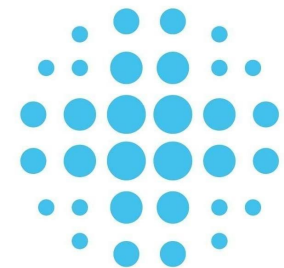
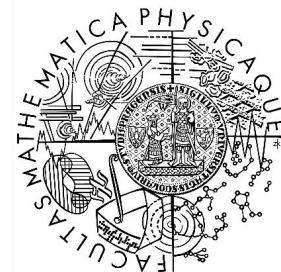


5th Particle Therapy Masterclass, Prague, 23rd Mar 2024



Úvodní slovo a částicová zoo

Moderátoři dne: Martin Sýkora^{1,2}, Kristýna Olsson Heřmanová¹,
Samuel Kurucz¹



¹Proton Therapy Center Czech s.r.o.

²Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova, Praha



Úvodní slovo

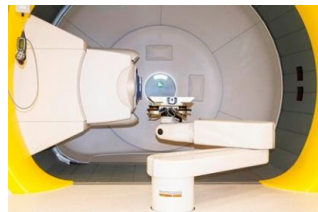
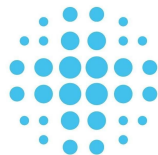


Organizace aneb kdo mě to tu chce “poučovat”?

Místní organizátoři

Proton Therapy Center

- jediné centrum svého druhu v ČR
- přes 10000 pacientů za 11 let provozu
- kompletní diagnostické vybavení, 4 ozařovny



MFF UK, Ústav částicové a jaderné fyziky

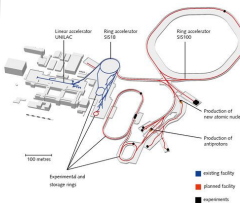
- široká škála studijních oborů
- spolupráce s předními světovými laboratořemi
- dlouholetá tradice v pořádání popularizačních akcí včetně International Masterclasses



Globální organizátoři



GSI Helmholtz Centre for Heavy Ion Research



- Darmstadt, základní výzkum těžkoiontové fyziky
- průkopník ozařování C ionty v Evropě (90s)
- objev prvku ^{110}Ds , nový FAIR (0.99c, 1.1km)
- hlavní organizátor videokonference



GERMAN
CANCER RESEARCH CENTER
IN THE HELMHOLTZ ASSOCIATION

German Cancer Research Center

- Heidelberg, biomedicínské výzkumné centrum
- 2 Nobelovy ceny v posledních 15 letech
- vývoj ozařovacích metod, spolupráce s [H. Uni.](#)
- vývoj open source plánovacího sw matRad



European Organization for Nuclear Research

- Ženeva, největší centrum částicové/jaderné fyziky na světě, hnací motor pokroku
- vývoj urychlovačové techniky, PET,...
- autor projektů International Masterclasses

Program

09:00	→ 09:30	Přivítání a částicová zoo (nejen) v radioterapii Speaker: Martin Sykora (Charles University (CZ)) PTMC 2024 - Přivítá... Úvod a částicová zoo	⌚ 30m	✎
09:30	→ 10:15	Zobrazovací metody v Radioterapii Speaker: Kristyna Olsson Hermanova (Proton Therapy Center Czech) Zobrazovací metody	⌚ 45m	✎
10:15	→ 11:15	Excursion: PTC excursion		✎
11:15	→ 12:00	Zkušenosti radiologického fyzika Speaker: Vladimír Vondracek (Proton Therapy Center Czech) Radiologický fyzik.p... Radiologický fyzik.p...	⌚ 45m	✎
12:00	→ 13:00	Lunch Break	⌚ 1h	
13:00	→ 13:15	Úvod do plánování v systému MatRad Speaker: Samuel Kurucz (Proton Therapy Center)	⌚ 15m	✎
13:15	→ 15:50	Hands-on session Conveners: Kristyna Olsson Hermanova (Proton Therapy Center Czech), Martin Sykora (Charles University (CZ)), Samuel Kurucz (Proton Therapy Center Czech) Pracovní List PrubehPrace.pdf		✎
16:00	→ 17:30	Video conference Indico and link VIDEO-CONFERENCE INDICO https://indico.cern.ch/event/1246651/ Zoom link: https://cern.zoom.us/j/69679270579?pwd=NUdsSUE4cEEzTHNsQ0FXc1R4RDFqQT09 Indico of Videoconf... Zoom link of Videoc...	⌚ 1h 30m	📍 https://cern.zoom.us/j/69679...



PROTONOVÉ CENTRUM A MFF UK POŘÁDÁ

PARTICLE THERAPY MASTERCLASS

Pro studenty středních škol a gymnázií

Na co se můžete těšit:

- exkurzi po moderním radioterapeutickém pracovišti PTC
- prezentace o částicích, jejich interakcích s materiálem a jejich roli v zobrazovacích metodách (CT, PET, SPECT)
- vyzkoušíte si práci radiologického fyzika při plánování ozařovacích plánů s použitím fotonů, protonů a uhlíkových jader
- a nakonec videokonferenci s CERN a GSI

9 - 17 hod.
1. termín: 12. 2. 2024
2. termín: 23. 3. 2024
budova PTC, Budínova 1a, Praha 8

PRO VÍCE INFO A REGISTRAČNÍ FORMULÁŘ:



Kde to dnes žije a s kým se uvidím?

PTMC 23rd Mar 2024



PTC Praha, Česko



Constantine, Alžírsko



Soluň, Řecko



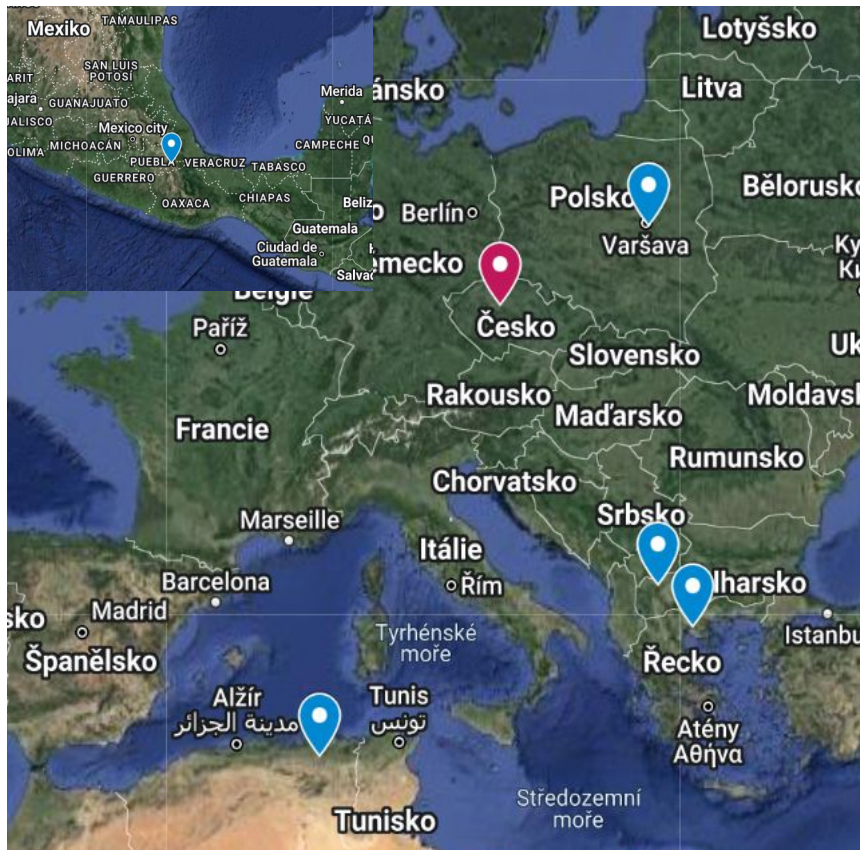
Varšava, Polsko



Puebla, Mexiko



Skopje, Severní Makedonie



Video Conference: Particle Therapy MasterClass 23 March 2024

📅 sobota 23. 3. 2024 16:00 → 17:48 Europe/Zurich

📍 <https://cern.zoom.us/j/69679270579?pwd=NuDSUE4cEEZTHNsOQ0FXc1R4RDQQT09>

👤 Yiota Foka (GSI - Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH (DE))

16:00 → 17:48 Video Conference: 23 March 2024

👤 Pořadatel: Yiota Foka (GSI - Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH (DE))

📄 [Statistics of PTMC](#)

16:00 **Welcome**

Přednášející: Yiota Foka (GSI - Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH (DE))

16:05 **Contribution from Greece**

Přednášející: Yiota Foka (GSI - Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH (DE))

16:15 **Presentation from GREECE ONLINE, Thessaloniki/Verola**

Přednášející: Yiota Foka (GSI - Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH (DE))

16:20 **Presentation from Warsaw University of Technology, POLAND**

Přednášející: Maja Mackowiak-Pawlowska (Warsaw University of Technology (PL))

16:25 **Presentation from Proton Therapy Centre Czech/Charles University, Prague, Czech Republic**

Přednášející: Martin Sykora (Charles University (CZ))

16:30 **Presentation from Yoghorta High school, ALGERIA**

Přednášející: Khemakhmia Abdeslem

16:35 **Presentation from Abderzak Bouhara, ALGERIA**

Přednášející: Khemakhmia Abdeslem

16:37 **Benemérta Universidad Autónoma de Puebla, MEXICO**

Přednášející: Eduardo Moreno Barbosa (Autonomous University of Puebla (MX))

16:42 **Quiz**

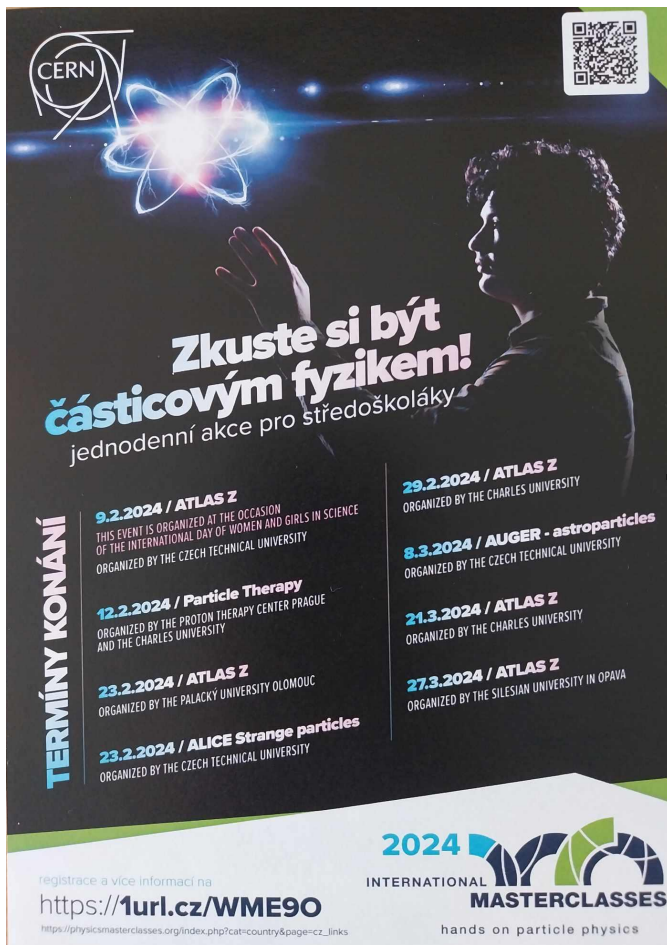
📄 [quiz-PTMC-2020-DS...](#)

📄 [quiz-PTMC-2020-DS...](#)

[Indico link](#)

[Zoom link](#)

Částicová Praha 2024



CERN

Zkuste si být částicovým fyzikem!
jednodenní akce pro středoškoláky

9.2.2024 / ATLAS Z
THIS EVENT IS ORGANIZED AT THE OCCASION OF THE INTERNATIONAL DAY OF WOMEN AND GIRLS IN SCIENCE ORGANIZED BY THE CZECH TECHNICAL UNIVERSITY

12.2.2024 / Particle Therapy
ORGANIZED BY THE PROTON THERAPY CENTER PRAGUE AND THE CHARLES UNIVERSITY

23.2.2024 / ATLAS Z
ORGANIZED BY THE PALACKY UNIVERSITY OLOMOUC

23.2.2024 / ALICE Strange particles
ORGANIZED BY THE CZECH TECHNICAL UNIVERSITY

29.2.2024 / ATLAS Z
ORGANIZED BY THE CHARLES UNIVERSITY

8.3.2024 / AUGER - astroparticles
ORGANIZED BY THE CZECH TECHNICAL UNIVERSITY


21.3.2024 / ATLAS Z
ORGANIZED BY THE CHARLES UNIVERSITY

27.3.2024 / ATLAS Z
ORGANIZED BY THE SILESIA UNIVERSITY IN OPAVA

2024 INTERNATIONAL MASTERCLASSES

registrace a více informací na
<https://1url.cz/WME90>
https://physicsmasterclasses.org/index.php?cat=country&page=cz_links

hands on particle physics



Registrace do
30/04/2024



ČÁSTICOVÁ PRAHA 2024
9. 9. - 13. 9. září

AKCE PRO STŘEDOŠKOLÁKY!

Týdenní pobyt v Praze
nabýt exkurzemi,
workshopy, přednáškami
a setkáními!

NEUTRINA HIGGSŮV BOSON
VELKÝ TŘESK TEMNÁ HMOTA
CERN JADERNÁ FYZIKA
ANTIHMOTA KOSMICKÉ ZÁŘENÍ

Zajímají vás témata jako například

registrace a více informací na:
ipnp.cz/casticovapraha



PORADATELÉ AKCE

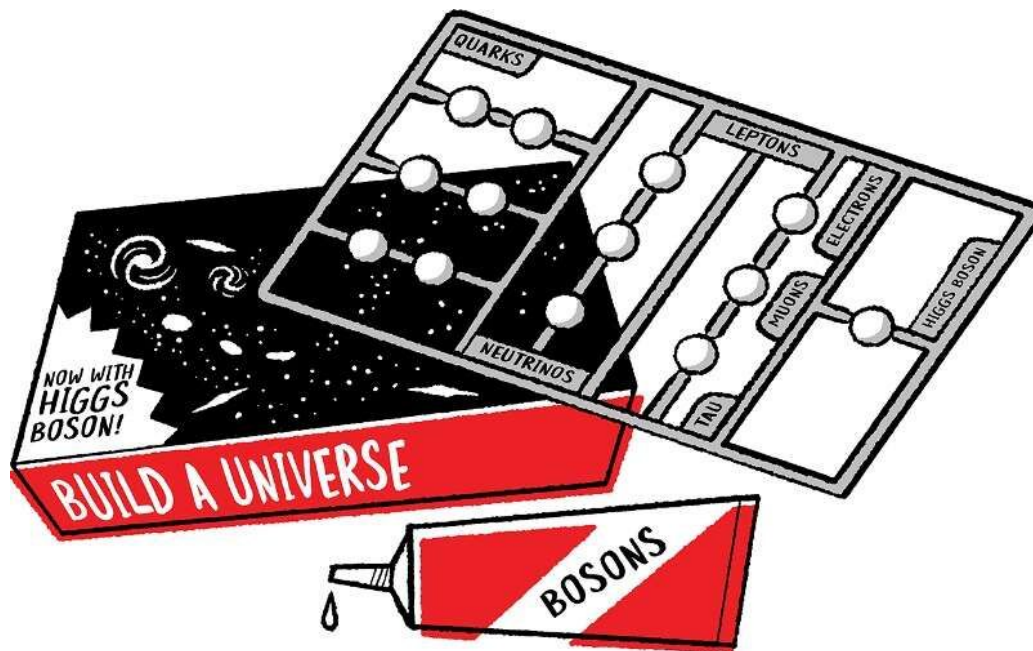
Charles University UNIVERZITA KARLOVA

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

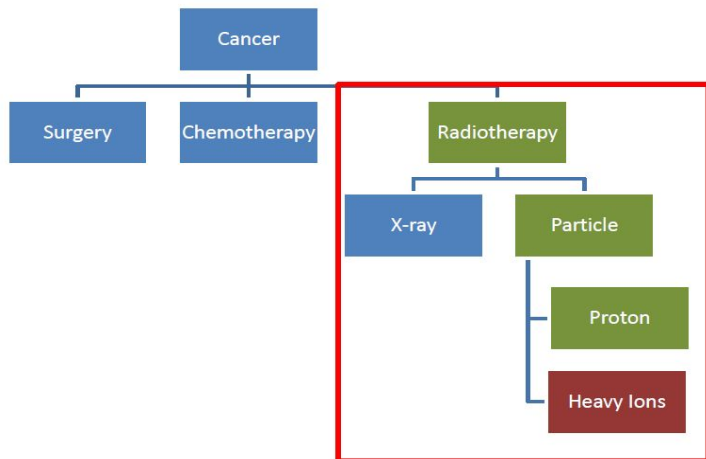
AKADEMIE VĚD ČR

ČESKÁ FYZIKÁLNÍ SPOLEČNOST

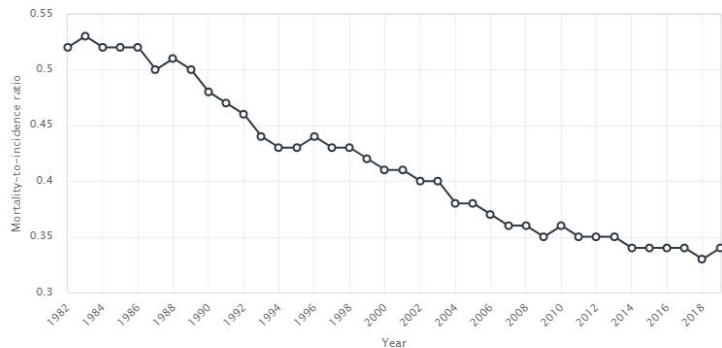
Částicová zoo a jak s ní pracovat



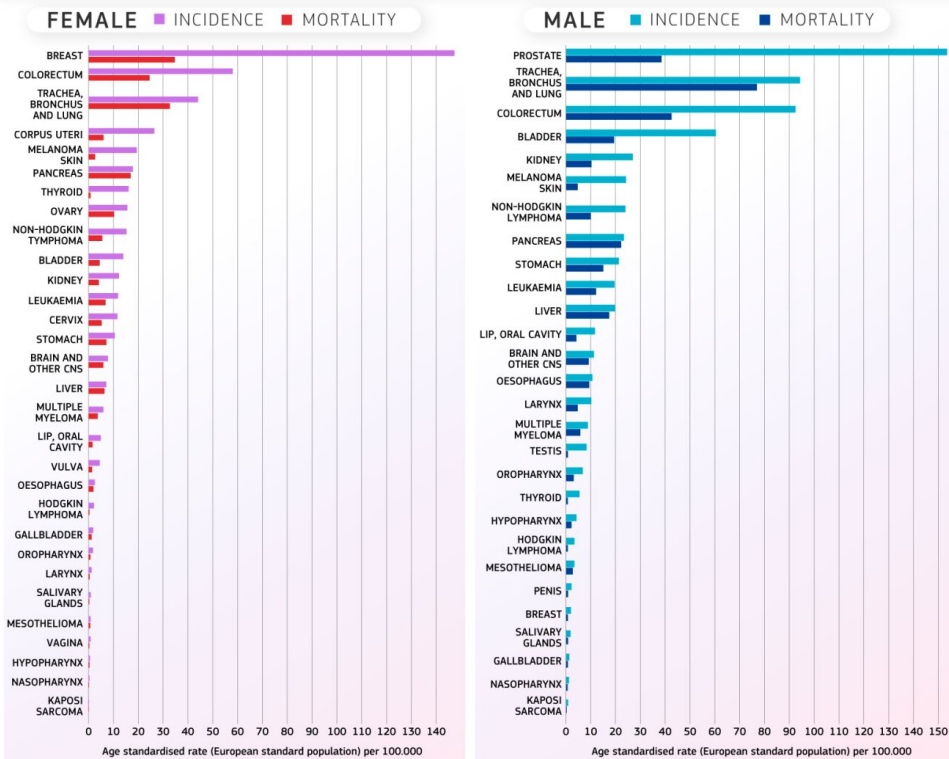
Motivace = Léčba



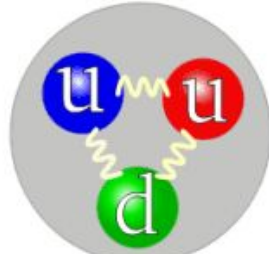
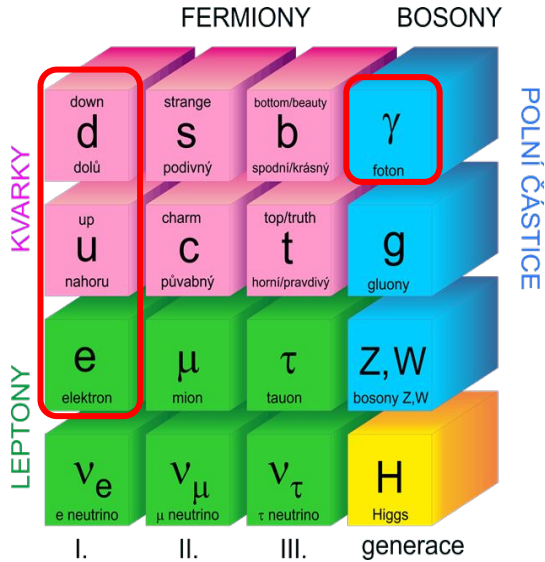
Biotyzikalni metoda



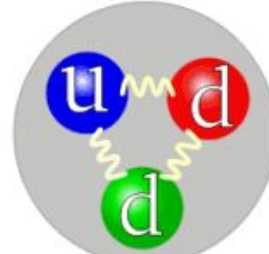
2022 ESTIMATED INCIDENCE AND MORTALITY BY CANCER TYPE FOR FEMALES AND MALES



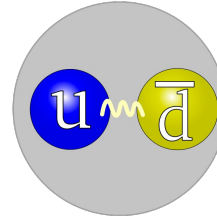
Částice základ života



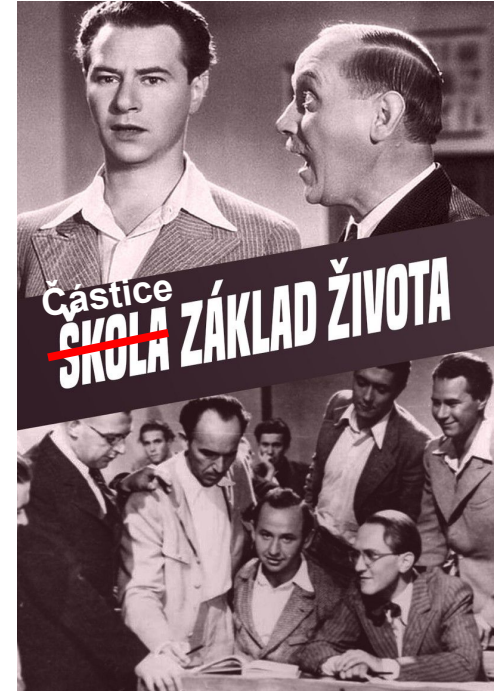
Proton



Neutron



Pion



- Standardní model definuje svět pomocí 17 elementárních částic a antičástic
- veškerá stabilní hmota ve vesmíru tvořená e, u, d
- nehmotný foton jako mediátor elektromagnetické interakce (rádiové vlny - záření gamma)
- objevování částic a prověrka S. m. (Higgs, Z,...): MFF UK [ATLAS Z Masterclasses](#) (29.2., 21.3.)

Fotonová terapie

- konvenční a nejrozšířenější způsob terapie, tradice a přijatelný poměr cena/výkon
- ozařování pomocí $\gamma(^{60}\text{Co})$ uvnitř/vně těla nebo X-ray brzdným zářením (Linac)

Teleteriepie

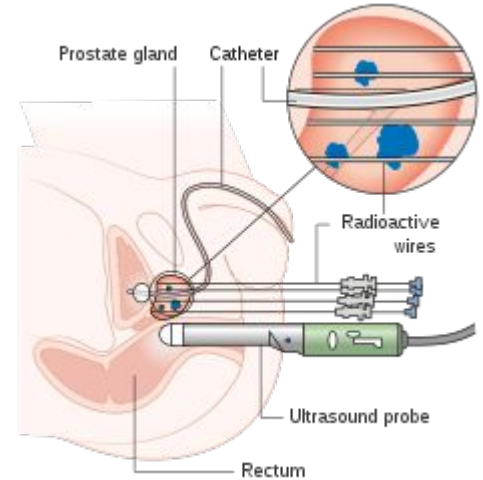


Lineární urychlovač/CyberKnife



Leksellův gama nůž

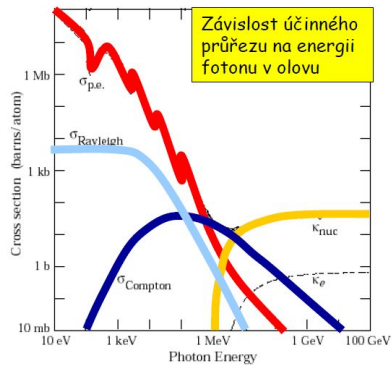
Brachyterapie



Interakce s hmotou

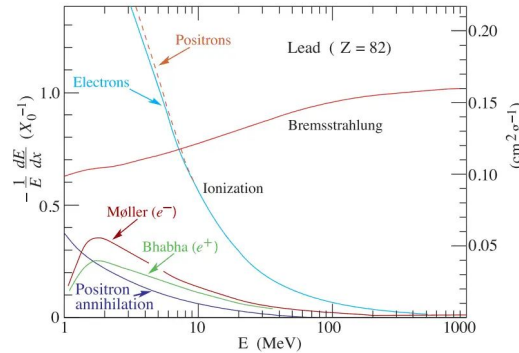
- hmota, náboj a případná vnitřní struktura částice => odlišné ztráty energie v materiálu

Nehmotný neutrální foton



Absorpce: $I(x) = I_0 e^{-\mu x}$

Lhký nabitý elektron



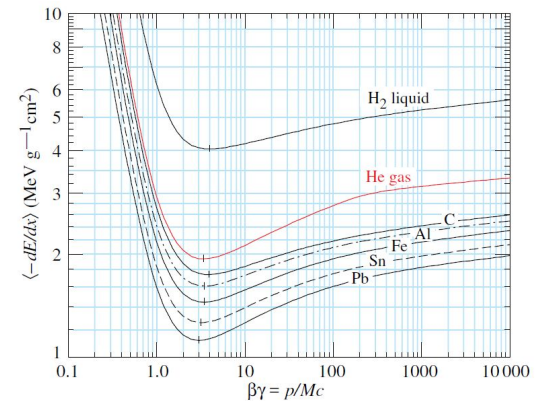
Ion.:
$$-\left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle_{el.} = K \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\ln \frac{m_e \beta^2 c^2 \gamma^2 T}{2I^2} + F(\gamma) \right]$$

Brzdné z.:
$$-\frac{dE}{dx} \approx \frac{Z^2 z^2 e^4}{A} \frac{E}{m^2 c^4} \rightarrow E = E_0 e^{-\frac{x}{X_0}}$$

$1/X_0$

Pozn.: Dominuje ELMG interakce nad silnou/slabou jadernou interakcí

Těžký nabitý hadron

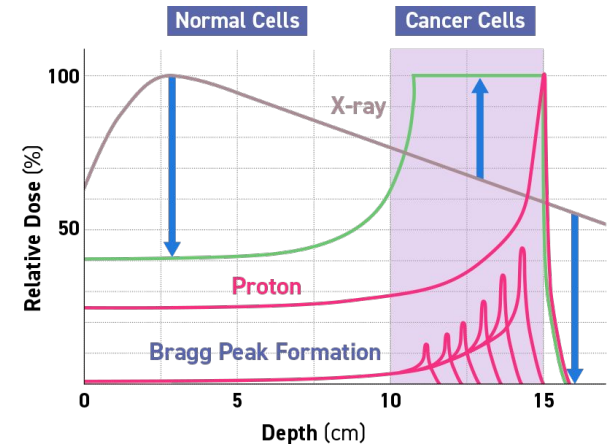
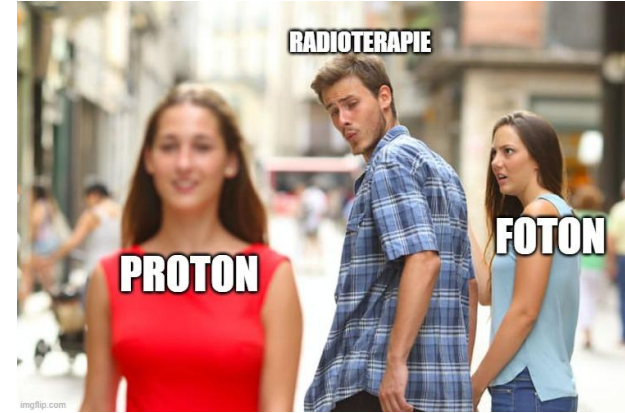
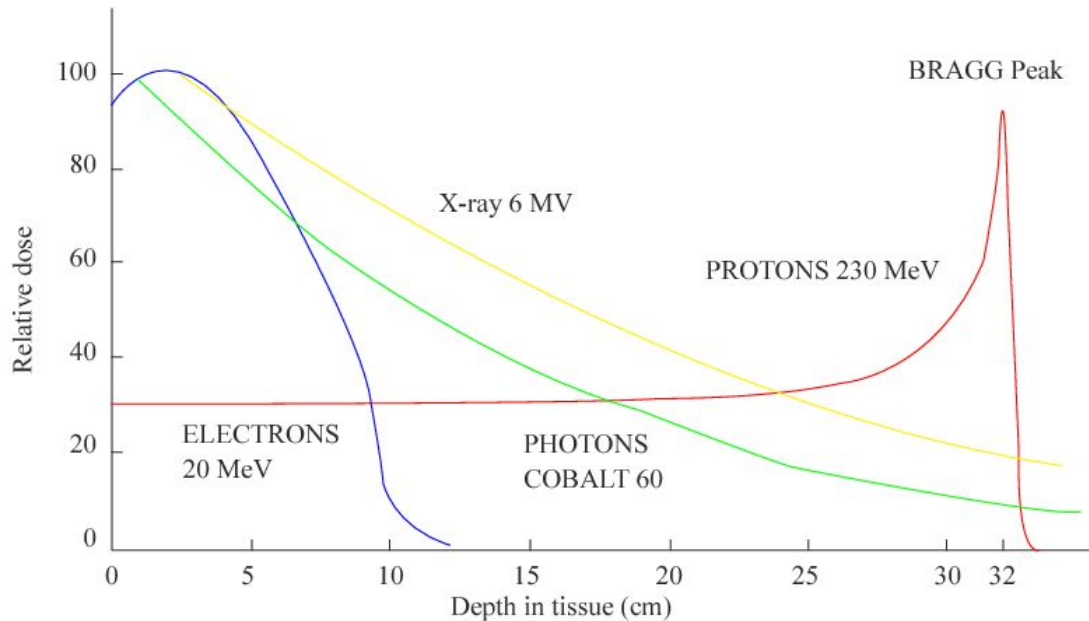


Ion.:
$$-\left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle = K z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right]$$
 [p]

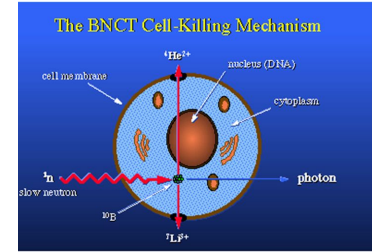
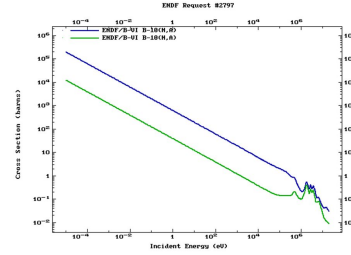
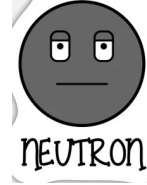
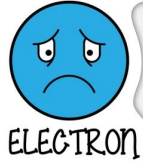
Brzdné z.: potlačené $M_p \approx 2000 \times m_e$

Interakce s hmotou

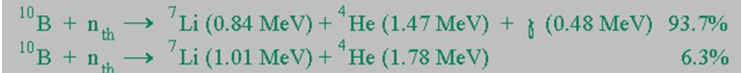
- dalo by se využít interakčních vlastností hadronů s materiálem?
- ionizace prostředí “těžkých” nabitých částic - tzv. Braggova křivka



Elektronová a neutronová terapie



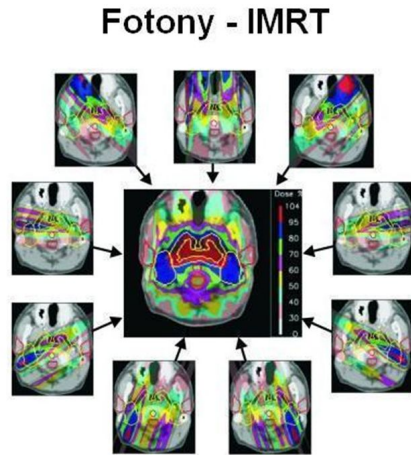
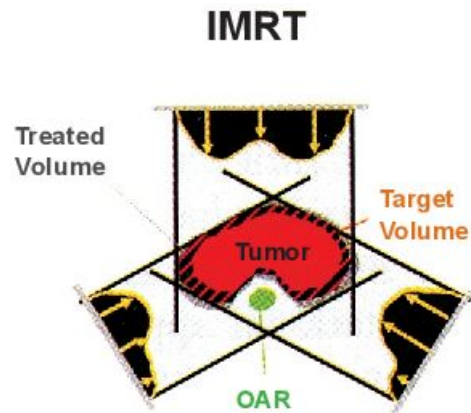
- svazky do 20 MeV (cca 6 cm) v těle než začne převažovat brzdné záření (= charakter fotonového svazku)
- původně betatron, dnes lineární urychlovač (větší rentgen bez terčíku)
- nádory pokožky, rtů, krku
 - celokožní ozáření (TSEI), T-lymfom, v ČR: ONO Nemocnice České Budějovice
 - ozáření během operace (IOERT), nádory prsou, kolimovaný svazek ve sterilním prostředí



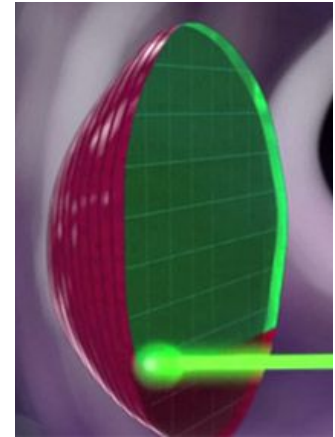
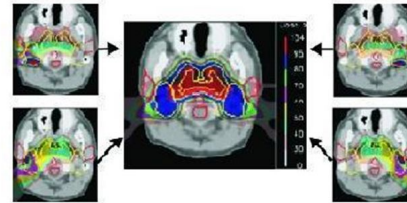
- neinteraguje elektromagneticky, použití silné interakce -> záchyt epitermálního neutronu (1 eV - 1 keV) na ${}^{10}\text{B}$ vpraveného dříve do těla (BPA, BSH)
- vzniklé ionty mají doběh do 10 μm
- většinou nádory mozku, problém s účinností (BPA molekula nese jen 1 atom ${}^{10}\text{B}$), vychytáváním látky nádorovými tkáněmi,...
- ${}^{157}\text{Gd}$ možná alternativa, vysoký účinný průřez

Fotony vs. protony

- fyzikální vlastnosti protonů (a nabitých hadronů nebo iontů obecně) jim dávají určitou výhodu nad fotony
- velká využitelnost v blízkosti citlivých orgánů, nižší radiační zatížení zdravých tkání
- podobný biologický efekt na DNA (nepřímo pomocí radikálů)

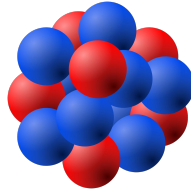


Protony - aktivní skenování

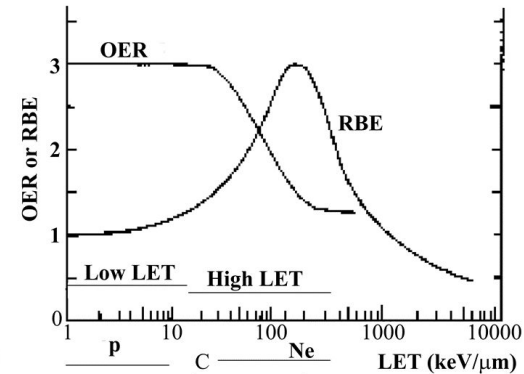
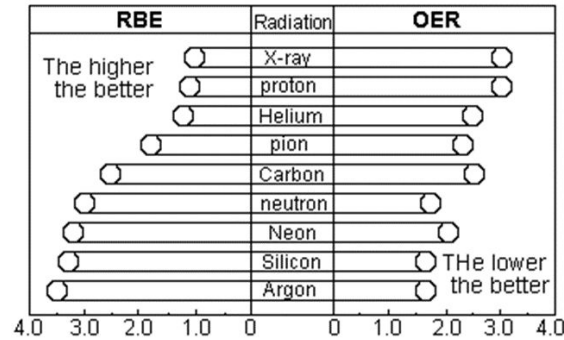
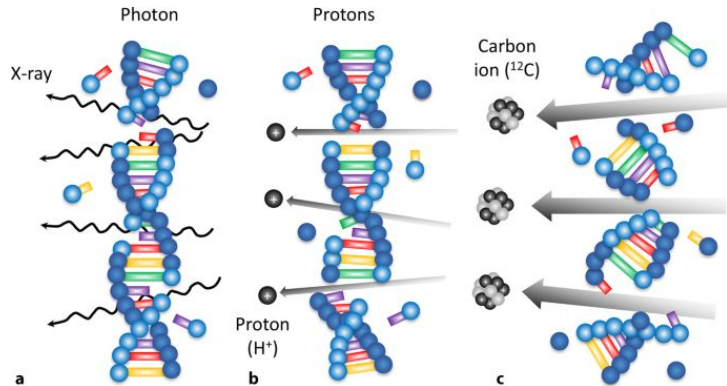
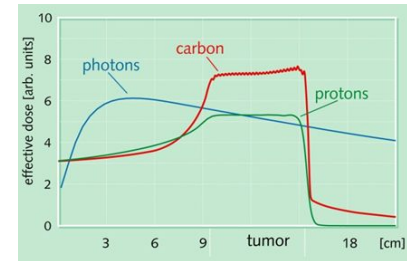


Iontová terapie

- idea: proč místo jádra vodíku (protonu) nepoužít složitější jádro?
- přímá interakce s DNA, vyšší LET (energie předaná tkáni na jednotku délky)
- relativní biologická efektivita (RBE) dávky je 2-3x vyšší než u fotonů (protony cca 1.1x)
- lepší míra citlivosti hypoxických rakovinných buněk na dodanou dávku (OER)
- nižší počet nutných ozařovacích frakcí zajistí stejný biologický efekt



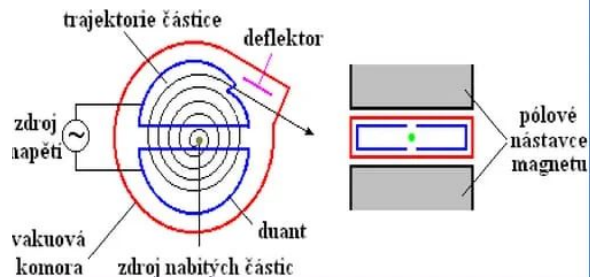
^{12}C



Urychlovače

Cyklotron

$$F_D = F_L$$
$$E = \frac{(ZeBr)^2}{2\gamma m_0}$$
$$f = \frac{ZeB}{2\pi\gamma m_0} = \text{const.}$$



PTC protonový cyklotron

Synchrotron

$$R = \frac{p(t)}{eB(t)} = \text{const.}$$

$$f = \frac{v(t)}{2\pi R}$$

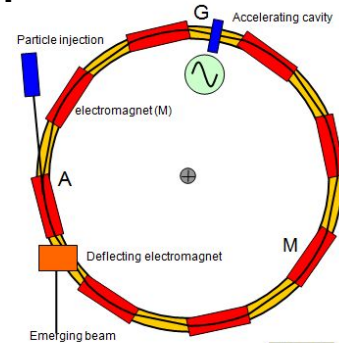
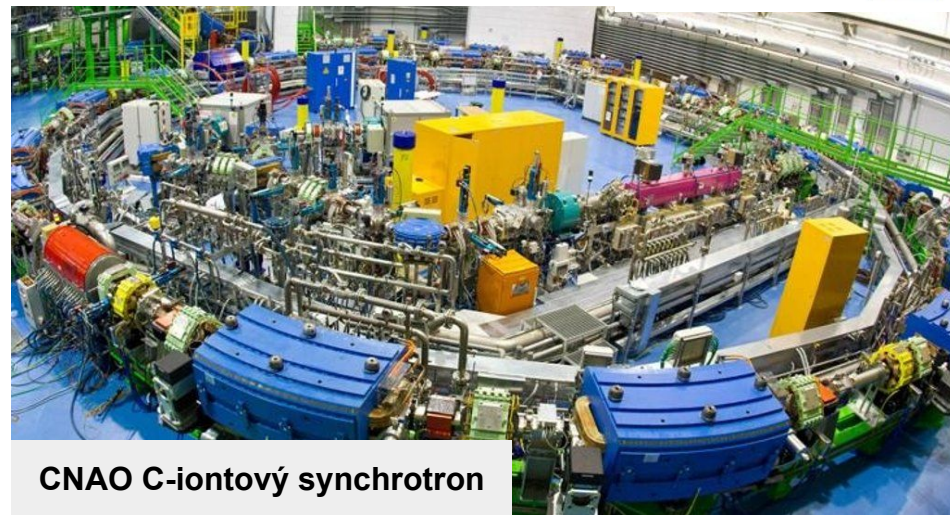
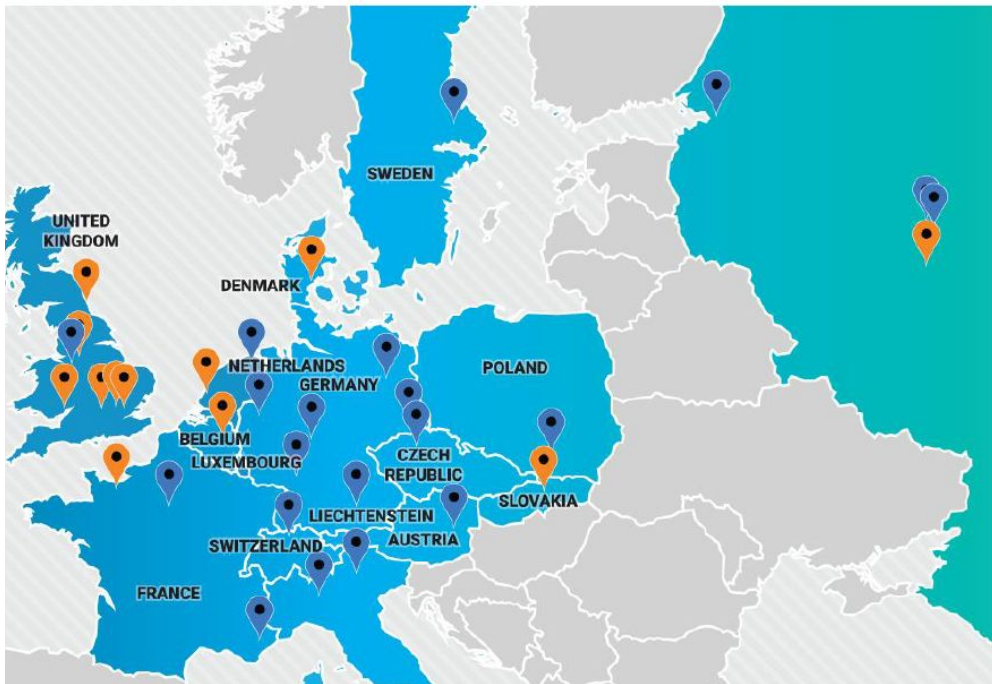


Figure 1



CNAO C-ionový synchrotron

Hadronové instituce v Evropě (stav 2018)



Four carbon-ion cancer therapy centers in Europe

MedAustron, Austria



CNAO, Italy

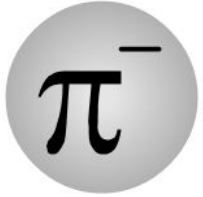
HIT, Germany



MIT, Germany

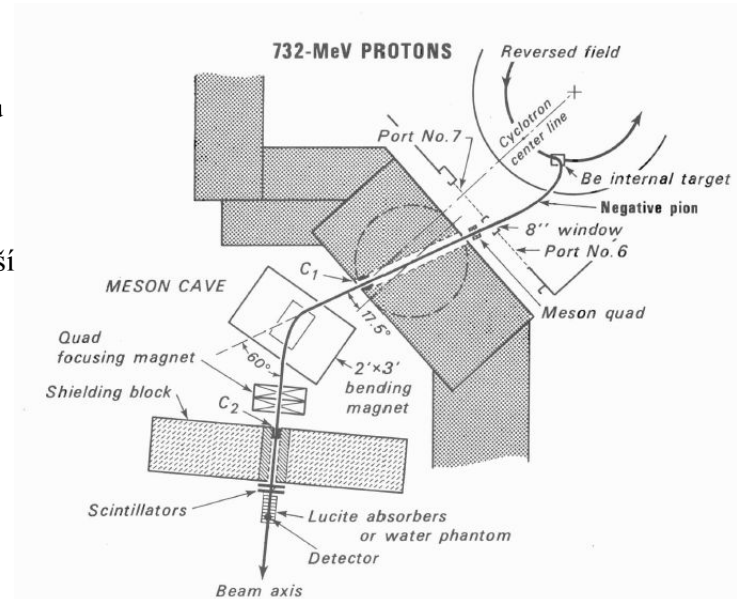


Perlička - pionová terapie?



π^- mají výrazné Braggovo maximum

- kromě obvyklého mechanismu jsou π^- -mezony na konci dráhy **zachyceny v jádrech atomů** (v tkáni např. v ^{12}C , ^{16}O , ^{14}N)
- při záchytu π^- jádrem dojde k reakci s p ($\pi^- + p^+ \rightarrow n + 140\text{MeV}$) a uvolní se energie $\approx 140\text{MeV}$ (vyšší než B_N)
⇒ excitované jádro se **rozštěpí** zpravidla na α -částice, d, n a p (u těžších jader se mezi fragmenty vyskytují i ^6Li nebo ^{12}C)
 - např. u C dochází k reakci $\pi^- + ^{12}\text{C} \rightarrow 2\alpha + 3n + p$, přičemž částice α odnášejí kinetickou energii cca 30MeV a neutrony cca 70MeV (zbylých 40MeV se spotřebuje na překonání vazbové energie jádra).
- zabrzděním těchto fragmentů se v daném místě předá značná ionizační energie
- π^- vznikají při ostřelování jader terčíku (např. C, Be) p urychlenými na energie větší než asi 500MeV
- dosah π^- o energiích $50\text{-}100\text{MeV}$ v tkáni činí cca $10\text{-}25\text{cm}$.
- zařízení v Los Alamos, Vancouveru, Villigenu - celkem asi 1200 pacientů
- nedosáhlo se lepších výsledků než u „konvenční terapie“ ⇒ zastaveno



Děkuji za pozornost!