therapy facilities in operation



[https://www.thegreenjournal.com/article/S0167-8140\(18\)30146-4/fulltext](https://www.thegreenjournal.com/article/S0167-8140(18)30146-4/fulltext)

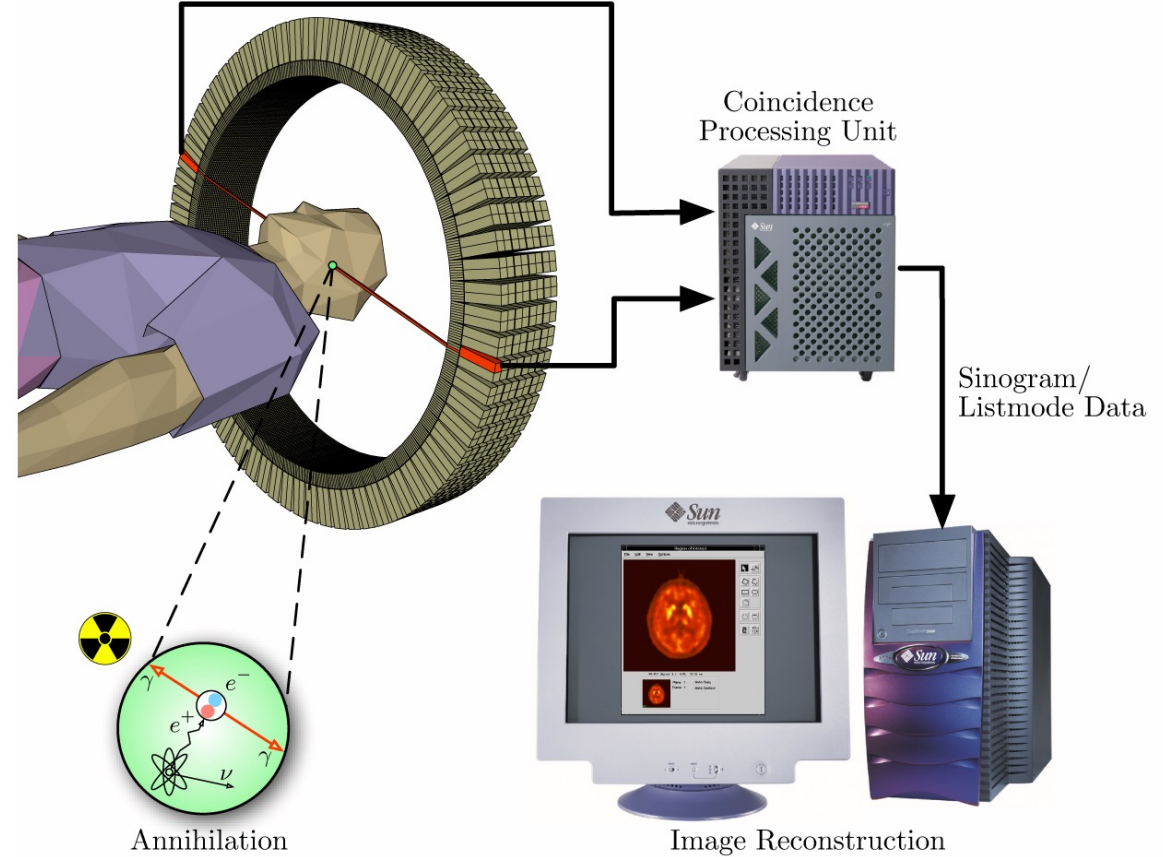
Proton ve İyon tedavisi

- "Hadron terapisi" = Protonlar ve iyonlar
- Lokalize kanserleri tedavi etmek için kullanılır
- Sağlıklı doku için daha az morbidite
- Hayati organlarda daha az hasar
- Özellikle çocukluk çağı kanserleri için

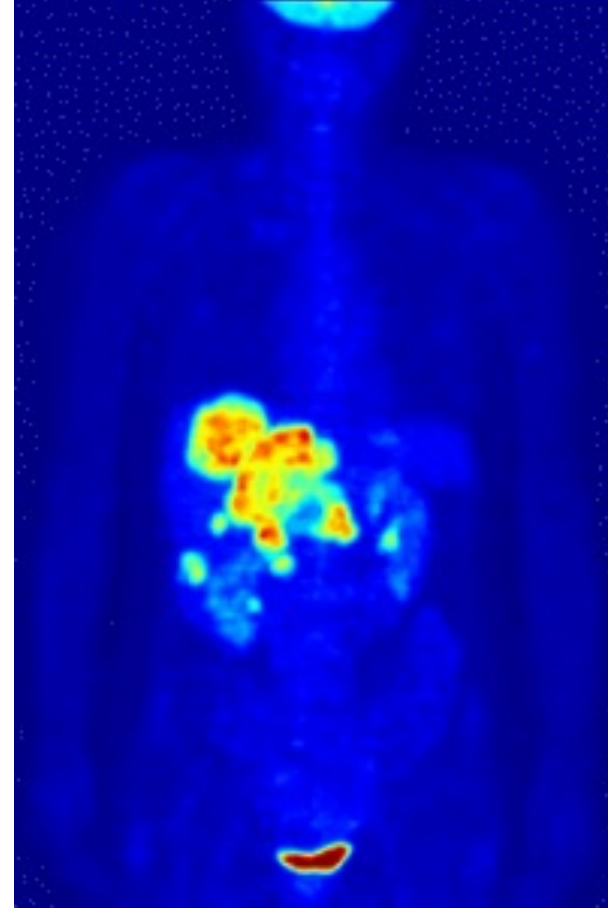
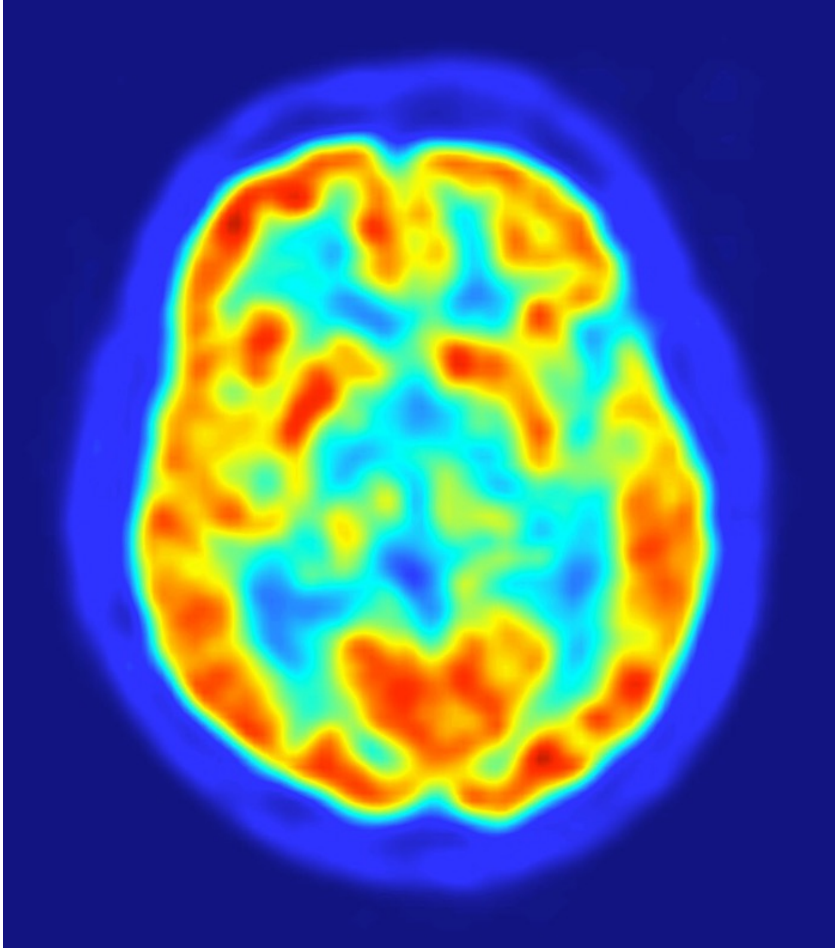


Radyoizotop üretimi

- Hızlandırıcılar (kompakt siklotronlar veya linaklar) tıbbi görüntüleme için radyo-izotoplar üretmek için kullanılır.
- Görüntüleme için kısa ömürlü izotoplar için 7-11MeV protonlar
- Daha uzun ömürlü izotoplar için 70-100MeV veya daha yüksek enerjili hızlandırıcılar



- Pozitron emisyon tomografisi (PET), Flor-18, ~ 110 dakika yarı ömür



- Florodeoksiglukoz veya FDG, F18'i yüksek metabolik aktiviteye sahip alanlara taşır
- PET taramalarının %90'ı klinik onkolojidedir

Radyofarmasötikler

p, d, ^3He , ^4He beams

PET, SPECT vs. Brakiterapi
vb. için kullanılan izotoplar...

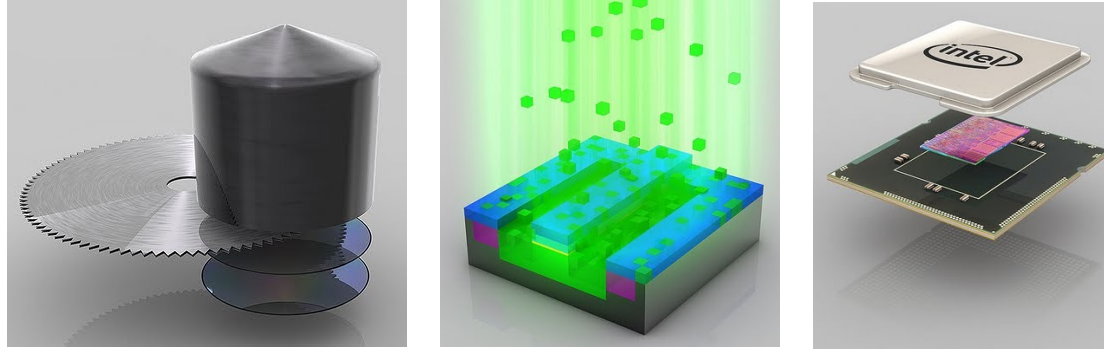


TABLE 2.1. THE RADIOISOTOPES THAT HAVE BEEN USED AS TRACERS IN THE PHYSICAL AND BIOLOGICAL SCIENCES

Isotope	Isotope	Isotope
Actinium-225	Fluorine-18	Oxygen-15
Arsenic-73	Gallium-67	Palladium-103
Arsenic-74	Germanium-68	Sodium-22
Astatine-211	Indium-110	Strontium-82
Beryllium-7	Indium-111	Technetium-94m
Bismuth-213	Indium-114m	Thallium-201
Bromine-75	Iodine-120g	Tungsten-178
Bromine-76	Iodine-121	Vanadium-48
Bromine-77	Iodine-123	Xenon-122
Cadmium-109	Iodine-124	Xenon-127
Carbon-11	Iron-52	Yttrium-86
Chlorine-34m	Iron-55	Yttrium-88
Cobalt-55	Krypton-81m	Zinc-62
Cobalt-57	Lead-201	Zinc-63
Copper-61	Lead-203	Zirconium-89
Copper-64	Mercury-195m	
Copper-67	Nitrogen-13	

2. Endüstriyel hızlandırıcılar

İyon implantasyonu



Images: Intel

- keV->MeV Hızlandırıcılar, yarı iletkenlerde iyonları biriktirmek için kullanılır.

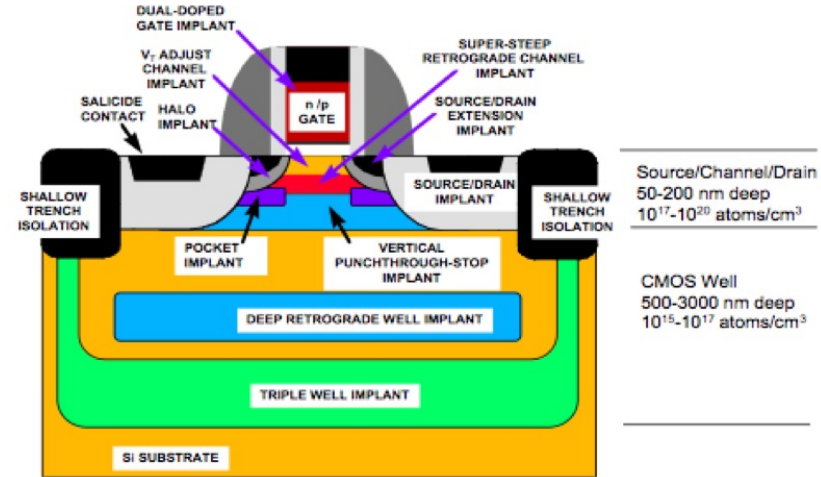


Figure 2: Sketch of major doped regions for a planar CMOS transistor.

Elektron ışını işleme

Endüstriyel elektron ışınları için potansiyel pazarlar yılda toplam >50 milyar dolar.

%33 Tel kablo borusu

%32 Mürekkep kütleme

%17 shrink film

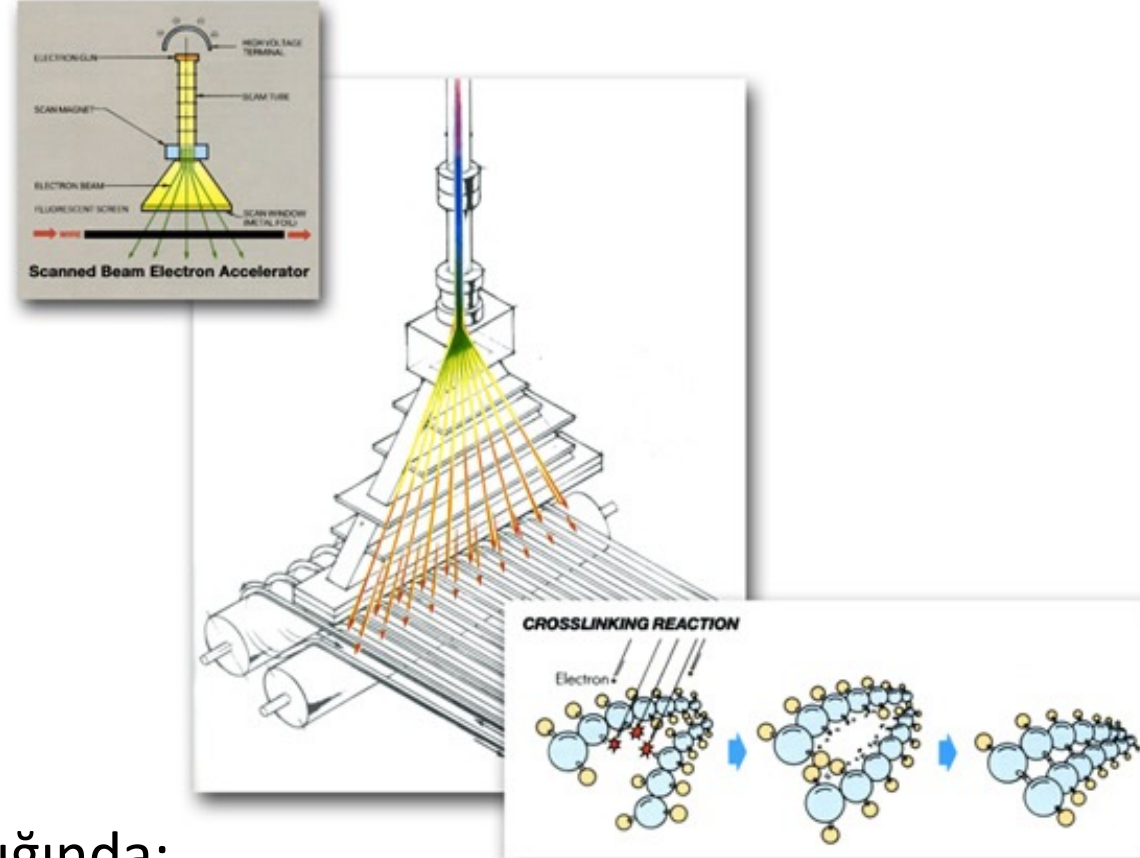
%7 hizmet

%5 lastikler

%6 diğer

Polimerler çapraz bağlandığında:

- ısıya karşı kararlı,
- artan çekme mukavemeti, çatlamaya karşı direnç
- ısı büzülme özelliklerinde iyileşme vb. olabilir



<http://rscnuclearcable.com/capabilities.htm>

Ekipman sterilizasyonu

Tıbbi tek kullanımlık malzeme üreticileri, malzemenin kendisini değiştirmeden şırıngalar, bandajlar, cerrahi aletler ve diğer ekipmanlar üzerindeki her mikrobu öldürmek zorundadır. E-ışın sterilizasyonu basit, düşük yoğunluklu ürünlerde en iyi şekilde çalışır.

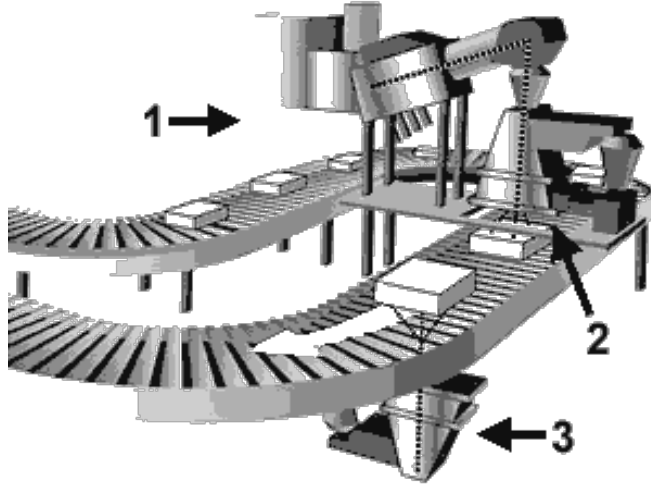
Avantajları: sadece birkaç saniye sürer (gama ışınlaması saatler sürebilir)

Dezavantajları: sınırlı penetrasyon derinliği, basit, ancak düşük yoğunluklu ürünlerde (örneğin şırıngalar) en iyi şekilde çalışır



IBA rhodotron – e-ışın sterilizasyonu için kullanılan ticari bir hızlandırıcı

Gıda Işınlaması



'Soğuk pastörizasyon' veya 'elektronik pastörizasyon'
Bir hızlandırıcı kullanılarak üretilen elektronları (bir hızlandırıcıdan) veya X-ışınlarını kullanır.
'Işınlanmış' veya 'iyonlaştırıcı radyasyonla muamele edilmiş' kelimeleri etiket ambalajında görünmelidir.
AB'de ışınlama için izin verilen gıdalar:

Işınlanmış tüm gıdalar bu
sembol sahibidir



Daha düşük doz



Daha yüksek doz

Değerli Taş Işınlama

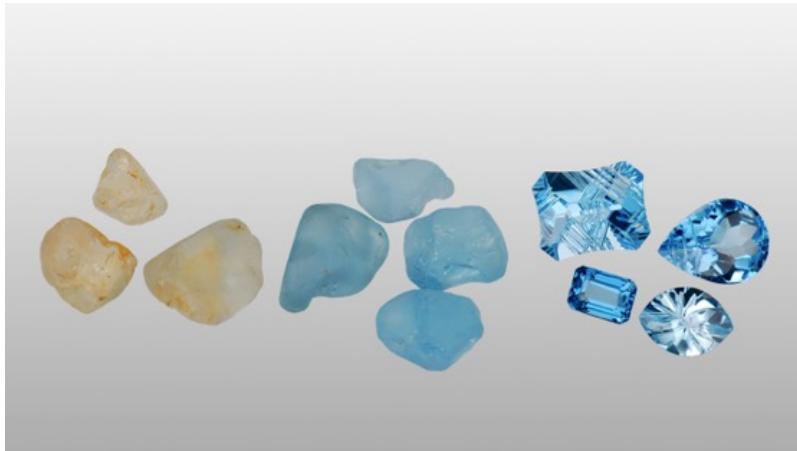
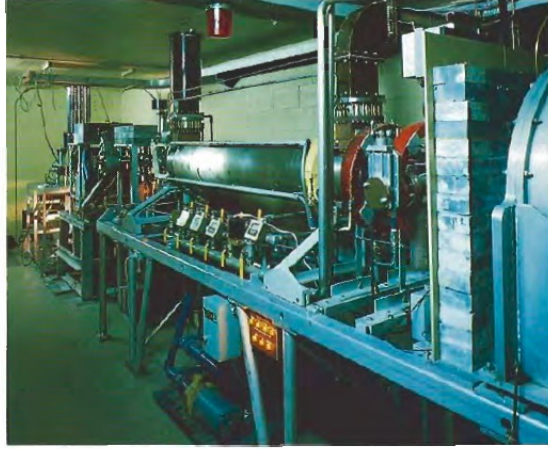


TABLE 2. Effects of irradiation treatment on various gem materials.^a

Material	Starting color	Ending color
Beryl	Colorless Blue	Yellow Green
Maxixe-type	Pale or colorless	Blue
Corundum	Colorless Pink	Yellow Padparadscha
Diamond	Colorless or pale to yellow and brown	Green or blue (with heating, turns yellow, orange, brown, pink, red)
Fluorite	Colorless	Various colors
Pearl	Light colors	Gray, brown, "blue," "black"
Quartz	Colorless to yellow or pale green	Brown, amethyst, "smoky," rose
Scapolite ^b	Colorless, "straw," pink, or light blue	Blue, lavender, amethyst, red
Spodumene	Colorless to pink	Orange, yellow, green, pink ^c
Topaz	Yellow, orange Colorless, pale blue	Intensify colors Brown, blue (may require heat to turn blue), green
Tourmaline	Colorless to pale colors Blue	Yellow, brown, pink, red, bicolor green-red Purple
Zircon	Colorless	Brown to red

^aAdapted from Nassau (1984).

^bCharles Key, pers. comm., 1988.

^cGeorge Drake, pers. comm., 1988.

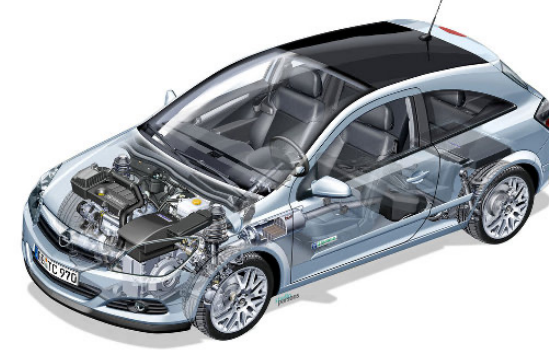
<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/irradiated-gemstones.html>

<http://www.symmetrymagazine.org/article/october-2009/cleaner-living-through-electrons>

'Irradation and Radioactivity', Gems and Gemology, 1988

Diğer endüstriyel kullanımlar

- Tahribatsız muayene (kaynak bütünlüğü vb.)
- Yapay derzlerin sertleşen yüzeyleri
- Çizilmeye dayanıklı mobilyalar
- Asfaltın sertleşmesi



<http://www.accelerators-for-society.org/case-studies/case-study-car.php>



Image: <https://www.mistrasgroup.com>

3. Sürdürülebilirlik ve Güvenlik Uygulamaları

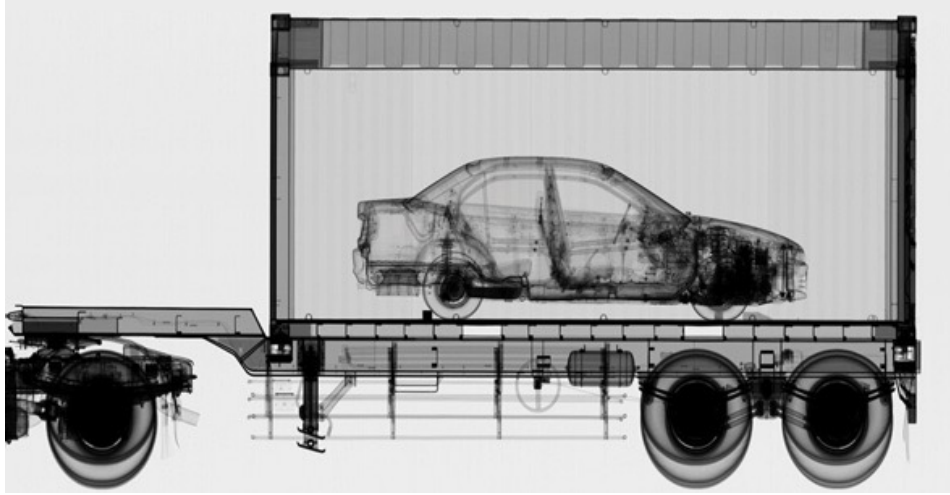
Atıksu Işınlaması

Organik bileşikleri uzaklaştırın
ve atık suyu dezenfekte edin.
Tedavi etmek/geri kazanmak için
kullanılabilir:
Tekstil Boyama
İlaç
Petrokimya
Kentsel Atıksu
Kirlenmiş Yeraltı Suları
1 MeV, Yüksek Akım, tarama
sistemi

Ayrıca NO_x ve SO_x'in baca gazı emisyonlarından
uzaklaştırılması için de kullanılır

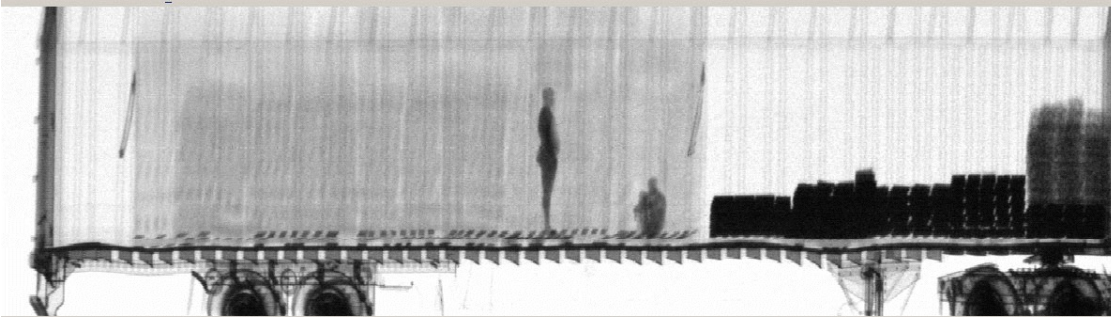


Kargo taraması



Limanlarda ve sınır kapılarında taranan kargo konteynerleri Hızlandırıcı tabanlı X-Işınları kaynakları, Co-60 kaynaklarından çok daha nüfuz edici (6MV) olabilir. Konteyner 30 saniye içinde taranmalıdır.

Imaj: Varian medical systems



Imaj: dutch.euro

İyon demeti analizi

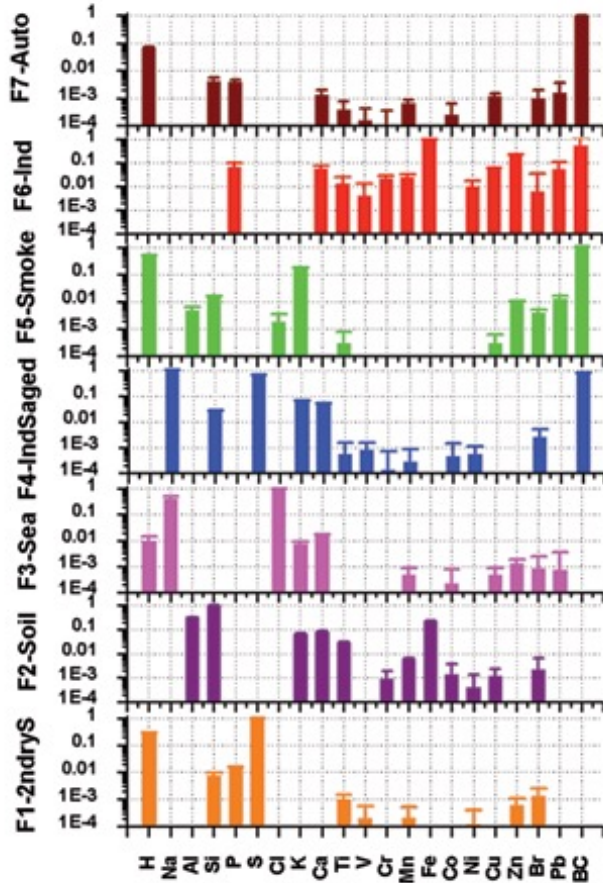
İyonlarla bombardıman etmek, x-ışınlarının, gamaların vb. karakteristik patlamaları = element analizi için bir 'parmak izi' veren malzemeleri uyarır.



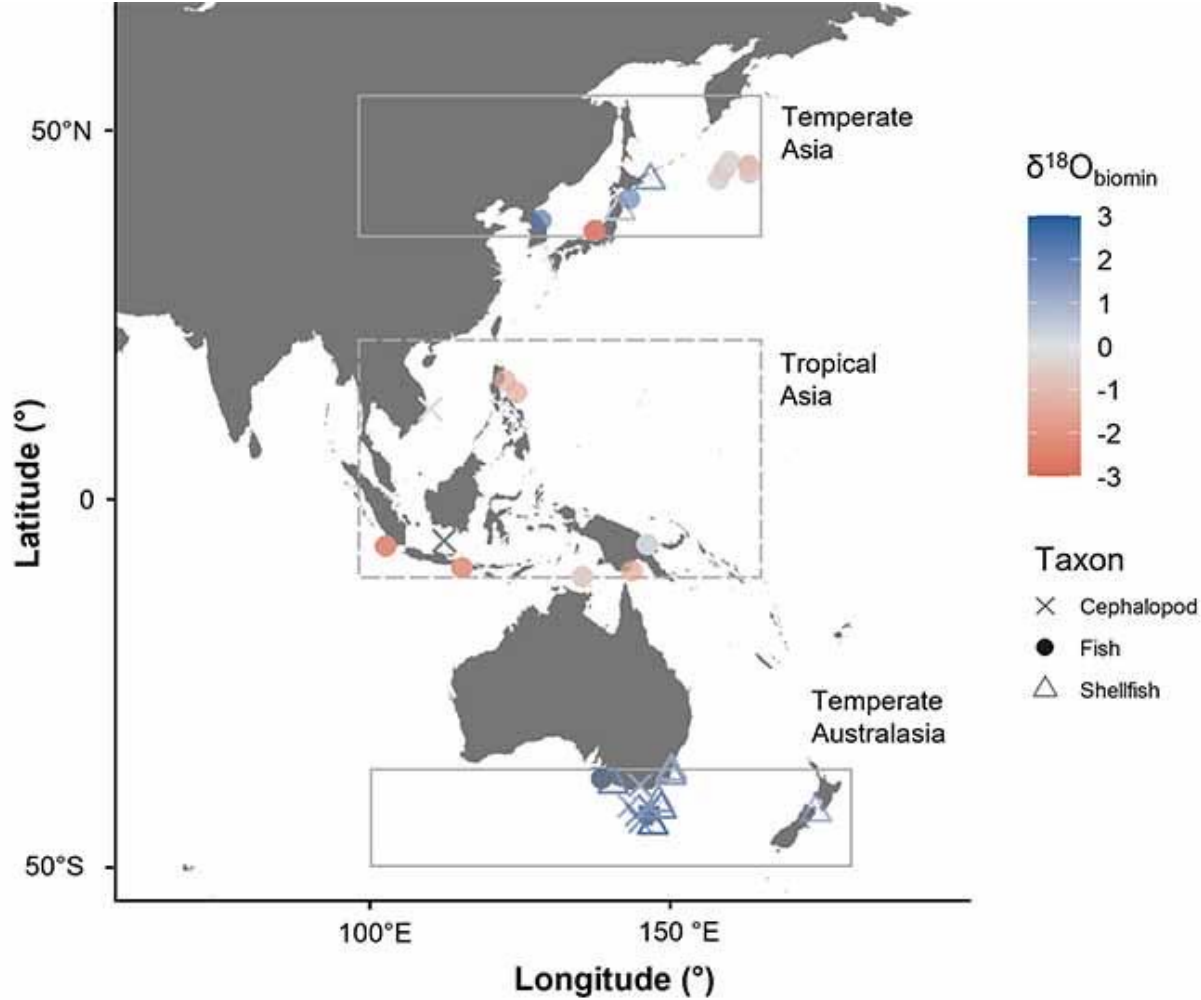
ANSTO Centre for Accelerator Science

Aerosollerin ve Kirleticilerin İncelenmesi

"İyon demeti analiz yöntemlerini kullanarak, sadece havadaki kirleticilerin dakika miktarlarının sayısını belirlemek değil, aynı zamanda kaynaklarını tanımlamak da mümkündür" - David Cohen. ANSTO



Yeni ortaya çıkan uygulama: Gıda Kanıtı



Sustainable seafood is underpinned by knowing where it comes from, and how it is produced

Identifying origins helps to safeguard against fraudulent substitution

We harnessed oxygen isotopes ($\delta^{18}\text{O}$) in bones and shells as a universal tracker of seafood origins applicable to many marine species

We constructed and tested global $\delta^{18}\text{O}$ isoscapes which could accurately identify origins between temperate and tropical climates

Methods to identify origins are typically species-specific

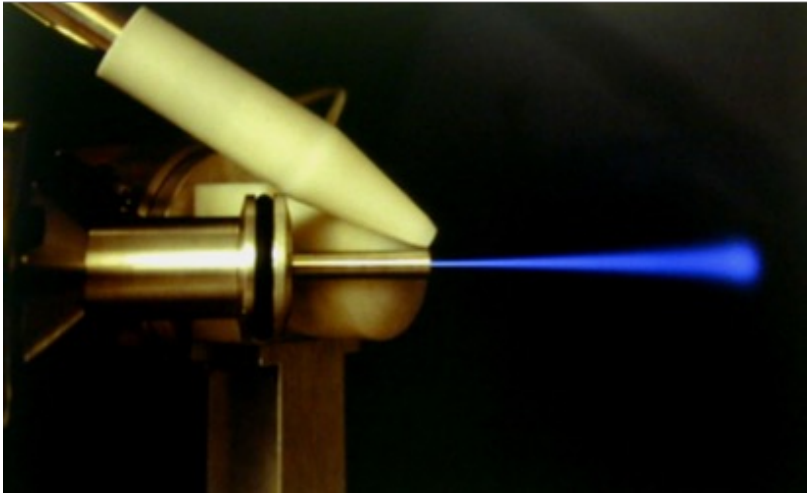
The ongoing development of universal markers is a step towards a more inclusive, global approach to detecting the origins of seafood.

The universal imprint of oxygen isotopes can track the origins of seafood
Fish and Fisheries (2022) DOI: 10.1111/ffaf.12703
 Martino, Trueman, Mazumder, Crawford, Doubleday

4. Tarihi ve kültürel uygulamalar

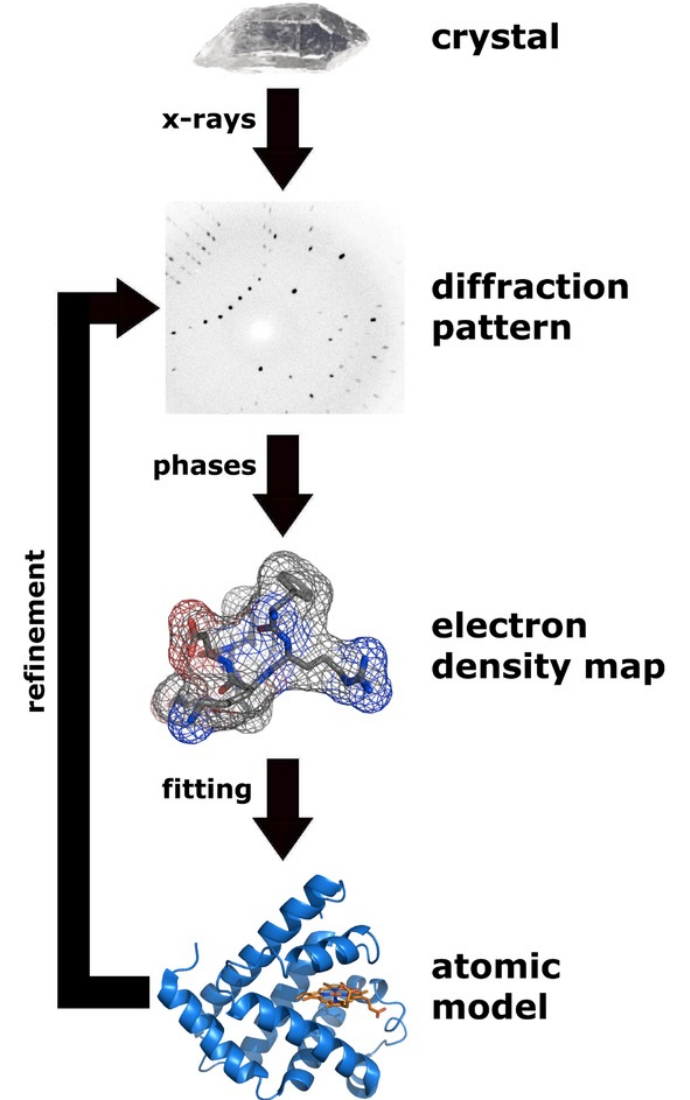
Sanatta IDA teknikleri

- İyon Demeti Analizi (MeV) bize boyada kullanılan pigmentlerin kimyasal bileşimini gösterir
- Geri saçılmış radyasyon, yüzeyde bulunan atomların ayrıntılı analizini verebilir.
- Bu, sanat tarihçilerinin onları Leonardo da Vinci gibi sanatçıların kullanabileceği boyaarla karşılaştırmasını sağlar



X-Işını kristalografisi

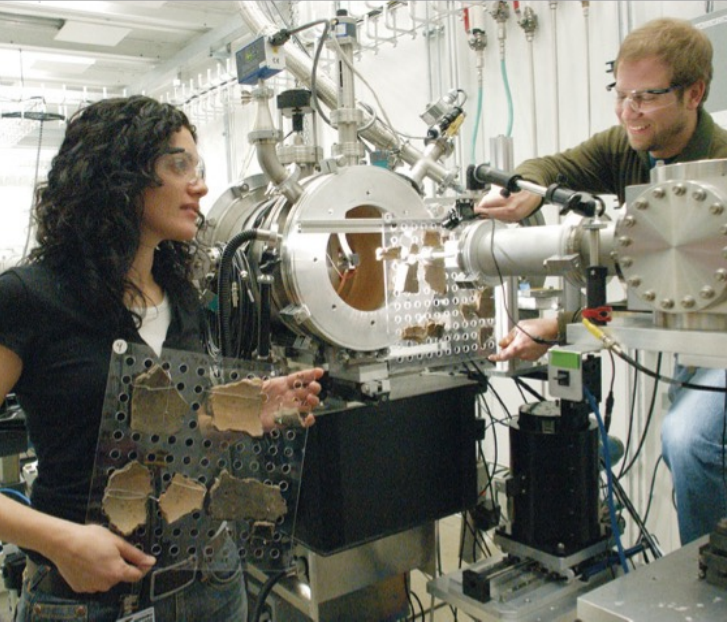
Protein kristalografisi, sinkrotron ışık kaynaklarında standart bir tekniktir (Elmas ışık kaynağının kendisine ayrılmış 5 ışın çizgisi vardır)
En zor kısım kristali oluşturmaktır...



Arkeoloji/Kültürel Miras

X-Işını ile indüklenen floresan kullanma

SSRL tesisindeki bir senkrotron X-ışını ışını, Sicilya'da M.Ö. 287'de doğan eski matematik dehası Arşimet'in silinmiş, üzerine yazılmış ve hatta boyanmış belirsiz bir eseri aydınlattı.



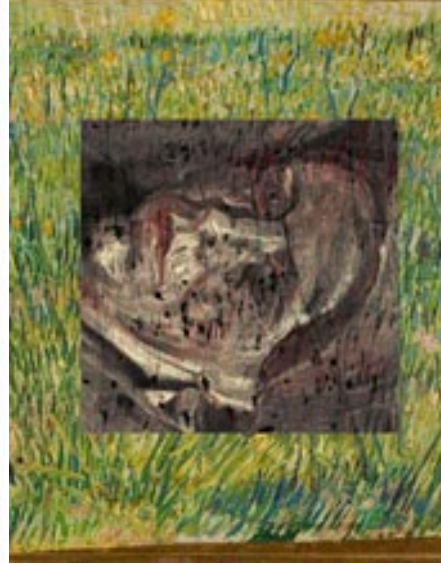
M.Ö. 1300 yılına dayanan Ermenistan'dan gelen çanak çömlek, bir sinkrotron deneyi için kurulmuştur: hızlandırıcılar tahribatsız olma avantajına sahiptir

Image: Argonne National Laboratory

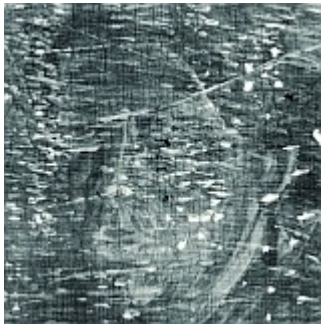
X-ışınları ayrıca sanat çalışmak için de kullanılır



Patch of Grass, spring 1887, F583/JH1263, KM 105.264 (30,8 x 39,7 cm), Kröller-Müller Museum
(Photo: Rik Klein Gotink)



Vincent van Gogh'un "Çim Yaması" adlı bu resmi, Vincent van Gogh tarafından analiz edilen ilk resimdi. bir parçacık hızlandırıcısı Kullanılan X-ışını floresan tekniği Hg (kırmızı) ve Sb (sarı) pigmentinin dağılımı, altta yatan görüntünün yeniden yapılandırılmasına izin verdi



Bu portresinin altında bir kadın figürünü gösterdi

Özet

- ❖ Temel araştırmalardaki ihtiyaçlardan doğan hızlandırıcıların gücü 75 yılda milyon kat artmış, mikroskobik dünyayı çok detaylı bir şekilde ortaya çıkarmıştır.
- ❖ Birçok harika yeni fikir bu büyümeyi sağladı, ancak hala temel fiziksel parametrelerle sınırlıyız - malzemelerin bozulması, mıknatıs mukavemeti vb. Plazma wakefield ivmesi ile ilgili güncel araştırmalar umut vericidir.
- ❖ Hızlandırıcılar, özellikle tıp ve elektronik endüstrisinde toplumun ana akımına girmiştir. Minyatürleştirme ve maliyet azaltma eğilimi sadece bunu artıracaktır.

KAYNAKLAR

- <https://indico.cern.ch/event/1117526/contributions/4978255/>
- https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1433_CD/datasets/presentations/AP-IA-12.pdf
- https://www.cockcroft.ac.uk/wp-content/uploads/2016/07/Applications_1.pdf