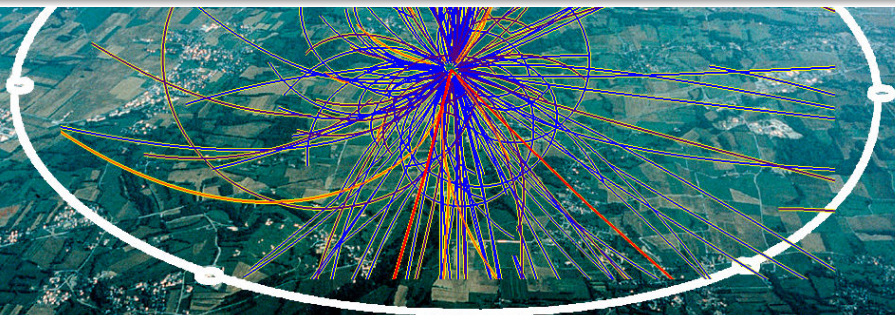


Świat okiem fizyka cząstek (2)

Akceleratory wokół nas

Aleksander Filip Żarnecki

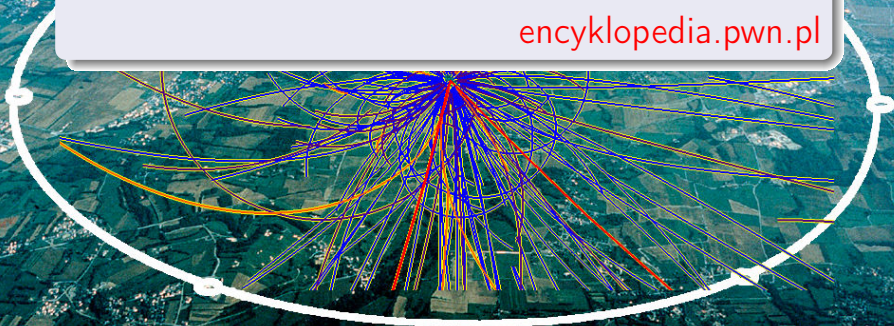
Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych IFD



Akcelerator cząstek naładowanych

Urządzenie do przyspieszania naładowanych mikrocząstek, czyli do nadawania im wielkich energii kinetycznych.

encyklopedia.pwn.pl





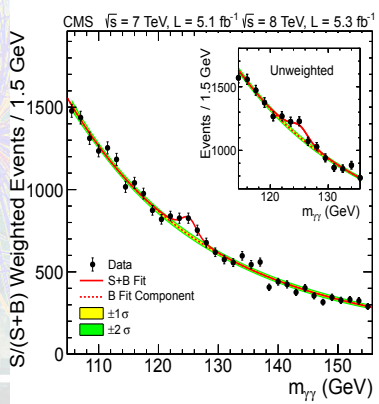
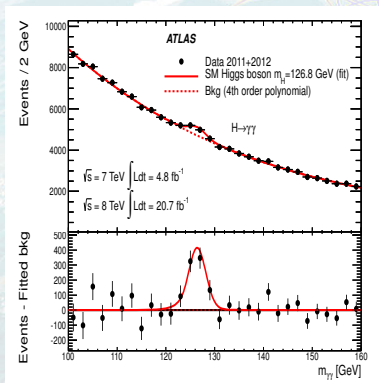
Odkrycie bozonu Higgsa w LHC

Run I 2009-2012

Wyniki przedstawione przez współpracę **ATLAS** i **CMS**.

Signal widoczny ponad wszelką wątpliwość

$$H \rightarrow \gamma\gamma$$



CERN pod Genewą

Największy na świecie akcelerator cząstek - obwód ok. 27 km.

Przyspiesza protony do energii

$$E_k = 7 \text{ TeV} = 7\,000\,000\,000\,000 \text{ eV}$$

Największy (jedyny ?) sukces:

odkrycie bozonu Higgosa w roku 2012
(Nagroda Nobla 2013)



CERN pod Genewą

Największy na świecie akcelerator cząstek - obwód ok. 27 km.

Przyspiesza protony do energii

$$E_k = 7 \text{ TeV} = 7\,000\,000\,000\,000 \text{ eV}$$

Największy (jedyny ?) sukces:

odkrycie bozonu Higgosa w roku 2012
(Nagroda Nobla 2013)

Projekt zatwierdzony w roku 1994.
Budowa trwała 15 lat i pochłonęła
około 6.5 mld CHF.

Czy to dobra inwestycja?



- 1 Wprowadzenie
- 2 Historia
- 3 Akceleratory w nauce
- 4 Akceleratory w medycynie
- 5 Akceleratory w przemyśle
- 6 Inne zastosowania
- 7 Podsumowanie

1 Wprowadzenie

2 Historia

3 Akceleratory w nauce

4 Akceleratory w medycynie

5 Akceleratory w przemyśle

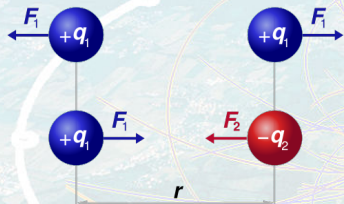
6 Inne zastosowania

7 Podsumowanie

Wprowadzenie

Pole elektryczne

Prawo Coulomba
siła oddziaływania między
punktowymi ładunkami:

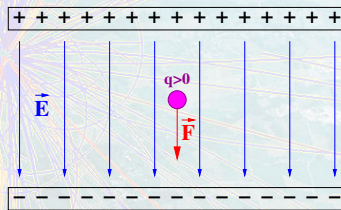


$$F_1 = F_2 = k_c \frac{q_1 \times q_2}{r^2}$$

gdzie: $k_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$

Jeśli wytworzymy odpowiedni układ ładunków, możemy wpływać na ruch cząstki naładowanej.

Wygodnie jest wprowadzić pojęcie "pola elektrycznego" \vec{E} :

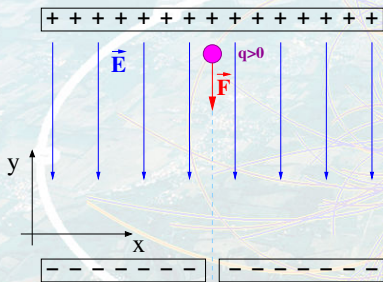


Siła działająca na cząstkę:

$$\vec{F} = \vec{E} \cdot q$$

Pole elektryczne

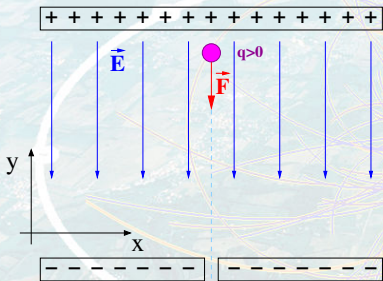
Początkowo nieruchomy ładunek
"spada" w polu elektrycznym:



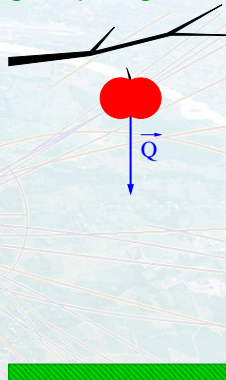
Ładunek porusza się ruchem przyspieszonym. Rozpędza się!
Uzyskuje energię kinetyczną, kosztem energii pola elektrycznego...

Pole elektryczne

Początkowo nieruchomy ładunek “spada” w polu elektrycznym:



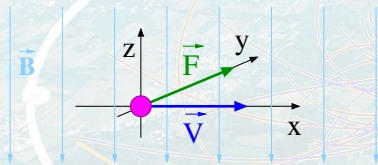
Sytuacja analogiczna do spadku swobodnego w polu grawitacyjnym



Ładunek porusza się ruchem przyspieszonym. Rozpędza się!
Uzyskuje energię kinetyczną, kosztem energii pola elektrycznego...

Pole magnetyczne

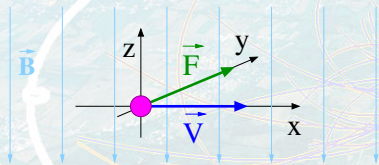
Wytwarzane między biegunami magnesów lub elektromagnesów



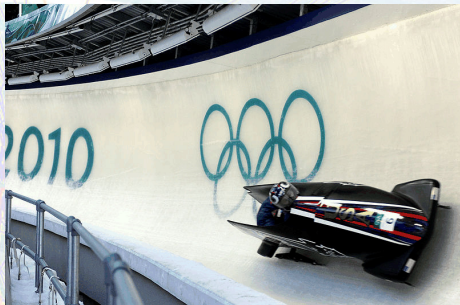
Na poruszający się ładunek działa tzw. siła Lorentza
Jest to “dziwna” siła: działa prostopadle do kierunku pola i kierunku ruchu.
⇒ nie zmienia prędkości (energii) cząstki, a jedynie kierunek jej ruchu!

Pole magnetyczne

Wytwarzane między biegunami magnesów lub elektromagnesów



To tak jak tor lodowy działa na pędzący bobslej:



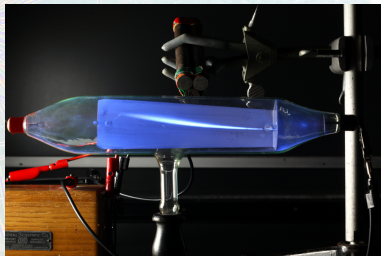
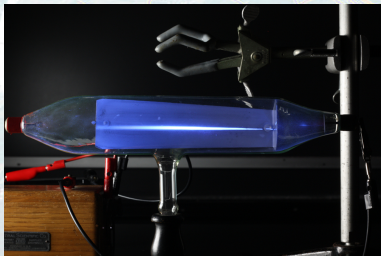
Na poruszający się ładunek działa tzw. siła Lorentza
Jest to “dziwna” siła: działa prostopadle do kierunku pola i kierunku ruchu.
⇒ nie zmienia prędkości (energii) cząstki, a jedynie kierunek jej ruchu!

Rura Crookesa - pokaz

Elektrony uwalniane z katody są przyspieszane w polu elektrycznym. Przez wąską szczelinę kierowane są na ekran luminescencyjny.

Przy braku pola w tym obszarze poruszają się po linii prostej.

Pole magnetyczne powoduje zakrzywienie ich biegu.



1 Wprowadzenie

2 Historia

3 Akceleratory w nauce

4 Akceleratory w medycynie

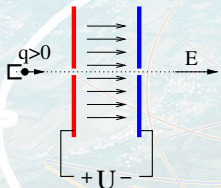
5 Akceleratory w przemyśle

6 Inne zastosowania

7 Podsumowanie

Akceleratory elektrostatyczne

Już w 1919 roku E. Rutherford wskazał na potencjalne korzyści z przyspieszania cząstek. Cząstki naładowane i jądra atomowe można łatwo przyspieszać w polu elektrycznym wytworzonym przez **przyłożone napięcie**.



$$E = U \cdot q$$

$$1 \text{ eV} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ e}$$

Im wyższe napięcie tym większa energia końcowa uzyskana przez przyspieszaną cząstkę.

Problemem jest uzyskanie odpowiednio wysokich napięć przyspieszających:

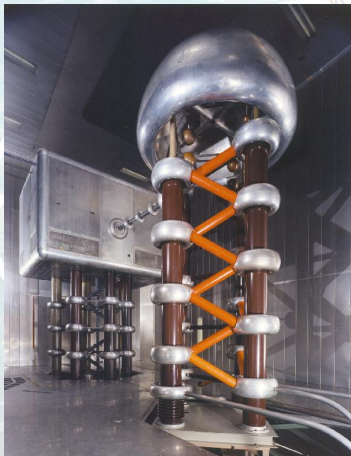
⇒ generator **Van de Graaffa** (1929): 1.5 MV

⇒ generator **Cockrofta-Waltona** (1932): 750 kV

W pewnych dziedzinach wciąż używane...

Generator Cockrofta-Waltona

Źródło jonów H^- w CERN



Generator Van de Graaffa

Element układu akceleratora AGS
Brookhaven National Laboratory (USA)

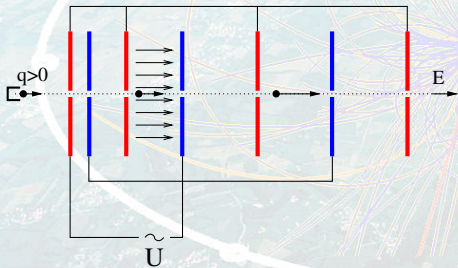


Akceleratory liniowe

Aby uzyskać wyższe energie musimy zestawić układ składający się z wielu elementów przyspieszających.

Idea: **Gustav Ising 1924.**

Pierwsze urządzenia: **Rolf Wideroe 1927**, Ernest Lawrence 1931.



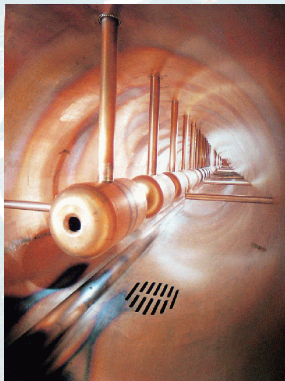
Przy odpowiednim doborze długości kolejnych elementów i częstości napięcia zasilającego, cząstka trafia zawsze na pole przyspieszające.

⇒ zwiokrotnienie uzyskiwanych energii

Akceleratory liniowe

Akceleratory liniowe do wstępnego przyspieszania protonów

Fermilab, USA



CERN, Genewa



Cyklotron

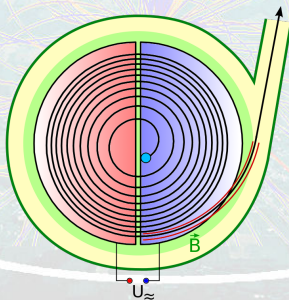
Zamiast używać elementów przyspieszających możemy wykorzystać pole magnetyczne do “zapętlenia” cząstki.

Cząstka przechodzi przez ten sam obszar pola elektrycznego wiele razy...

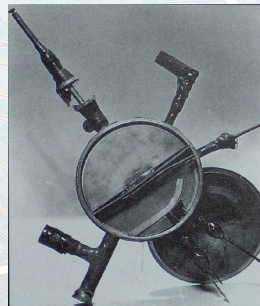
Pierwszy tego typu akcelerator zbudował w 1931 roku Ernest Lawrence.



A.F. Żarnecki



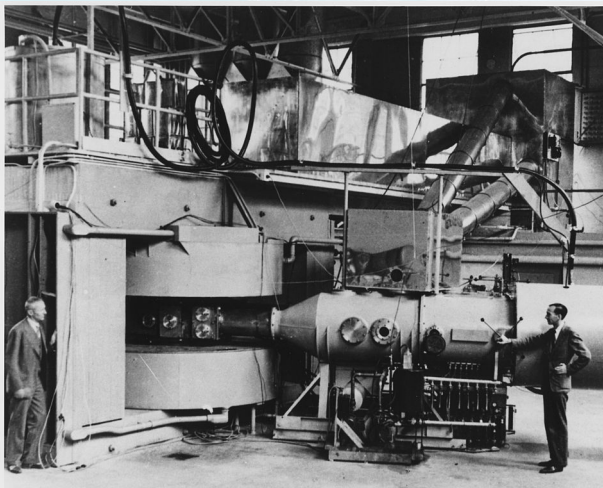
Cząstki i ich oddziaływanie



Cyklotron

W ciągu kilku lat cyklotron stał się potężnym narzędziem badawczym.

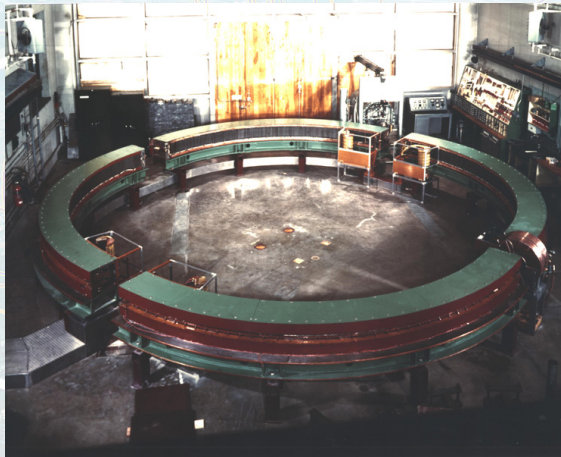
Berkeley 1939
średnica 1.5 m



Największy cyklotron z pojedynczym magnesem miał 4.6 m średnicy.

Synchrotron

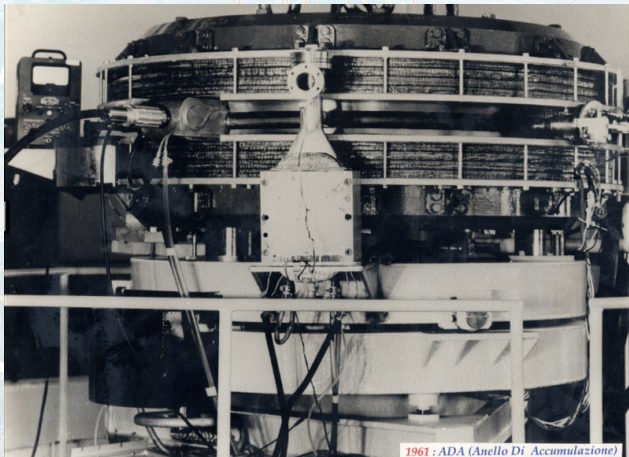
Kolejnym przełomem było wynalezienie synchrotronu (1955):
elektromagnesy utrzymują przyspieszane cząstki na stałej orbicie.



Zderzacze cząstek (kolajdery)

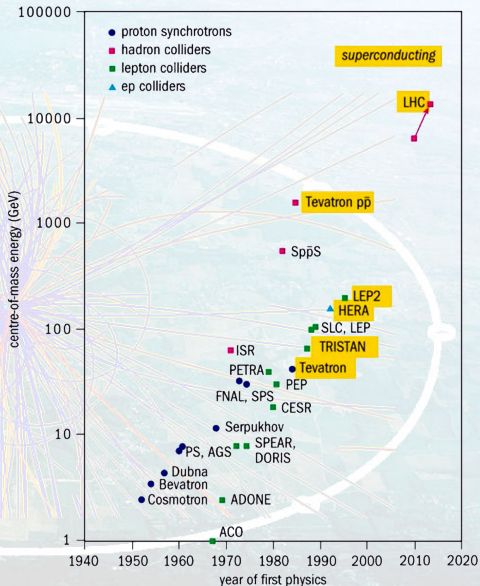
Energję możemy zwielokrotnić zderzając dwie wiązki przeciwbieżne.

Pierwszy zderzacz e^+e^- AdA zbudowany we Frascati (Włochy) w 1961.



W drugiej połowie XX w. budowaliśmy akceleratory uzyskujące coraz wyższe energie.

Dlaczego?

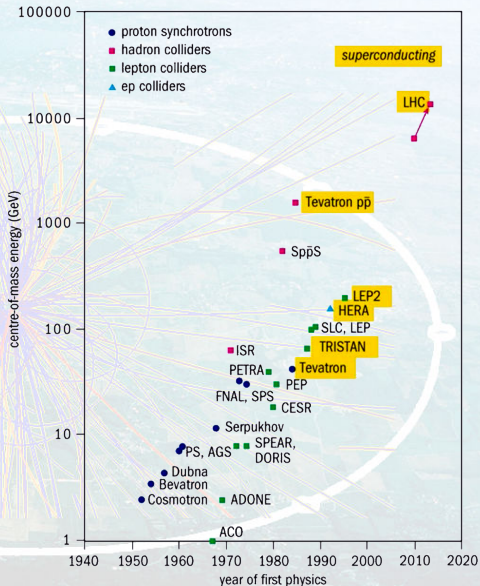


W drugiej połowie XX w. budowaliśmy akceleratory uzyskujące coraz wyższe energie.

Dlaczego?

Żeby móc produkować nowe, cięższe cząstki. Niezbędna energia

$$E = mc^2$$



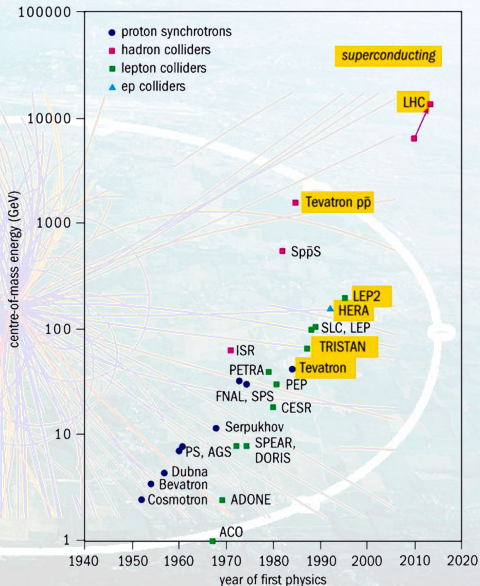
W drugiej połowie XX w. budowaliśmy akceleratory uzyskujące coraz wyższe energie.

Dlaczego?

Żeby móc produkować nowe, cięższe cząstki. Niezbędna energia

$$E = mc^2$$

Im wyższa energia, tym większy musi być akcelerator...



Tunel akceleratora LHC

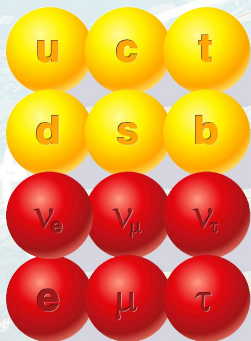


- 1 Wprowadzenie
- 2 Historia
- 3 Akceleratory w nauce**
- 4 Akceleratory w medycynie
- 5 Akceleratory w przemyśle
- 6 Inne zastosowania
- 7 Podsumowanie

Fizyka cząstek

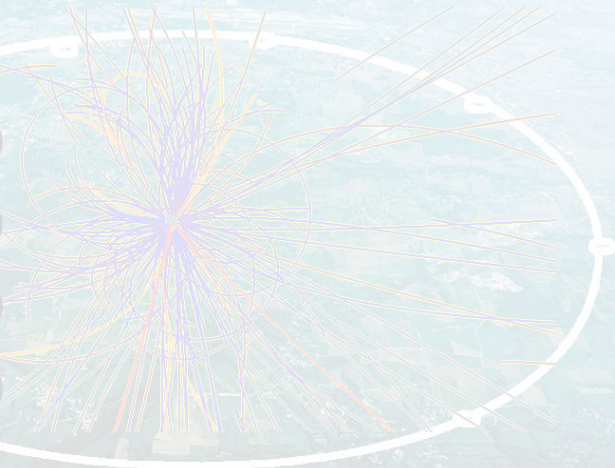
Akceleratory były podstawowym narzędziem badań przez ostatnie pół wieku

Model Standardowy



● Quarks

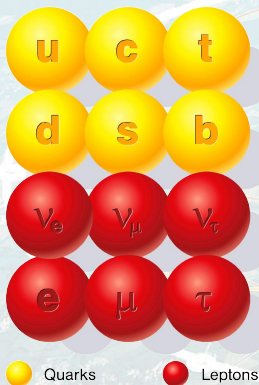
● Leptons



Fizyka cząstek

Akceleratory były podstawowym narzędziem badań przez ostatnie pół wieku

Model Standardowy



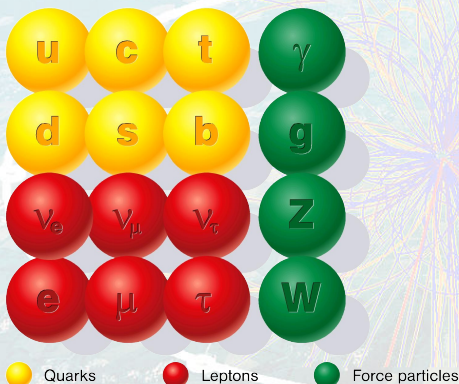
Odkrycia kolejnych "cegiełek":

- 1962 - neutrino mionowe ν_μ
- 1974 - kwark c
- 1975 - lepton τ
- 1977 - kwark b
- 1995 - kwark t
- 2000 - neutrino taonowe ν_τ

Fizyka cząstek

Akceleratory były podstawowym narzędziem badań przez ostatnie pół wieku

Model Standardowy



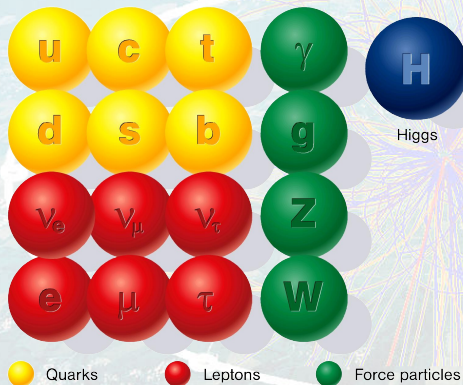
Odkrycia kolejnych "cegiełek":

- 1962 - neutrino mionowe ν_{μ}
- 1974 - kwark c
- 1975 - lepton τ
- 1977 - kwark b
- 1995 - kwark t
- 2000 - neutrino taonowe ν_{τ}
- 1979 - gluon g
- 1983 - bozony W^{\pm} i Z^0

Fizyka cząstek

Akceleratory były podstawowym narzędziem badań przez ostatnie pół wieku

Model Standardowy



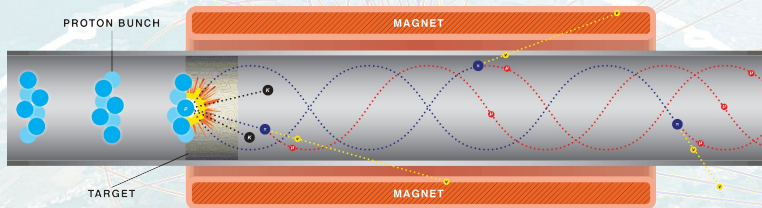
Odkrycia kolejnych “cegiełek”:

- 1962 - neutrino mionowe ν_μ
- 1974 - kwark c
- 1975 - lepton τ
- 1977 - kwark b
- 1995 - kwark t
- 2000 - neutrino taonowe ν_τ
- 1979 - gluon g
- 1983 - bozony W^\pm i Z^0
- 2012 - bozon Higgsa

Wiązki wtórne

W akceleratorach możemy tylko przyspieszać stabilne cząstki naładowane (elektrony, pozytony, protony, antyprotony) i jony.

Ale możemy je potem wykorzystać do produkcji wiązek wtórnych:

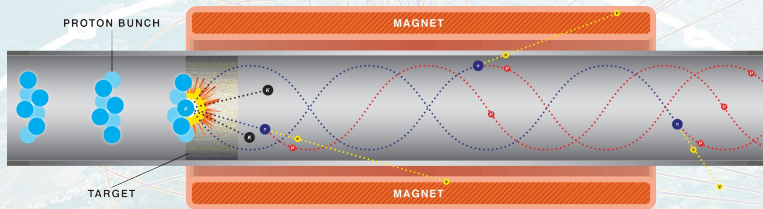


- cząstki naładowane: miony (μ^\pm), piony (π^\pm), kaony (K^\pm)
- neutrina

Wiązki wtórne

W akceleratorach możemy tylko przyspieszać stabilne cząstki naładowane (elektrony, pozytony, protony, antyprotony) i jony.

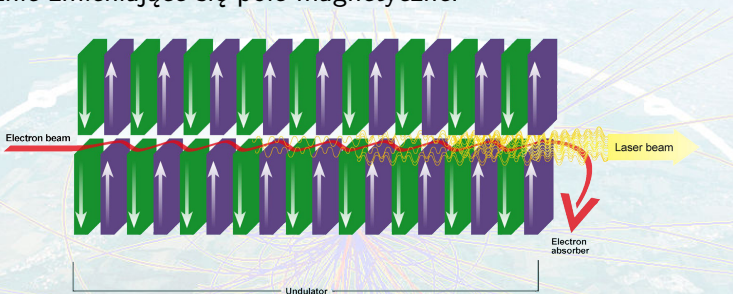
Ale możemy je potem wykorzystać do produkcji wiązek wtórnych:



- cząstki naładowane: miony (μ^\pm), piony (π^\pm), kaony (K^\pm)
- neutrina
- neutrony
- promieniowanie gamma

Laser na swobodnych elektronach - FEL

Intensywna, silnie skolimowana wiązka elektronów przechodzi przez periodycznie zmieniające się pole magnetyczne.



W odpowiednich warunkach może nastąpić emisja wiązki laserowej **promieniowania rentgenowskiego**:

- monochromatycznej,
- niezwykle intensywnej,
- w postaci bardzo krótkich impulsów.

Laser na swobodnych elektronach - FEL

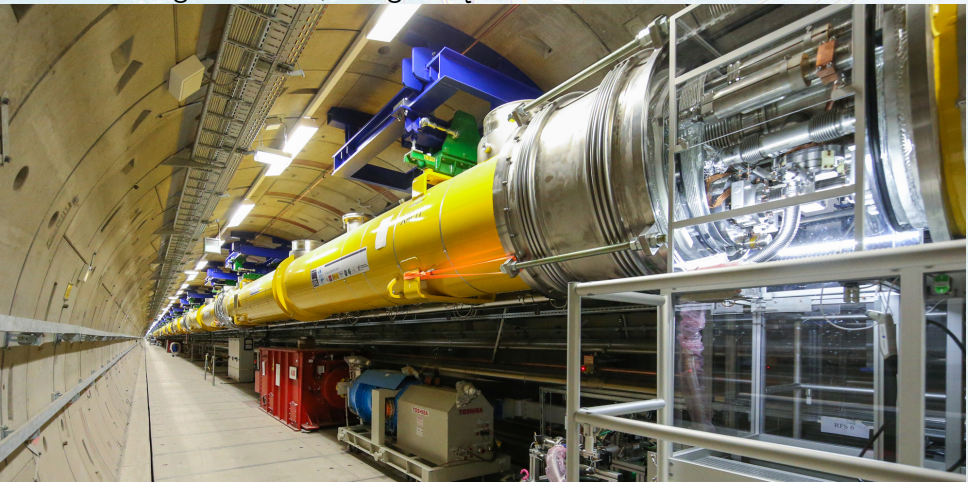
Nowe możliwości badawcze w wielu dziedzinach: biologii, medycynie, farmacji, chemii, fizyce materiałów, nanotechnologii, energetyce, elektronice, fotonice, ochronie środowiska.

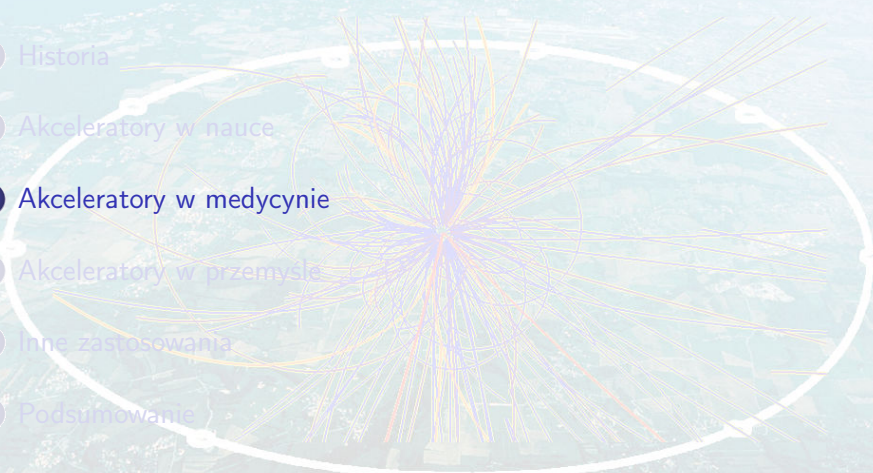


Temat na osobny wykład...

Laser na swobodnych elektronach - FEL

Akcelerator w Hamburgu budowany przez międzynarodowe konsorcjum X-FEL : długość 3.4 km, energia wiązki e^- do 17.5 GeV $\Rightarrow \lambda = 0.05$ nm.



- 1 Wprowadzenie
 - 2 Historia
 - 3 Akceleratory w nauce
 - 4 Akceleratory w medycynie**
 - 5 Akceleratory w przemyśle
 - 6 Inne zastosowania
 - 7 Podsumowanie
- 

Radioterapia

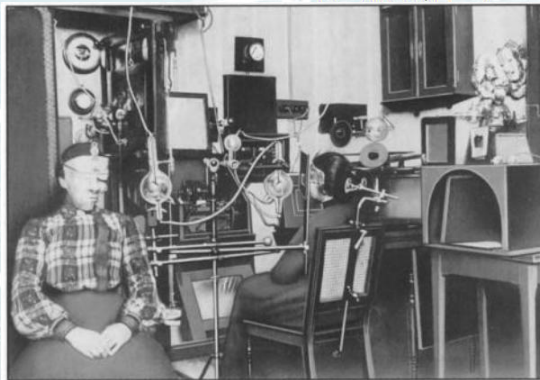
- 1895: odkrycie **promieni X** przez Wilhelma Röntgena
- 1895: pierwsza próba wykorzystania terapeutycznego (Chicago)
- 1899: pierwszy wyleczony pacjent (rak skóry; Szwecja)



Basal cell carcinoma przed terapią (A) i po 30 latach (B).

Radioterapia

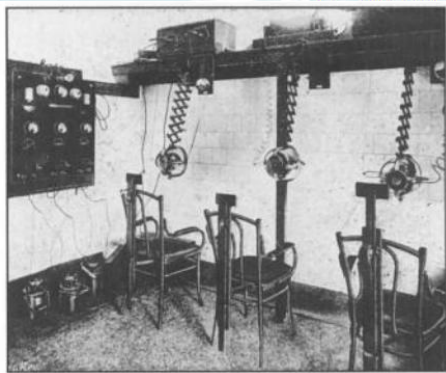
- 1895: odkrycie **promieni X** przez Wilhelma Röntgena
- 1895: pierwsza próba wykorzystania terapeutycznego (Chicago)
- 1899: pierwszy wyleczony pacjent (rak skóry; Szwecja)



Pokój do terapii promieniami X w Monachium (1900-1904).

Radioterapia

- 1895: odkrycie **promieni X** przez Wilhelma Röntgena
- 1895: pierwsza próba wykorzystania terapeutycznego (Chicago)
- 1899: pierwszy wyleczony pacjent (rak skóry; Szwecja)



Pokój radioterapii w Londynie (1905).

Radioterapia

- 1895: odkrycie **promieni X** przez Wilhelma Röntgena
- 1895: pierwsza próba wykorzystania terapeutycznego (Chicago)
- 1899: pierwszy wyleczony pacjent (rak skóry; Szwecja)
- 1896: odkrycie **promieniotwórczości naturalnej** przez Henri Becquerela
- 1898: odkrycie radu przez Marię Skłodowską-Curie i Pierra Curie
- 1901: pierwsze wykorzystanie terapeutyczne radu (Paryż)

Radioterapia

- 1895: odkrycie **promieni X** przez Wilhelma Röntgena
- 1895: pierwsza próba wykorzystania terapeutycznego (Chicago)
- 1899: pierwszy wyleczony pacjent (rak skóry; Szwecja)
- 1896: odkrycie **promieniotwórczości naturalnej** przez Henri Becquerela
- 1898: odkrycie radu przez Marię Skłodowską-Curie i Pierra Curie
- 1901: pierwsze wykorzystanie terapeutyczne radu (Paryż)
- 1906: pierwszy dedykowany instytut badawczy (Heidelberg)
- 1913: nowa, wydajniejsza konstrukcja lampy rentgenowskiej (USA)
- 1920: komercyjna produkcja aparatów do naświetlań (Niemcy)

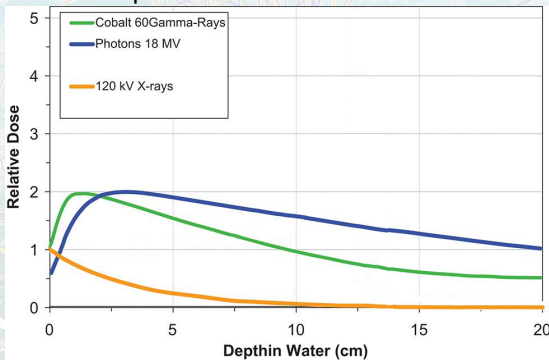
Radioterapia

- 1895: odkrycie **promieni X** przez Wilhelma Röntgena
- 1895: pierwsza próba wykorzystania terapeutycznego (Chicago)
- 1899: pierwszy wyleczony pacjent (rak skóry; Szwecja)
- 1896: odkrycie **promieniotwórczości naturalnej** przez Henri Becquerela
- 1898: odkrycie radu przez Marię Skłodowską-Curie i Pierra Curie
- 1901: pierwsze wykorzystanie terapeutyczne radu (Paryż)
- 1906: pierwszy dedykowany instytut badawczy (Heidelberg)
- 1913: nowa, wydajniejsza konstrukcja lampy rentgenowskiej (USA)
- 1920: komercyjna produkcja aparatów do naświetlań (Niemcy)
- 1951: pierwsze urządzenie ze źródłem kobaltu (Kanada)

Problem energii

Lampy rentgenowskie dostarczają promieniowania o energii 50-160 keV.
Promieniowanie gamma emitowane przez ^{60}Co ma około 1 250 keV.

- ⇒ dużo większa penetracja
- ⇒ mniejsza dawka powierzchniowa

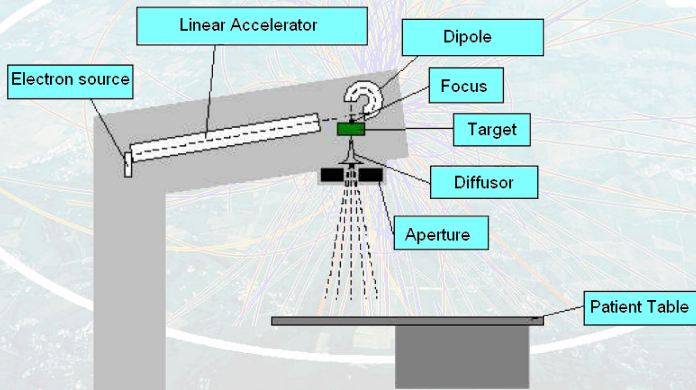


Optymalna byłaby wiązka o energii powyżej 10 MeV (10 000 keV).

Radioterapia

Radioterapia jest stosowana w prawie połowie przypadków nowotworów. Głównym narzędziem są **akceleratory elektronowe** o energii 8 do 30 MeV.

Energia uzyskiwana z klasycznych lamp rentgenowskich jest zbyt mała. Elektrony hamowane w tarczy produkują promieniowanie γ :



Radioterapia

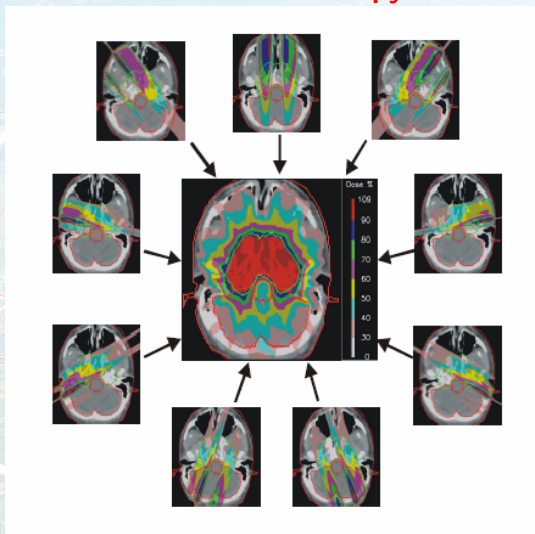
Radioterapia jest stosowana w prawie połowie przypadków nowotworów. Głównym narzędziem są **akceleratory elektronowe** o energii 8 do 30 MeV.

Energia uzyskiwana z klasycznych lamp rentgenowskich jest zbyt mała.

Nowoczesne urządzenie zintegrowane z CT (Varian Medical Systems):



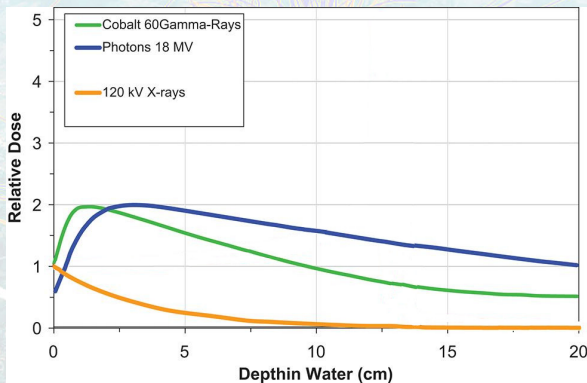
Intensity Modulated Radiation Therapy



Problemy radioterapii e/γ :

- nowotwory radio-oporne (ok. 5% przypadków)
- szeroki rozkład przestrzenny dostarczonej dawki
⇒ silne naświetlanie także zdrowych tkanek

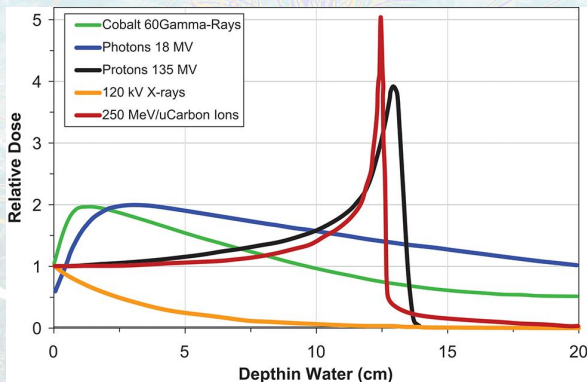
Głębokość na jakiej pochłaniane jest promieniowanie:



Problemy radioterapii e/γ :

- nowotwory radio-oporne (ok. 5% przypadków)
- szeroki rozkład przestrzenny dostarczonej dawki
⇒ silne naświetlanie także zdrowych tkanek

Głębokość na jakiej pochłanianie jest promieniowanie:

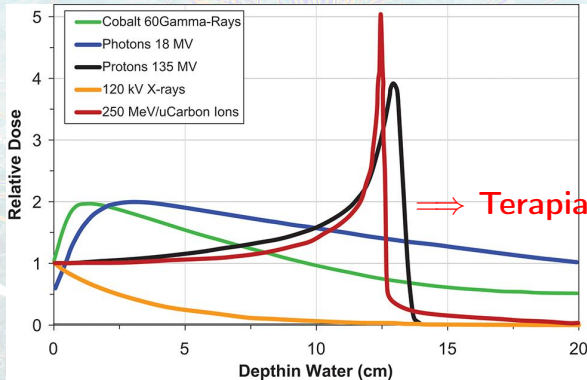


Akceleratory w medycynie

Problemy radioterapii e/γ :

- nowotwory radio-oporne (ok. 5% przypadków)
- szeroki rozkład przestrzenny dostarczonej dawki
⇒ silne naświetlanie także zdrowych tkanek

Głębokość na jakiej pochłaniane jest promieniowanie:



⇒ **Terapia hadronowa**

Terapia hadronowa

- 1931: pierwszy cyklotron (Ernest Lawrence)
- 1935: pierwsze próby zastosowania medycznego
 - produkcja radio-izotopów
 - terapeutyczne naświetlanie neutronami



Terapia hadronowa

- 1931: pierwszy cyklotron (Ernest Lawrence)
- 1935: pierwsze próby zastosowania medycznego
 - produkcja radio-izotopów
 - terapeutyczne naświetlanie neutronami
- 1946: propozycja wykorzystania wiązek protonów i jonów (R.Wilson)
- 1954: pierwszy przypadek terapii z użyciem protonów (Berkeley, USA)
 - 1957: próby terapii jonami helu
 - 1975: próby terapii jonami argonu i neonu

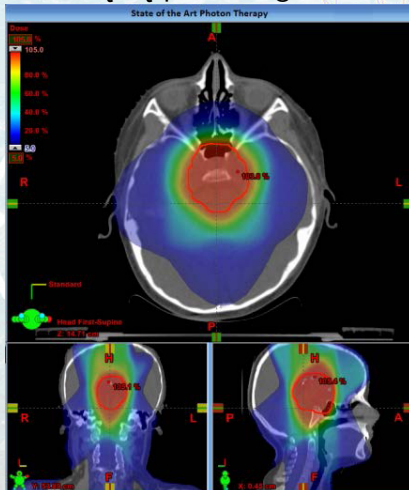
Terapia hadronowa

- 1931: pierwszy cyklotron (Ernest Lawrence)
- 1935: pierwsze próby zastosowania medycznego
 - produkcja radio-izotopów
 - terapeutyczne naświetlanie neutronami
- 1946: propozycja wykorzystania wiązek protonów i jonów (R.Wilson)
- 1954: pierwszy przypadek terapii z użyciem protonów (Berkeley, USA)
 - 1957: próby terapii jonami helu
 - 1975: próby terapii jonami argonu i neonu
- 1994: pierwszy ośrodek terapii jonami węgla (Japonia)

Terapia hadronowa

Rozkład dawki przy optymalnym naświetlaniu (guz przysadki)

wiązką promieni gamma

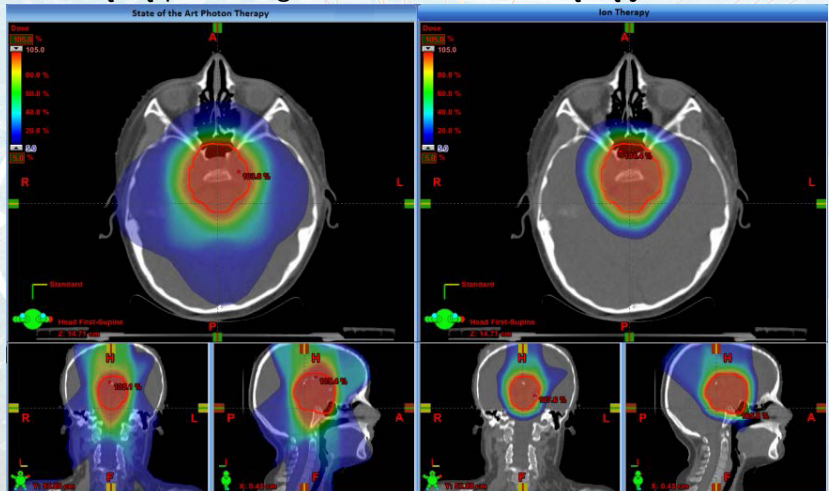


Terapia hadronowa

Rozkład dawki przy optymalnym naświetlaniu (guz przysadki)

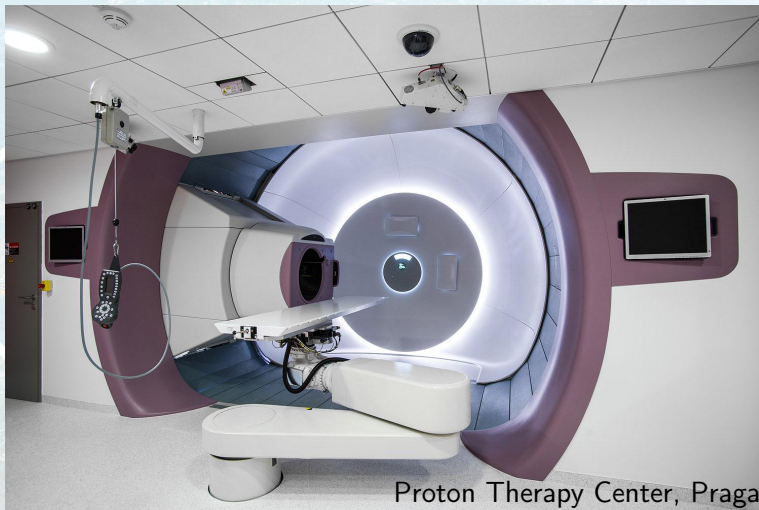
wiązką promieni gamma

i wiązką jonów



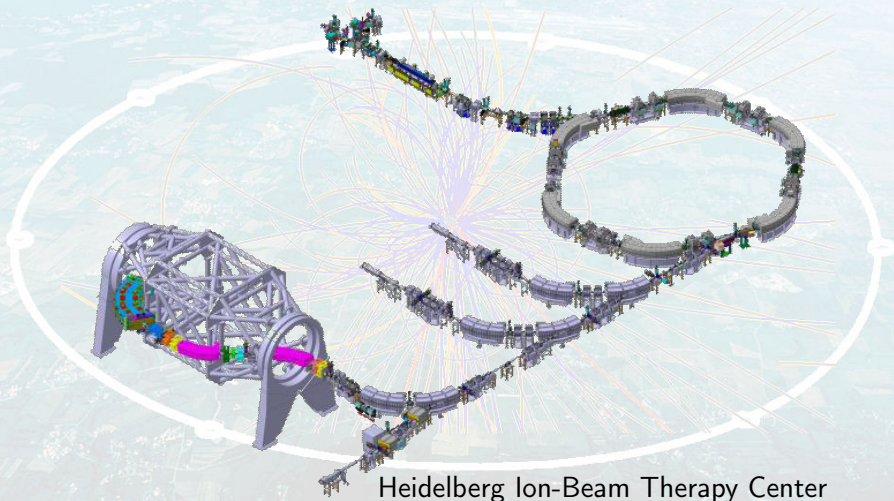
Terapia hadronowa

Z punktu widzenia pacjenta bardzo podobne do standardowej radioterapii



Terapia hadronowa

Wiązka hadronowa dostarczana przez zewnętrzny kompleks akceleratorów



Terapia hadronowa

Gantry: ruchomy układ magnesów doprowadzających wiązkę umożliwia ustawienie dowolnego kąta naświetlania (obrót o 360°)



Heidelberg Ion-Beam Therapy Center

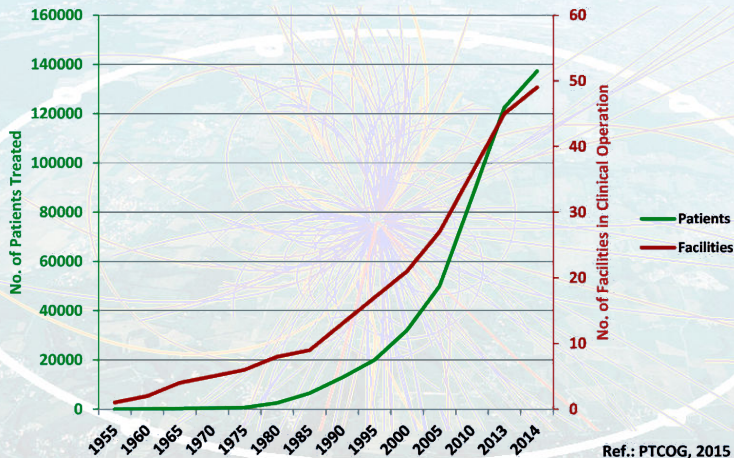
Terapia hadronowa

Synchrotron w ośrodku MedAustron, Austria

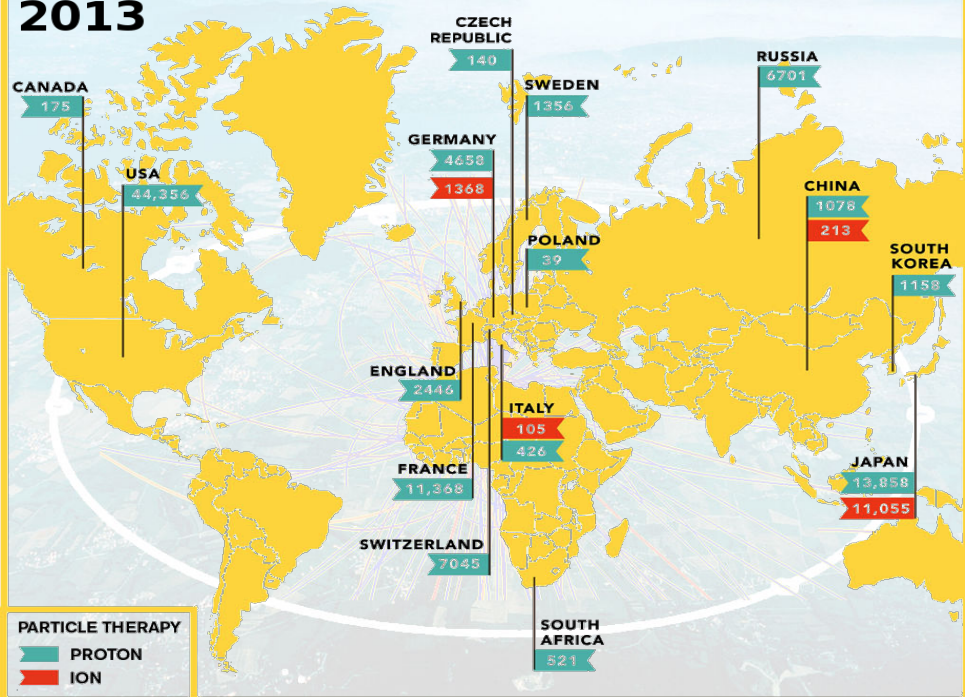


Terapia hadronowa

Liczba ośrodków oferujących terapię protonową lub jonową szybko rośnie



2013



Terapia hadronowa w Polsce

Narodowe Centrum Radioterapii Hadronowej

Centrum Cyklotronowe Bronowice (IFJ PAN, Kraków)



Terapia hadronowa w Polsce

Narodowe Centrum Radioterapii Hadronowej

Centrum Cyklotronowe Bronowice (IFJ PAN, Kraków)



Terapia hadronowa w Polsce

Narodowe Centrum Radioterapii Hadronowej
Centrum Cyklotronowe Bronowice (IFJ PAN, Kraków)

Wybudowany za 400 mln. zł ośrodek ponad rok stał pusty!
Dopiero w listopadzie 2016 przyjęto pierwszego pacjenta.

Ośrodek mógłby przyjmować 250 pacjentów rocznie (docelowo 700).
NFZ przyznał w 2016 roku środki na leczenie... 13 pacjentów.

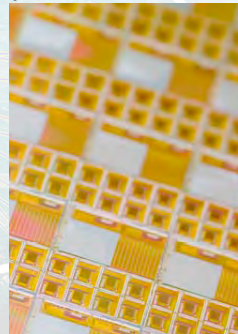
Jednocześnie NFZ wciąż płaci za terapie prowadzone w Niemczech i Czechach...

- 1 Wprowadzenie
 - 2 Historia
 - 3 Akceleratory w nauce
 - 4 Akceleratory w medycynie
 - 5 Akceleratory w przemyśle**
 - 6 Inne zastosowania
 - 7 Podsumowanie
- 

Implantacja jonów

Akceleratory pozwalają precyzyjnie umieszczać pojedyncze atomy (“domieszki”) w różnych materiałach, modyfikując ich właściwości mechaniczne, elektryczne i optyczne.

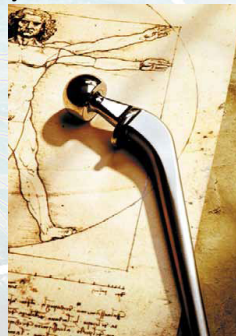
- Półprzewodniki
 - Podstawowa metoda produkcji układów scalonych (typowo ok. 25 etapów implantacji domieszek)
 - Produkcja sensorów CCD i CMOS dla kamer cyfrowych



Implantacja jonów

Akceleratory pozwalają precyzyjnie umieszczać pojedyncze atomy (“domieszki”) w różnych materiałach, modyfikując ich właściwości mechaniczne, elektryczne i optyczne.

- Półprzewodniki
 - Podstawowa metoda produkcji układów scalonych (typowo ok. 25 etapów implantacji domieszek)
 - Produkcja sensorów CCD i CMOS dla kamer cyfrowych
- Metale
 - Materiały o większej twardości (ostrza)
 - Zmiana struktury powierzchni (mniejsze tarcie)
 - Materiały do zastosowań medycznych



Implantacja jonów

Akceleratory pozwalają precyzyjnie umieszczać pojedyncze atomy (“domieszki”) w różnych materiałach, modyfikując ich właściwości mechaniczne, elektryczne i optyczne.

- Półprzewodniki
 - Podstawowa metoda produkcji układów scalonych (typowo ok. 25 etapów implantacji domieszek)
 - Produkcja sensorów CCD i CMOS dla kamer cyfrowych
- Metale
 - Materiały o większej twardości (ostrza)
 - Zmiana struktury powierzchni (mniejsze tarcie)
 - Materiały do zastosowań medycznych
- Ceramika
 - Zwiększanie twardości powierzchni
 - Zmiana własności optycznych
 - Koloryzowanie kamieni szlachetnych



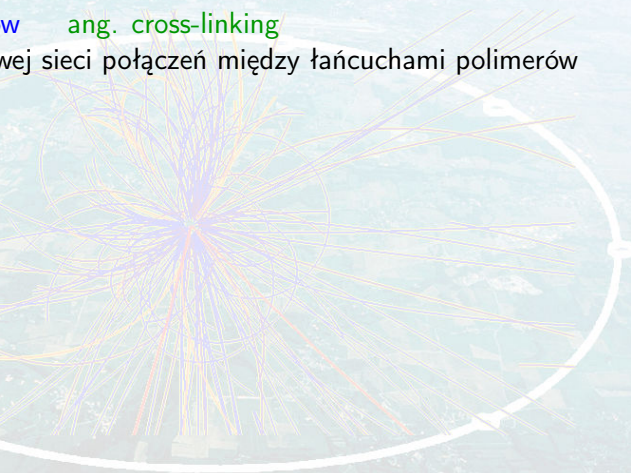
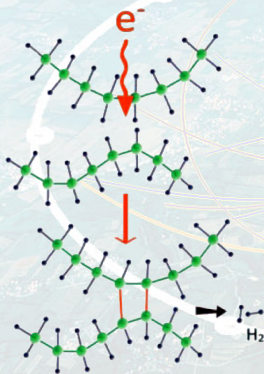
Akceleratory w przemyśle

Naświetlanie wiązką elektronów

Wiązka elektronów może pełnić rolę katalizatora wielu reakcji chemicznych.

“Sieciovanie” polimerów ang. cross-linking

tworzenie trójwymiarowej sieci połączeń między łańcuchami polimerów

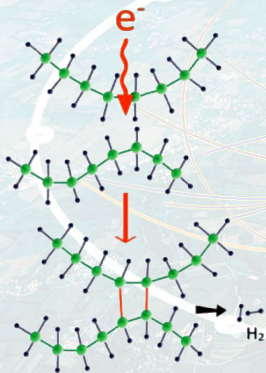


Naświetlanie wiązką elektronów

Wiązka elektronów może pełnić rolę katalizatora wielu reakcji chemicznych.

“Sieciovanie” polimerów ang. cross-linking

tworzenie trójwymiarowej sieci połączeń między łańcuchami polimerów

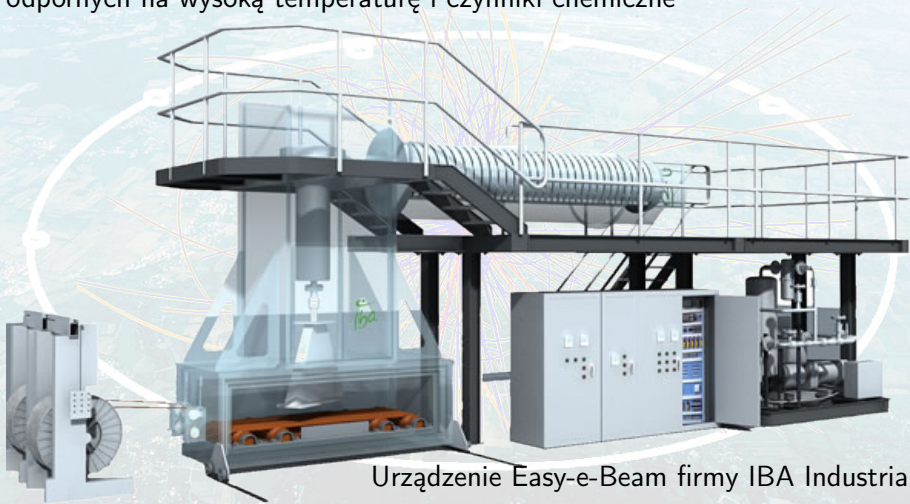


Możemy uzyskać nowe materiały o specjalnych właściwościach

- większa wytrzymałość
- większa elastyczność
- odporność na temperaturę
- odporność na rozrywanie
- termokurczliwość

Naświetlanie wiązką elektronów

Najszerzej wykorzystywane w produkcji kabli i rur odpornych na wysoką temperaturę i czynniki chemiczne



Urządzenie Easy-e-Beam firmy IBA Industrial

Naświetlanie wiązką elektronów

Wykorzystywane też w:

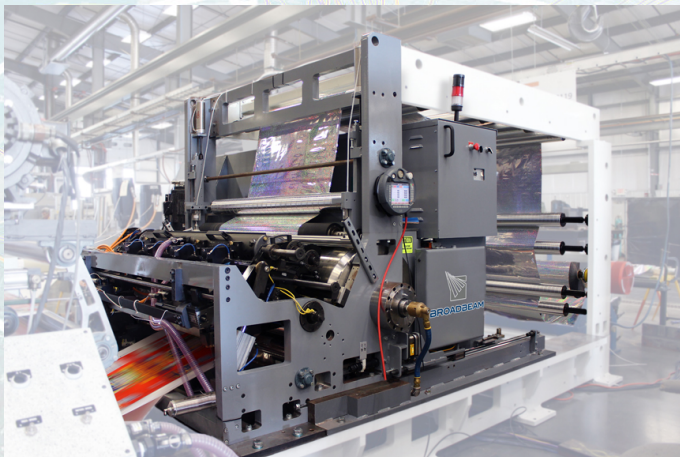
- produkcji termokurczliwych folii do opakowań,



Naświetlanie wiązką elektronów

Wykorzystywane też w:

- produkcji termokurczliwych folii do opakowań,
- ekologicznym drukowaniu, lakierowaniu (bez rozpuszczalników),



Naświetlanie wiązką elektronów Wykorzystywane też w:

- produkcji termokurczliwych folii do opakowań,
- ekologicznym drukowaniu, lakierowaniu (bez rozpuszczalników),
- produkcji opon (zwiększona przyczepność i wytrzymałość),



Naświetlanie wiązką elektronów

Wykorzystywane też w:

- produkcji termokurczliwych folii do opakowań,
- ekologicznym drukowaniu, lakierowaniu (bez rozpuszczalników),
- produkcji opon (zwiększona przyczepność i wytrzymałość),
- sterylizacji radiologicznej (sprzęt i materiały medyczne, kosmetyki),



Naświetlanie wiązką elektronów

Wykorzystywane też w:

- produkcji termokurczliwych folii do opakowań,
- ekologicznym drukowaniu, lakierowaniu (bez rozpuszczalników),
- produkcji opon (zwiększona przyczepność i wytrzymałość),
- sterylizacji radiologicznej (sprzęt i materiały medyczne, kosmetyki),
- przetwórstwie owocowo-warzywnym (zabijanie owadów, pasożytów),



Naświetlanie wiązką elektronów

Wykorzystywane też w:

- produkcji termokurczliwych folii do opakowań,
- ekologicznym drukowaniu, lakierowaniu (bez rozpuszczalników),
- produkcji opon (zwiększona przyczepność i wytrzymałość),
- sterylizacji radiologicznej (sprzęt i materiały medyczne, kosmetyki),
- przetwórstwie owocowo-warzywnym (zabijanie owadów, pasożytów),
- konserwacji żywności (ziarno, mięsa, ziół i przypraw).



Naświetlanie wiązką elektronów Wykorzystywane też w:

- produkcji termokurczliwych folii do opakowań,
- ekologicznym drukowaniu, lakierowaniu (bez rozpuszczalników),
- produkcji opon (zwiększona przyczepność i wytrzymałość),
- sterylizacji radiologicznej (sprzęt i materiały medyczne, kosmetyki),
- przetwórstwie owocowo-warzywnym (zabijanie owadów, pasożytów),
- konserwacji żywności (ziarno, mięsa, ziół i przypraw).



1 Wprowadzenie

2 Historia

3 Akceleratory w nauce

4 Akceleratory w medycynie

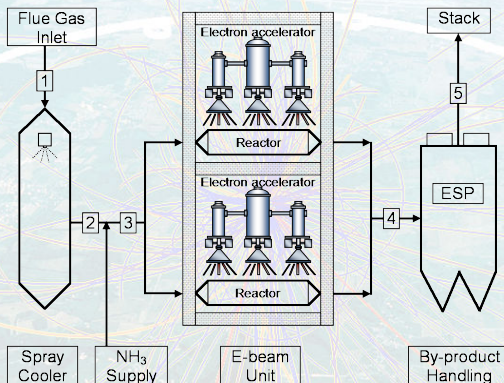
5 Akceleratory w przemyśle

6 Inne zastosowania

7 Podsumowanie

Redukcja emisji zanieczyszczeń

Schemat instalacji do redukcji zawartości tlenków azotu i siarki w spalinach elektrowni węglowych:



Rozwiązanie tańsze od wielu metod "tradycyjnych"

Eliminacja do 95% tlenków siarki i 75% azotu ⇒ produkcja nawozów

Badania niedestrukcyjne

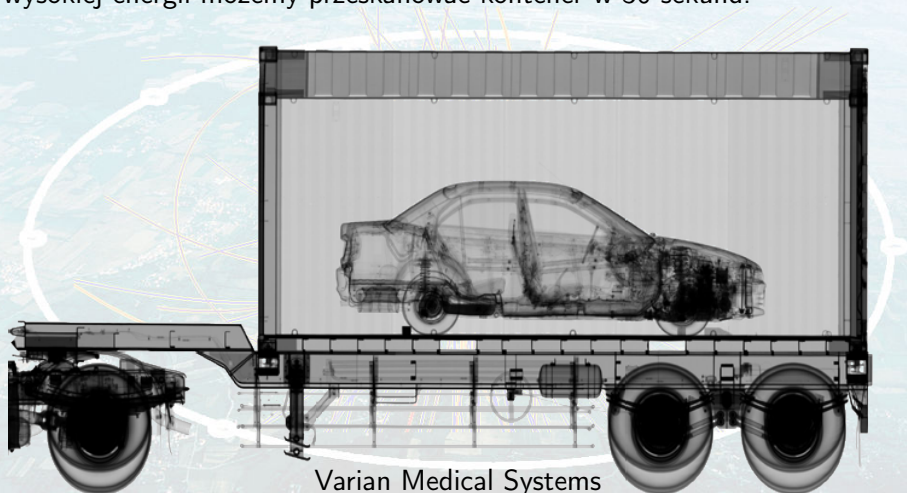
Indukowana wiązka protonów lub jonów emisja promieniowania X pozwala na bardzo precyzyjne określenie składu chemicznego



Badanie obrazu "Portret mężczyzny" Antonello da Messina (INFN, Włochy)

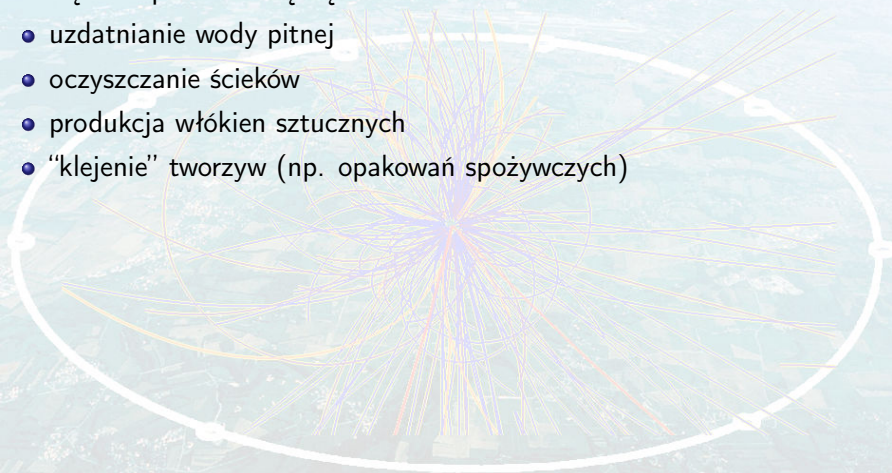
Kontrola graniczna

Wykorzystując akcelerator elektronów do wytworzenia promieniowania γ wysokiej energii możemy przeskanować kontener w 30 sekund.



Wdrożone technologie

- cięcie i spawanie wiązką elektronów
- uzdatnianie wody pitnej
- oczyszczanie ścieków
- produkcja włókien sztucznych
- “klejenie” tworzyw (np. opakowań spożywczych)



Wdrożone technologie

- cięcie i spawanie wiązką elektronów
- uzdatnianie wody pitnej
- oczyszczanie ścieków
- produkcja włókien sztucznych
- “klejenie” tworzyw (np. opakowań spożywczych)

Rozwijane technologie

- skraplanie gazu ziemnego
- przetwarzanie ropy naftowej
- utwardzanie nawierzchni szos
- bezpieczne reaktory jądrowe
- utylizacja odpadów radioaktywnych

1 Wprowadzenie

2 Historia

3 Akceleratory w nauce

4 Akceleratory w medycynie

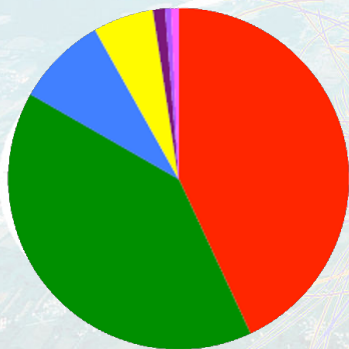
5 Akceleratory w przemyśle

6 Inne zastosowania

7 Podsumowanie

Akceleratory w liczbach

Na świecie działa ponad 35 000 akceleratorów



- **Akceleratory do radioterapii**
- **Implantacja jonów**
- **Przetwarzanie produktów**
- **Akceleratory badawcze niskich energii**
- **Produkcja radioizotopów**
- **Źródła promieniowania synchrotronowego**
- **Akceleratory badawcze wysokich energii**

Accelerators for Americas Future, Raport DoE, USA 2011

Akceleratory w liczbach

Medycyna

Liczba pacjentów na świecie rocznie

- diagnostyka z użyciem radio-izotopów: ok. 30 000 000
- radioterapia: ok. 4 000 000
- terapia radio-izotopami: ok. 300 000
- terapia hadronowa: ok. 15 000

radio-izotopy także z reaktorów

Przemysł

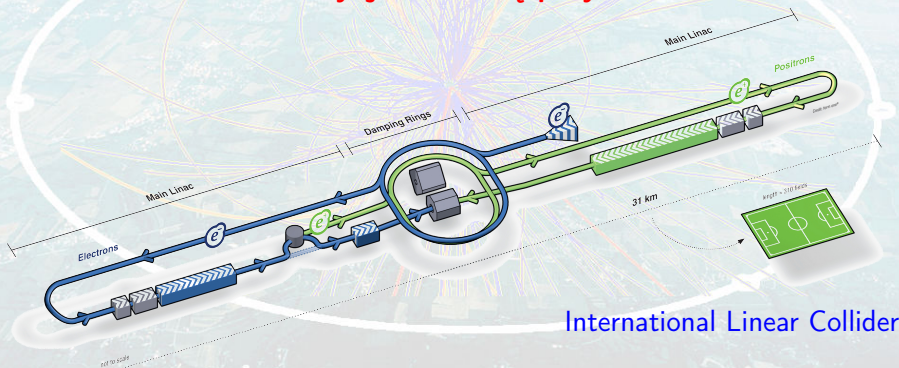
Rocznie wydaje na budowę akceleratorów \$ 3 500 000 000

Wartość przetworzonych produktów to rocznie ponad \$ 500 000 000 000

Przyszłe akceleratory

Choć Wielki Zderzacz Hadronów (LHC) ma jeszcze pracować prawie 20 lat, fizycy rozwijają nowe metody przyspieszania cząstek i planują budowę kolejnych akceleratorów wysokiej energii.

To inwestycja w naszą przyszłość!



An aerial photograph of a city with a white circle overlaid on it. From the center of the circle, a dense network of thin, multi-colored lines (red, blue, orange, purple) radiates outwards, resembling a particle detector or a complex network diagram. The background shows a cityscape with buildings and green fields, with mountains in the distance under a blue sky.

Dziękuję za uwagę!

- Particle Physics News and Resources:
<http://www.interactions.org/>
- European XFEL, Research:
<http://www.xfel.eu/research/>
- Particle Therapy Co-Operative Group:
<http://www.ptcog.ch/>
- Accelerators for Society:
<http://www.accelerators-for-society.org/>
- Accelerators for America's Future, Raport DoE, 2011:
<http://www.acceleratorsamerica.org/>
- CERN Academic Training Lectures:
<https://indico.cern.ch/category/72/>
- *Symmetry* magazine:
<http://www.symmetrymagazine.org/>
- Nigel S. Lockyer, prezentacja na Seminarium ICFA, Pekin 2014:
<http://indico.ihep.ac.cn/event/3867/>