



# Dalelių fizika ir technologijos medicinai

## Tarptautinė dalelių terapijos meistriškumo pamoka 2023

Aurelijus Rinkevičius

Vilniaus universitetas

2023-02-08



# Turinys

Dalelių fizika

Medicinai

Diagnostika

Terapija

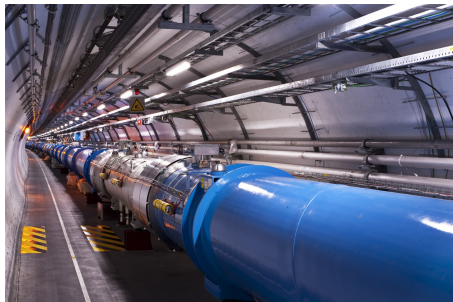
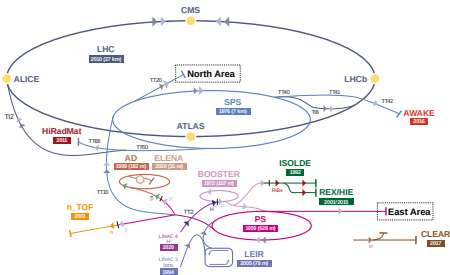




# Kas vyksta CERNe? (Dalelių fizika)



# CERN greitintuvų kompleksas



$< 7.7 \text{ T @ } 1.9 \text{ K}, \sim 2800 \text{ pluoštai} \times 10^{11} \text{ protonai} \times 6.5 \text{ TeV}$

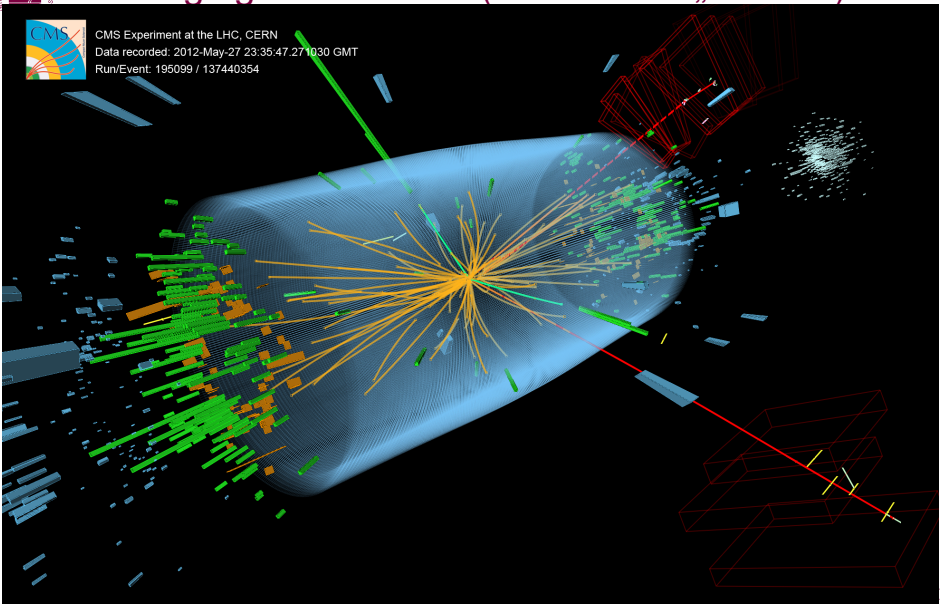
Visko reikia tam, kad įvyktų ...



# Energingi susidūrimai (užfiksuotas „kardras“)



CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT  
Run/Event: 195099 / 137440354





# Detektorius: Kompaktinis miuonų solenoidas (CMS)

## CMS su išpjova

### CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes  
Overall diameter : 15.0 m  
Overall length : 28.7 m  
Magnetic field : 3.8 T

STEEL RETURN YOKE  
12,500 tonnes

SILICON TRACKERS  
Pixel (100x150 μm) ~16m<sup>2</sup> ~66M channels  
Microstrips (80x180 μm) ~200m<sup>2</sup> ~9.6M channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID  
Niobium titanium coil carrying ~18,000A

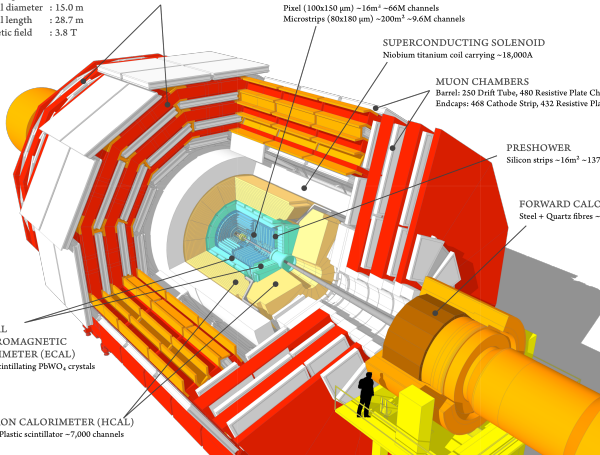
MUON CHAMBERS  
Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers  
Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

PRESHOWER  
Silicon strips ~16m<sup>2</sup> ~137,000 channels

FORWARD CALORIMETER  
Steel + Quartz fibres ~2,000 Channels

CRYSTAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER (ECAL)  
~76,000 scintillating PbWO<sub>4</sub> crystals

HADRON CALORIMETER (HCAL)  
Brass + Plastic scintillator ~7,000 channels



40 MHz

×

~30 p-p  
susidūrimų

×

p-p = ~200  
skeveldrų

=

~100 Tb/s

Stabili dalelė	Raiška
$\gamma$	1.5–5% @ 60 GeV
$e$	2–4% @ 10 GeV
$\mu$	1–1.5% @ 10 GeV
$j$	$\mathcal{O}(10)\%$



# Gamtos sandara šiuolaikinėje fizikoje

## Standartinis modelis

Bendroji reliatyvumo teorija (gravitacija)

mass	≈2.4 MeV/c <sup>2</sup>	≈1.275 GeV/c <sup>2</sup>	≈172.44 GeV/c <sup>2</sup>	0	≈125.09 GeV/c <sup>2</sup>
charge	2/3	2/3	2/3	0	0
spin	1/2	1/2	1/2	1	0
	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>g</b> gluon	<b>H</b> Higgs
<b>QUARKS</b>	≈4.8 MeV/c <sup>2</sup>	≈95 MeV/c <sup>2</sup>	≈4.18 GeV/c <sup>2</sup>	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>γ</b> photon	
	≈0.511 MeV/c <sup>2</sup>	≈105.67 MeV/c <sup>2</sup>	≈1.7768 GeV/c <sup>2</sup>	≈91.19 GeV/c <sup>2</sup>	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau	<b>Z</b> Z boson	
<b>LEPTONS</b>	<2.2 eV/c <sup>2</sup>	<1.7 MeV/c <sup>2</sup>	≈15.5 MeV/c <sup>2</sup>	≈80.39 GeV/c <sup>2</sup>	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	<b>W</b> W boson	
					<b>GAUGE BOSONS</b>

+

- Gravitonai?
- Tamsios dal.?

Medžiaga + medžiaga + sąveikos = 16 + 1

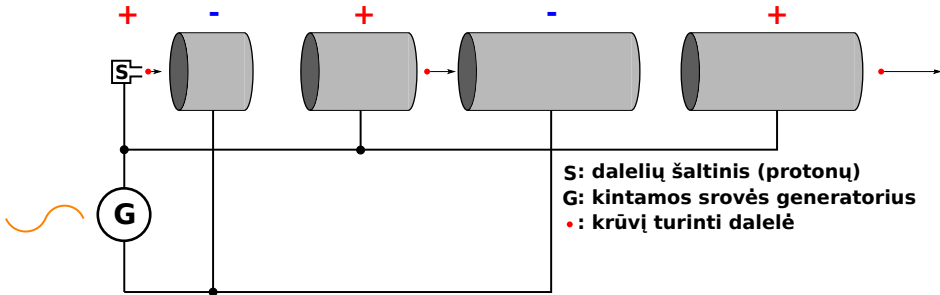
?



# Trumpai apie greitintuvų principus



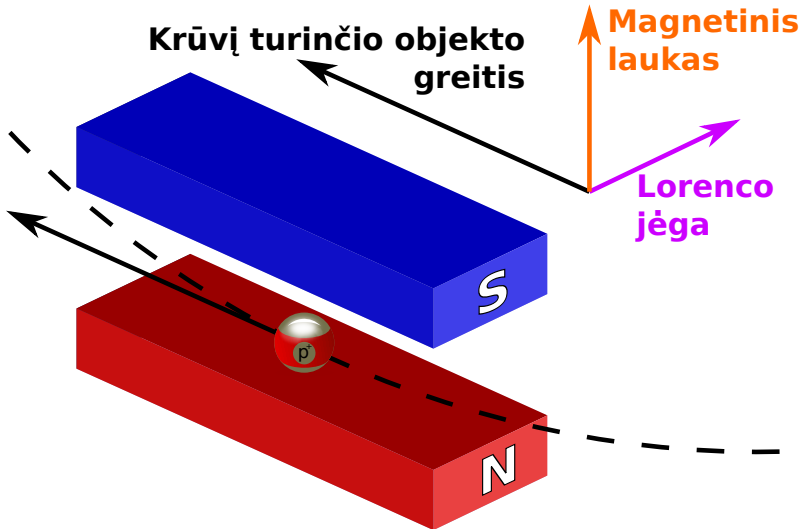
# Paprastas (tiesinis) greitintuvas



Elektrinis laukas dėl **sukaupto** (bet **kintančio**) **krūvio** greitina krūvį turinčias **daleles**.



# Naviguojame krūvį turinčias daleles







# Dalelių fizika (ir technologijos) medicinai



# Medicina fiziko akimis

Galimi (darbo) režimai:

1. Stebėjimas

(poveikis **minimalus**)

2. Poveikis

(bet koks didesnis veikimas)



# Medicina fiziko akimis

Galimi (darbo) režimai:

## 1. Stebėjimas

(poveikis **minimalus**)

- *Diagnostika*

## 2. Poveikis

(bet koks didesnis veikimas)

- *Terapija* (Intervencija)
  - Chirurginė
  - Cheminė / medikamentinė / genų
  - Spindulinė
  - ...



# Medicina fiziko akimis

Galimi (darbo) režimai:

1. **Stebėjimas** (poveikis **minimalus**)
  - *Diagnostika*
2. **Poveikis** (bet koks didesnis veikimas)
  - *Terapija* (Intervencija)
    - Chirurginė
    - Cheminė / medikamentinė / genų
    - Spindulinė
    - ...

Gydymas =

- „**Nieko nedarymas**“ (sava eiga, „natūraliai“)
- Aktyvus darant **poveikį** (žr. viršuje)



# Medicina fiziko akimis: diagnostika

**Detektoriai:** dominuoja elektromagnetiniai (fotonus sugeriantys)

⇒ **Daug vietos progresui** (pvz. miunonai, kt. dalelės)

*Diagnostikos* metodai/sistemos:

- Fotoninė klasika:
  - Regimieji fotonai („šviesa“)
  - Elektromagnetiniai reiškiniai (pvz. garsas)
  - Didelės energijos fotonai (rentgenas/gama):
    - Nuotraukos (rentgenogramos)
    - Skenavimas (išskaičiuota<sup>a</sup> tomografija, angl. CT)
  - Mažos energijos fotonai:
    - Magnetinis (branduolio) rezonansas
- Hibridiniai/kombinuoti metodai:
  - Antrinis didelės energ. fotonų skenavimas (angl. PET)
  - **Naujos kombinacijos...**

Tobulėja rekonstrukcija

<sup>a</sup> „kompiuterinė“



# Medicina fiziko akimis: terapija 1/2

## Terapijos principai:

- „Išimamas“/„įdedamas“ darinys  
(reikia „prieiti“, lengva „nusitaikyti“)
  - Chirurgija („mechanika“)
- Chemiškai paveikiama biosistema  
(lengva „prieiti“, sunku „nusitaikyti“)
- Spindulinė terapija **bendrai — dalelėmis**  
(lengva „prieiti“, lengva „nusitaikyti“)
  - Niekaip nepailstantis fotonas... (klasikinė radioterapija)
  - Hadronų terapija (**NEBE** fotonas)
  - Ateityje — daugiau dalelių

= Taikinyis apgadinamas, organizmas pribaigia

Tobuleja rekonstrukcija ↓



# Medicina fiziko akimis: terapija 2/2

## Ateityje:

- YPAČ hibridiniai/kombinuoti metodai
  - Įvairiomis **dalelėmis** į „taikinį“
- Daug **spindulių**
  - Fotonų atveju jau yra gama peilis
- **Diagnostika+terapija** vienu metu
  - Labai svarbūs **detektoriai** realiu laiku!
  - **Stebėti neapsiribojant fotonais**

Didėja įvairovė ir tikslumas!

CERNe kuriami dalelių **spinduliai** ir **detektoriai**



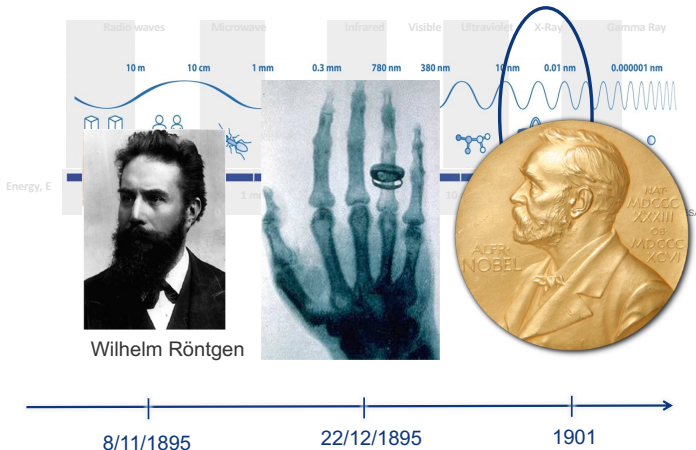
# Diagnostika fotonais





# Rentgeno spinduliai 1/3

## X-ray imaging

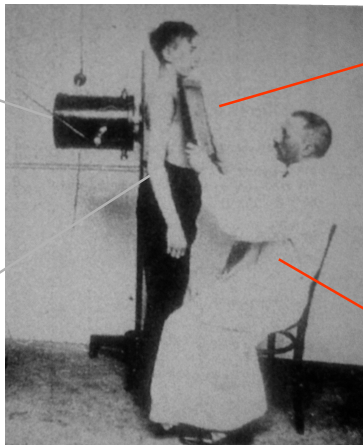




# Rentgeno spinduliai 2/3

X-ray source

Object



Detector

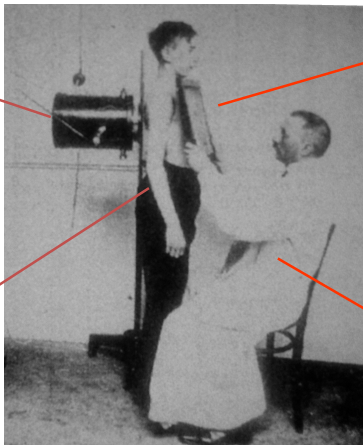
Pattern Recognition System



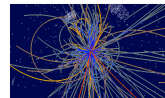
# Rentgeno spinduliai 3/3



**X-ray source**



**Object**



**Detector**



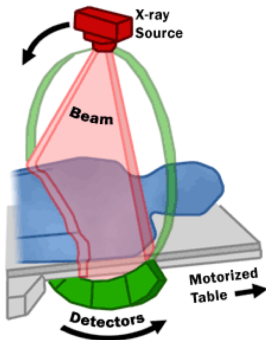
**Pattern Recognition System**



# Išskaičiuota tomografija 1/2

## CT – Computed Tomography

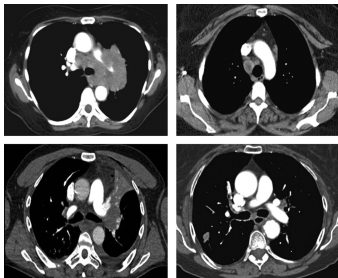
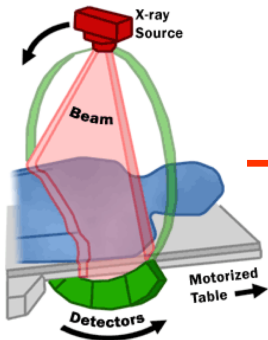
### 3d X-rays imaging





# Išskaičiuota tomografija 2/2

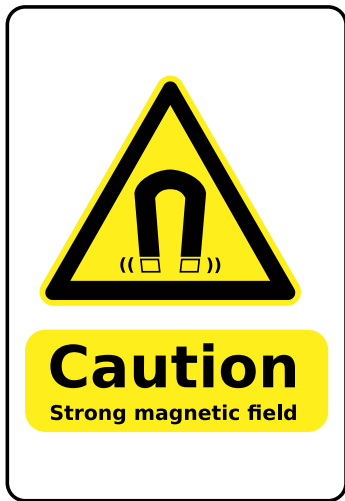
## CT – Computed Tomography



*“3D-imaging”*



# Magnetinio rezonanso vaizdavimas



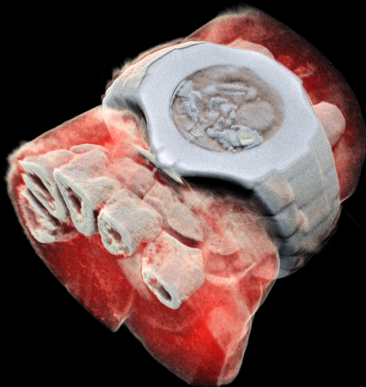




# Spalvotas rentgenas

## MARS Bioimaging

- First 3D colour X-ray images of a human, 2018
- Measure 4 wavelengths simultaneously using Medipix 3



A 3D image of a wrist with a watch showing part of the finger bones in white and soft tissue in red, couples the spectroscopic information generated by the Medipix3 with powerful algorithms to generate 3D images (Image: MARS Bioimaging Ltd)

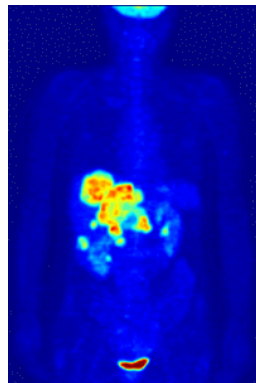
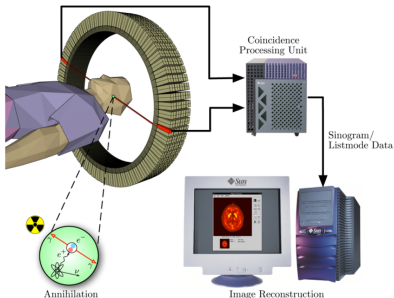




# Hibridinė/kompleksinė diagnostika



# Positron Emission Tomography



- $^{18}\text{F}$ FDG carries the  $^{18}\text{F}$  to areas of high metabolic activity
- 90% of PET scans are in clinical oncology

1974 the first human positron emission tomography



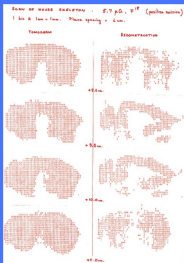
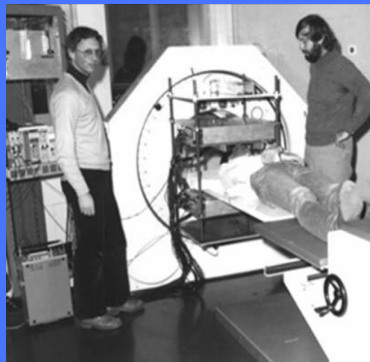
# PET Imaging activities at CERN

1977

Alan Jeavons and David Townsend

built and used in Geneva Hospital

a PET system based on  
high-density avalanche gas  
chambers  
HIDACs



Paul Lecoq,



# Ateities diagnostika panaudojant daleles



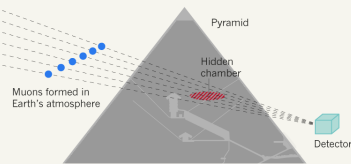
# Miuografija

## MUON MAPPING

Naturally occurring particles called muons can reveal the innards of structures such as pyramids and containers of nuclear waste.

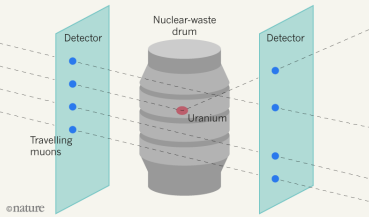
### Transmission muography

Stone and other dense materials absorb more energy from muons than do hollow features, such as a chamber inside a pyramid.



### Deviation muography

Muons that collide with dense elements such as uranium are deflected from their original paths.



- Kosminiai miuonai  $\sim 10 \text{ Hz/m}^2$
- Palaikius detektorių sugaunas šešėlis
- Stumdant detektorių  $\Rightarrow$  išskaičiavimas (CT)

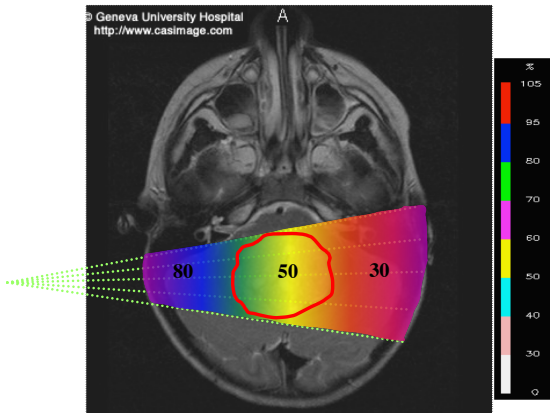
<https://www.nature.com/articles/d41586-018-05254-2>



# Terapija fotonais

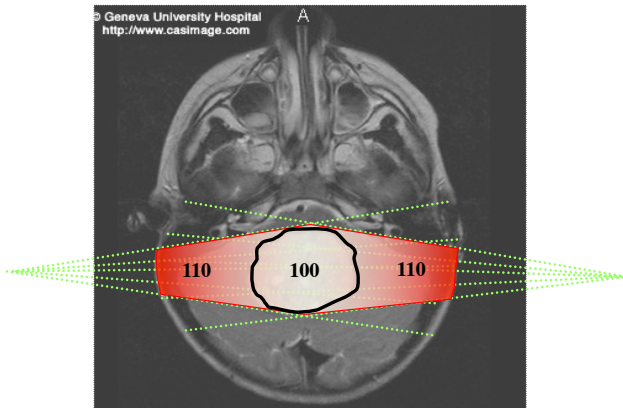


# Single beam of photons





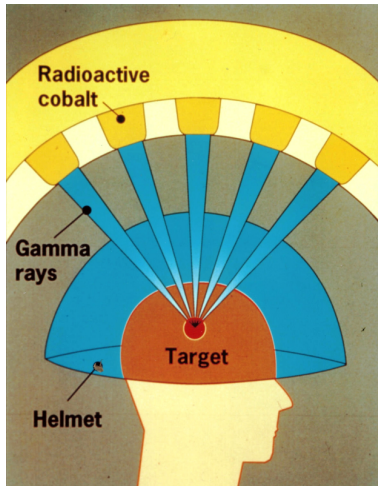
# 2 opposite photon beams







# Kryžminant gama fotonų spindulius



- Daugiau spindulių = mažesnė pažeida
- Naudojama keliasdešimt spindulių
- Pirmasis prietaisas 1967 m. Švedijoje
- Daug metų ribojo skaičiavimai

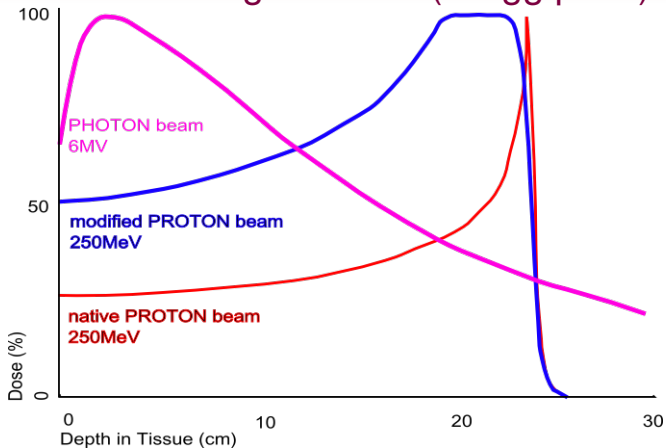
[https://en.wikipedia.org/wiki/Radiosurgery#Gamma\\_Knife](https://en.wikipedia.org/wiki/Radiosurgery#Gamma_Knife)



# Terapija sunkiomios dalelėmis



# Brego viršūnė (Bragg peak)



- Skirtingos masės dalelės sustoja skirtingame gylyje
- Papildomai koreguojama energija

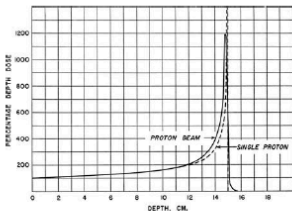
[https://en.wikipedia.org/wiki/Bragg\\_peak](https://en.wikipedia.org/wiki/Bragg_peak)



## 1932 - E. Lawrence First cyclotron



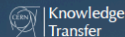
## 1946 – proton therapy proposed by R. Wilson



## 1954 – Berkeley treats the first patient



From physics...



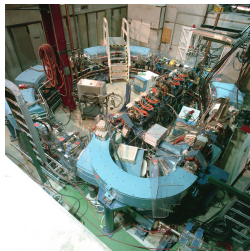


# Hadronų terapijos esminės datos

- 1990** Pirmasis „protonų“ pacientas Loma Lindoje.
- 1993** MGH, Bostone, užsako pirmąjį komercinį protonų terapijos centrą.
- 1993** GSI pradeda anglies jonų pilotinį projektą.
- 1994** HIMAC, NIRS, Chiba pirmieji „anglies jonų“ pacientai.



### 1993- Loma Linda USA (proton)



First dedicated clinical  
facility

### 1994 – HIMAC/NIRS Japan (carbon)



### 1997 – GSI Germany (carbon)



Three crucial years .....to clinics





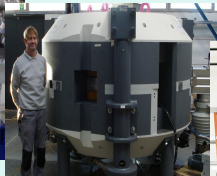
# Cyclotrons for proton therapy



IBA (1996) , SHI  
250 Tons  
Isochronous  
Cyclotron



Varian (2005)  
90 Tons  
Isochronous  
Cyclotron



IBA (2018)  
60 Tons  
**Synchrocyclotron**



MEVION (2013)  
15 Tons  
**Synchrocyclotron**

Superconducting Coils





# Hadronų terapija gyva ir auganti

Su CERN susijusios iniciatyvos ir kolaboracijos

- 1996 Proton Ion Medical Machine Study (PIMMS) grupė
- ISOLDE/MEDICIS CERNe: nauji izotopai/radioizotopai
- Hadronų terapijos platformos/centrai:
  - MedAustron, veikiantis austrų centras
  - ENLIGHT, Europos dalelių terapijos centrai
  - SESAME, vidurio rytai
  - SEEIIST, Balkanai, su Next Ion Medical Machine Study (NIMMS) platforma
- 2022 CERN Baltijos grupės kontekste inicijuojama dalelių terapijos grupė.

<https://cerncourier.com/a/cern-takes-next-step-for-hadron-therapy/>