

Gyorsító hadronterápia

Magfizika szeminárium 2020.10.22.

Hajnal Dániel



- Fogalmak
- Neutron
- Bragg-csúcs (~Bethe-Bloch-formula)
- Proton
- Ionizált atommagok
- Összehasonlítás sugárterápiával
- Költségek

Fogalmak

- Terápia
- Dózis
- Relatív biológiai hatékonyság
- Lineáris energiaátadás

$$D = \frac{\Delta E}{m}$$

$$L = \frac{dE}{dx}$$

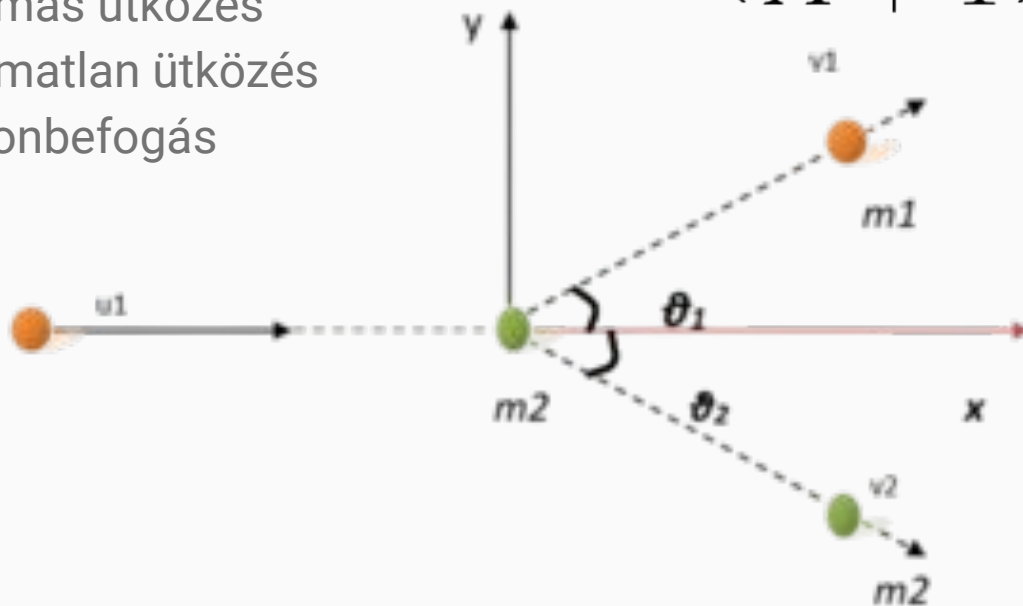
$$\text{RBE}_a = \frac{D_r}{D_a}$$

Neutron, rugalmas ütközés

Energialeadás módjai:

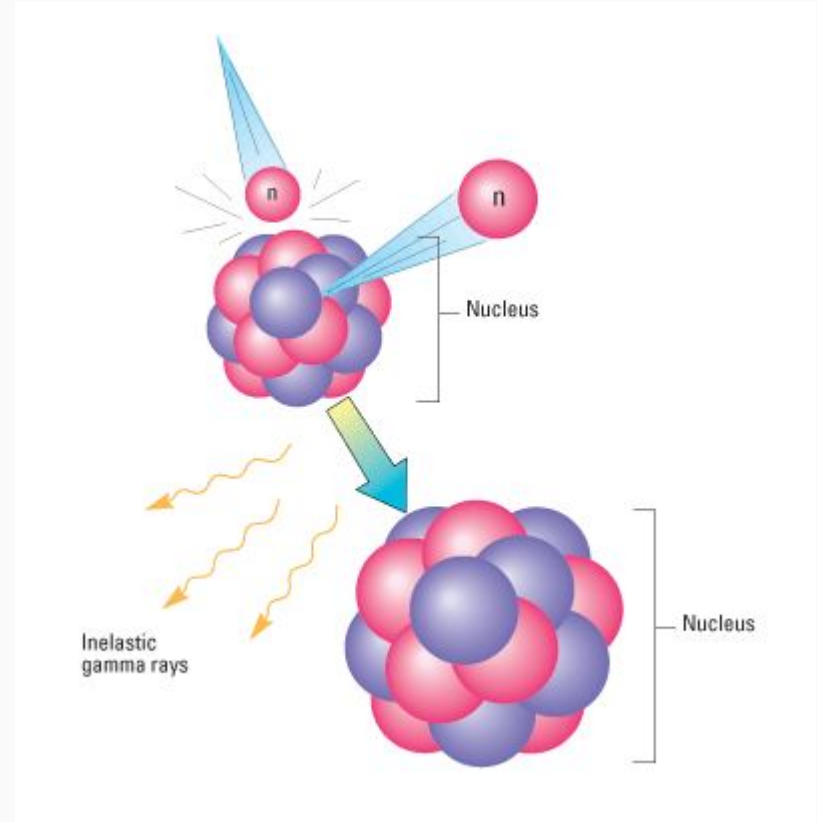
- Rugalmas ütközés
- Rugalmatlan ütközés
- Neutronbefogás

$$\left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2 \leq \frac{E_1}{E_0} \leq 1$$



Energialeadás módjai:

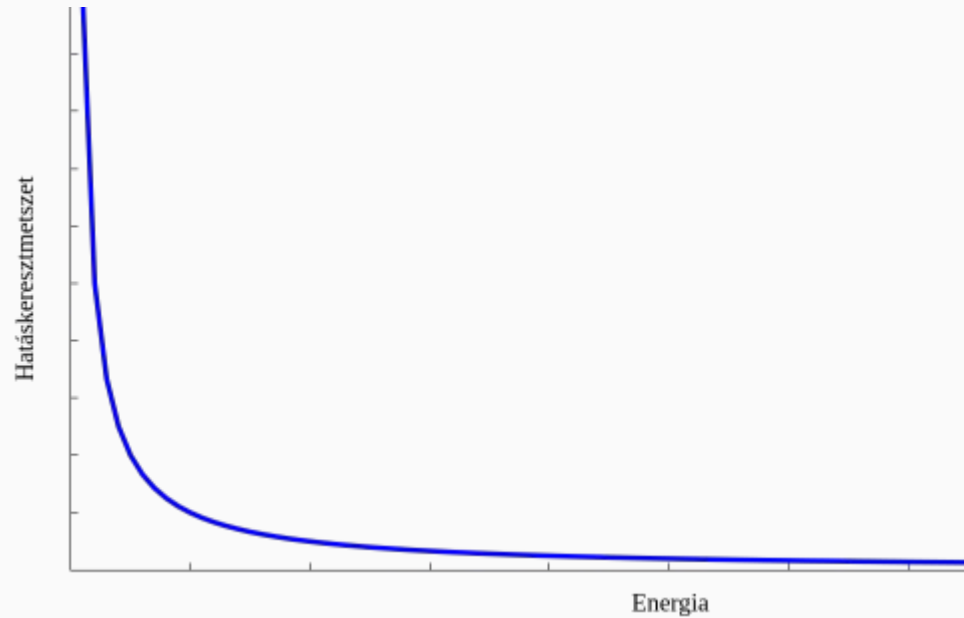
- Rugalmas ütközés
- Rugalmatlan ütközés
- Neutronbefogás



Energialeadás módjai:

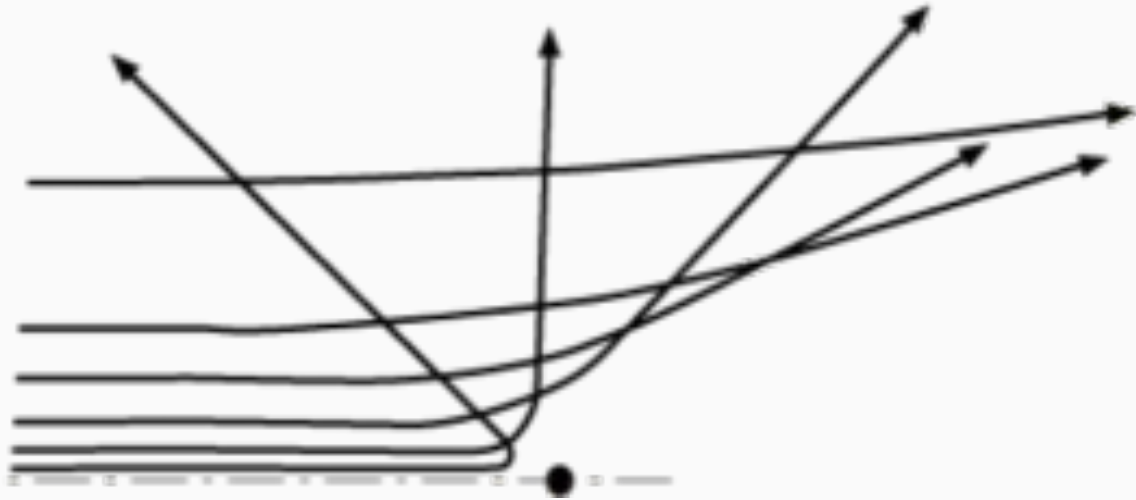
- Rugalmas ütközés
- Rugalmatlan ütközés
- Neutronbefogás

Neutronbefogás valószínűsége



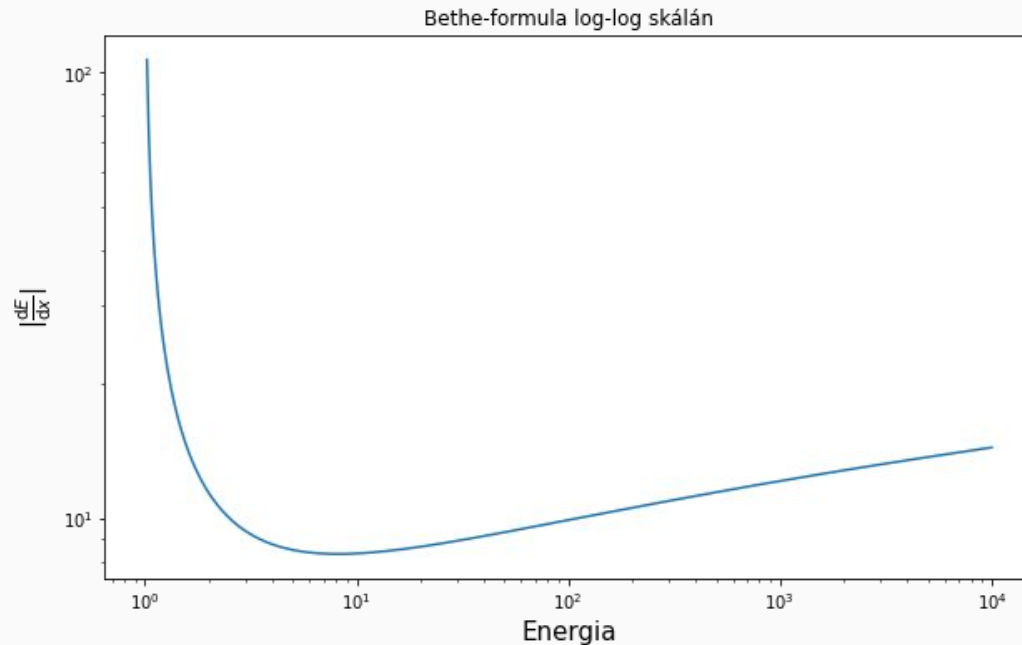
Energialeadás módjai:

- Coulomb-szórás
- Rugalmatlan ütközés
- Elektronfelvétel

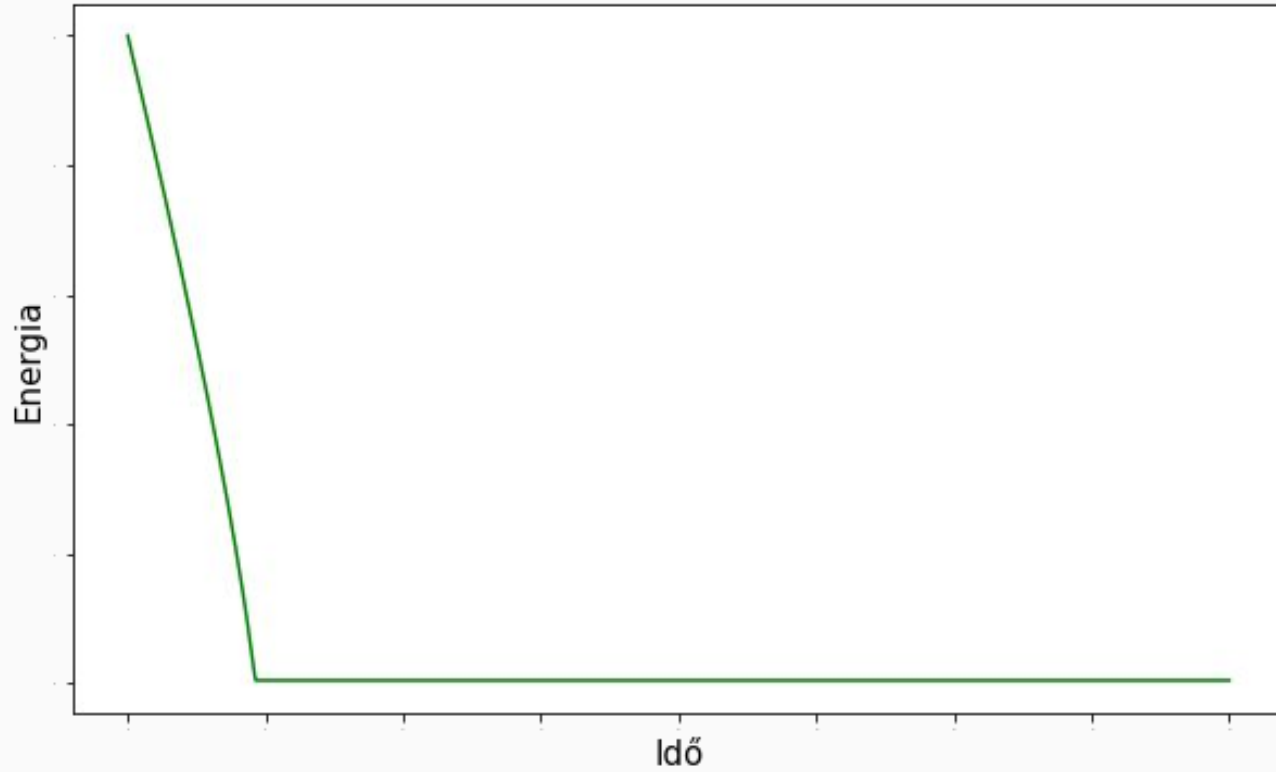


Bethe-formula

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

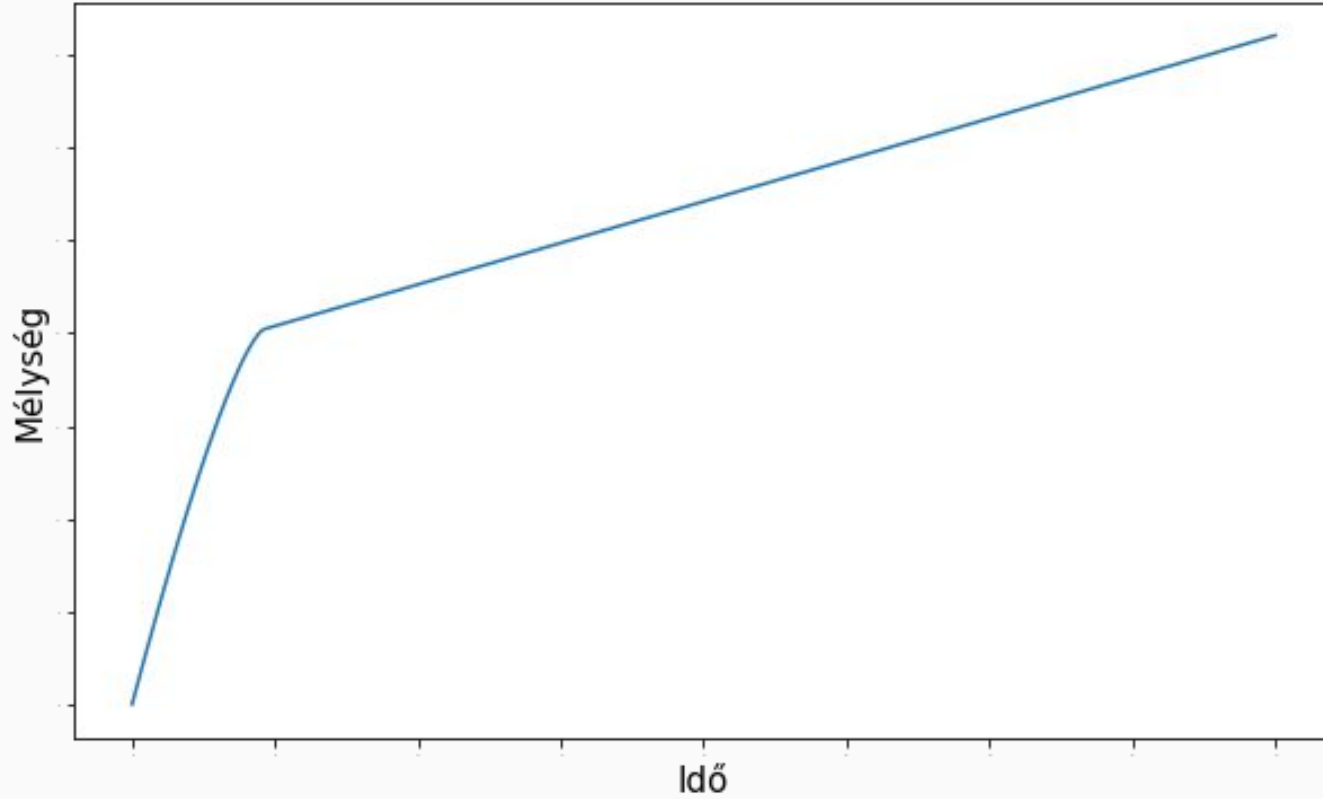


Bethe-formula



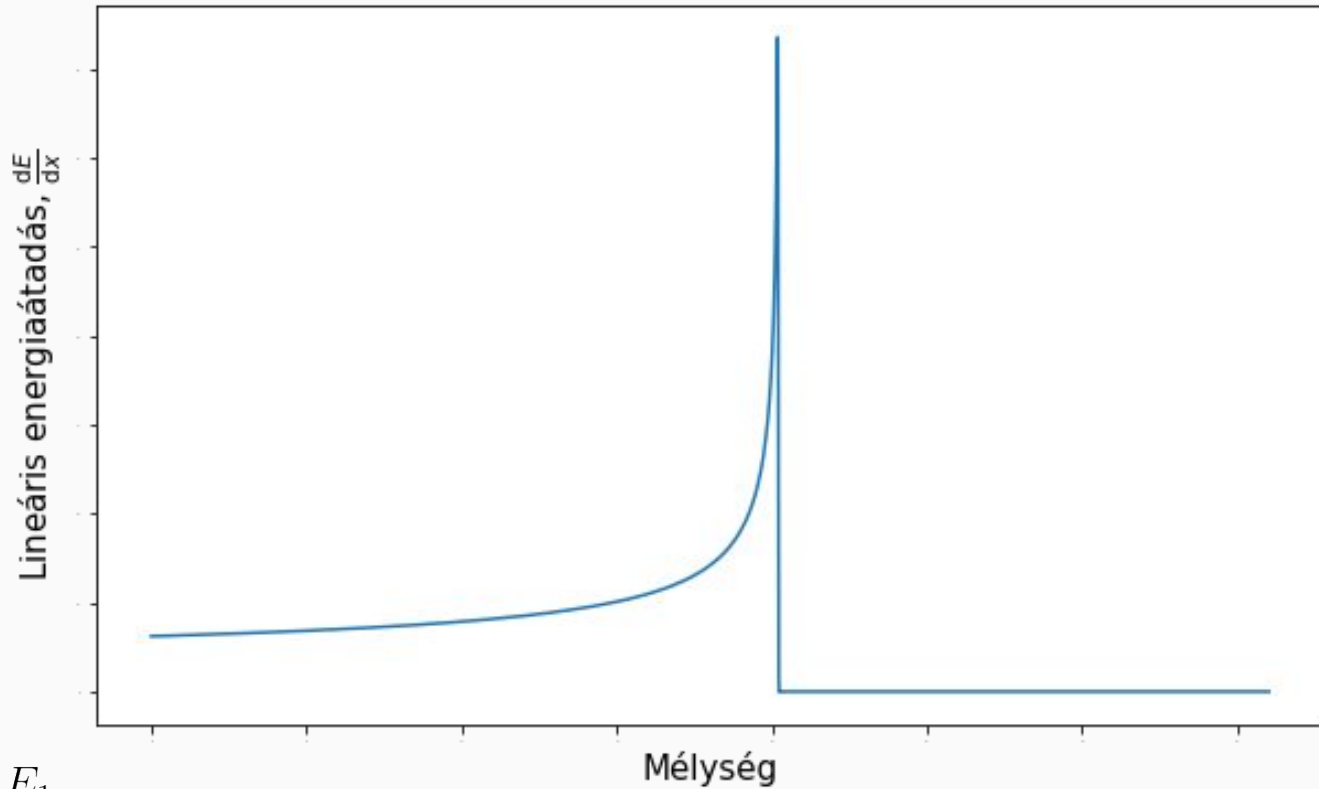
$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi}{m_e c^2} \frac{nz^2}{\beta^2} \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \cdot \left[\ln\left(\frac{2m_e c^2 \beta^2}{I \cdot (1 - \beta^2)}\right) - \beta^2 \right]$$

Bethe-formula



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

Bragg-csúcs



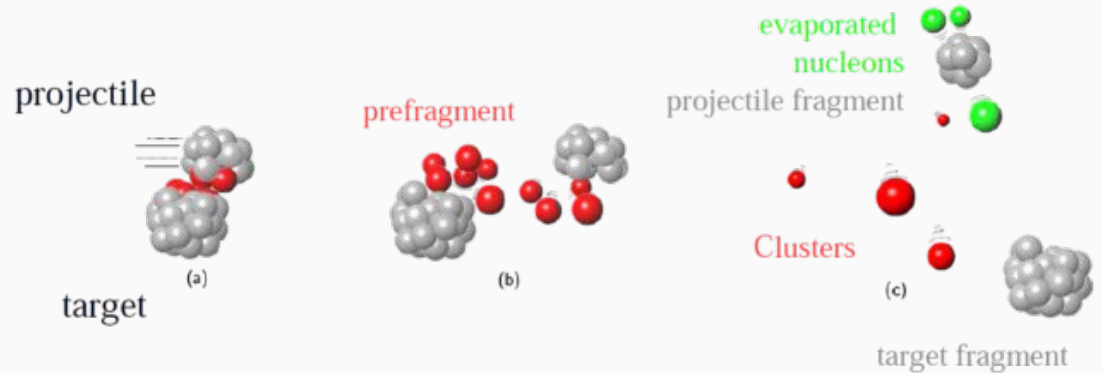
$$\left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2 \leq \frac{E_1}{E_0} \leq 1$$

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

^{12}C általában

Energialeadás módjai:

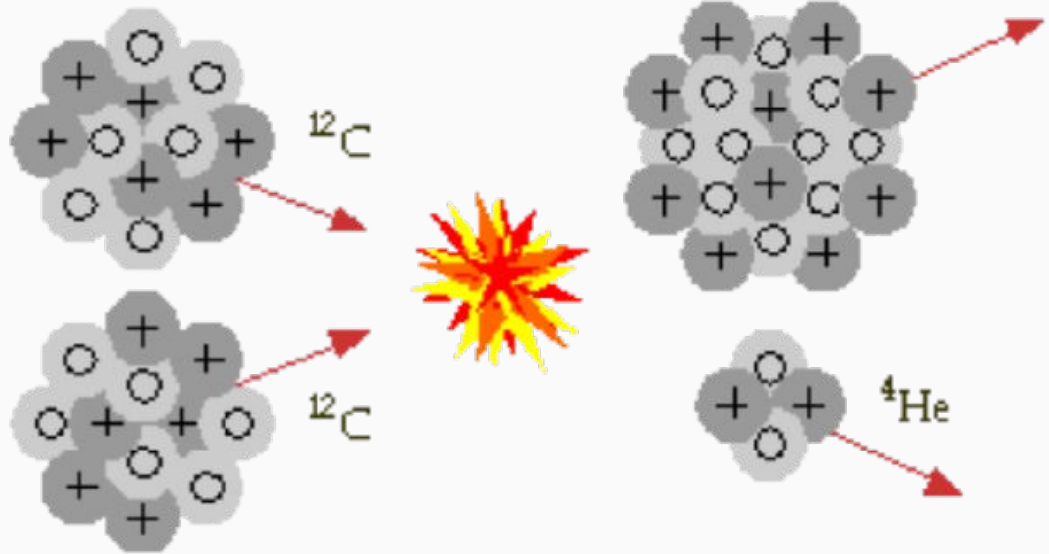
- Coulomb-szórás
- Ütközés atommagokkal
- Fragmentáció
- Fúzió



^{12}C általában

Energialeadás módjai:

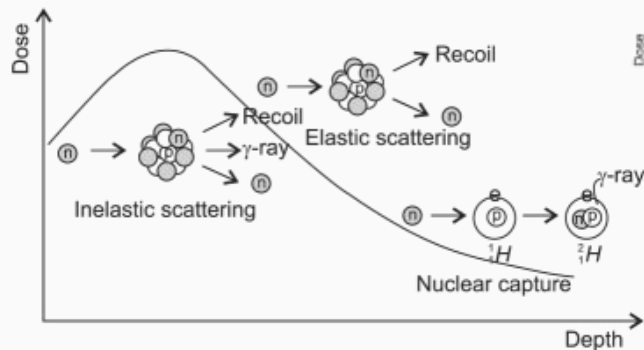
- Coulomb-szórás
- Ütközés atommagokkal
- Fragmentáció
- Fúzió



Energialeadás összefoglaló

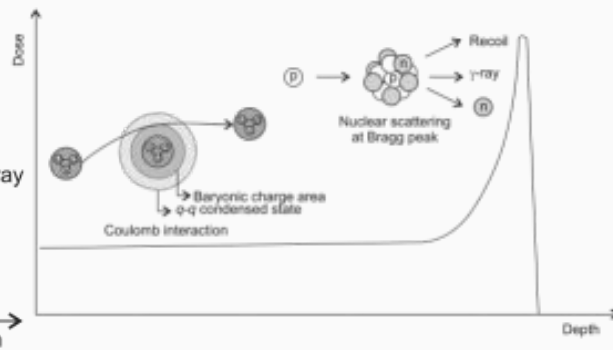
Neutron:

- Rugalmas ütközés
- Rugalmatlan ütközés
- Neutronbefogás



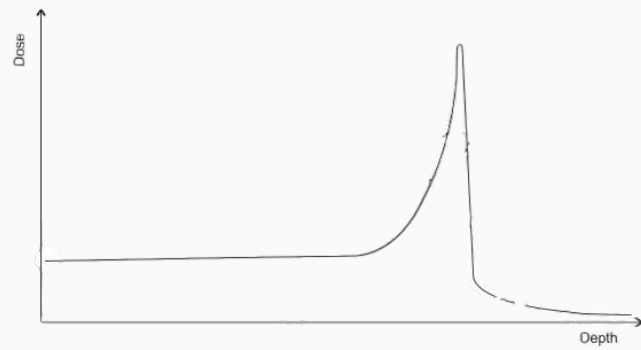
Proton:

- Coulomb-szórás
- Rugalmatlan ütközés
- Elektronfelvétel

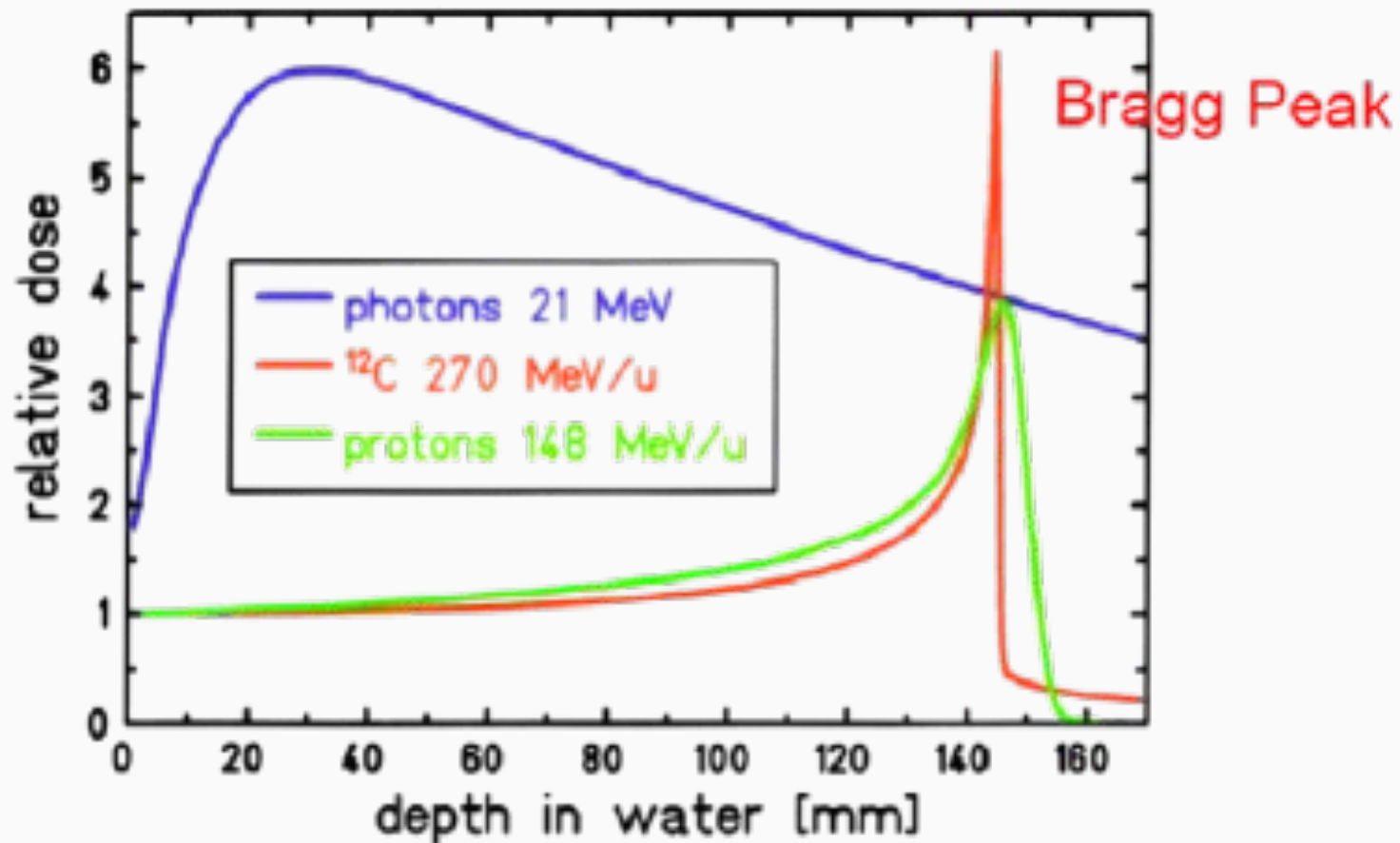


^{12}C atommag:

- Coulomb-szórás
- Ütközés atommagokkal
- Fragmentáció
- Fúzió



Összehasonlítás



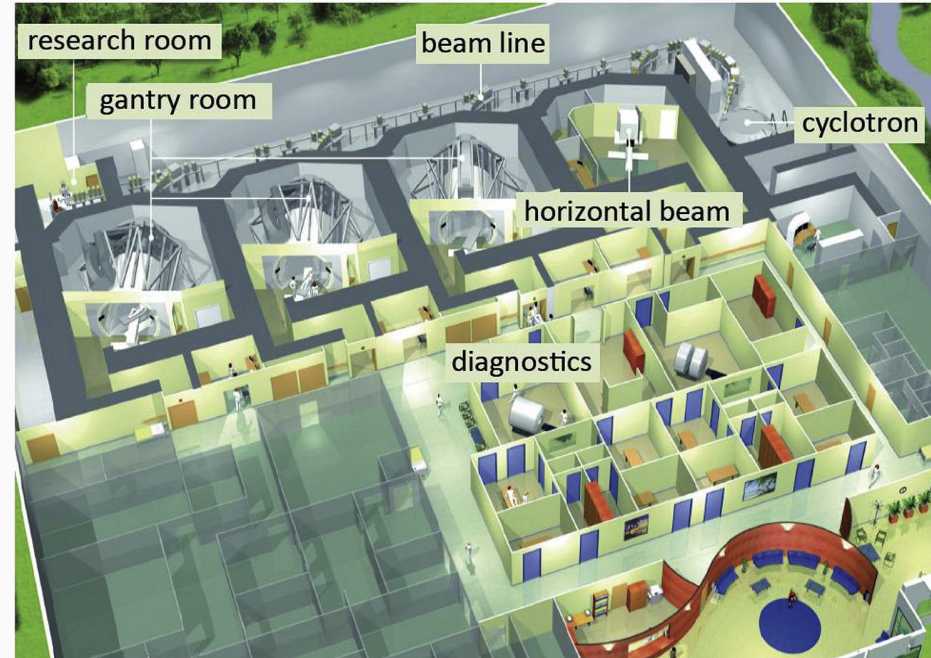
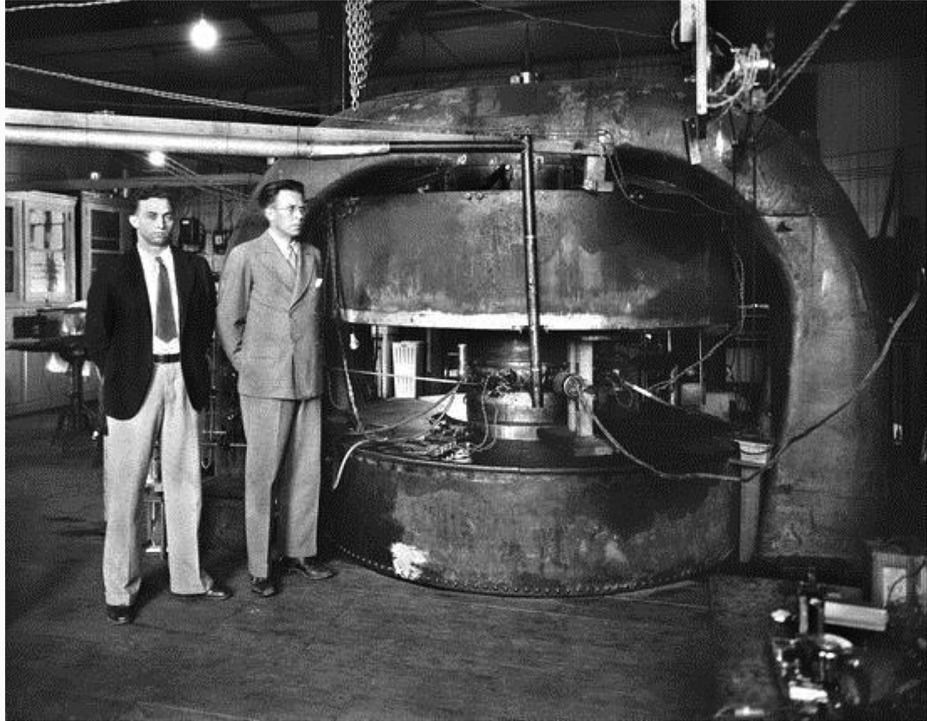
Protonterápia

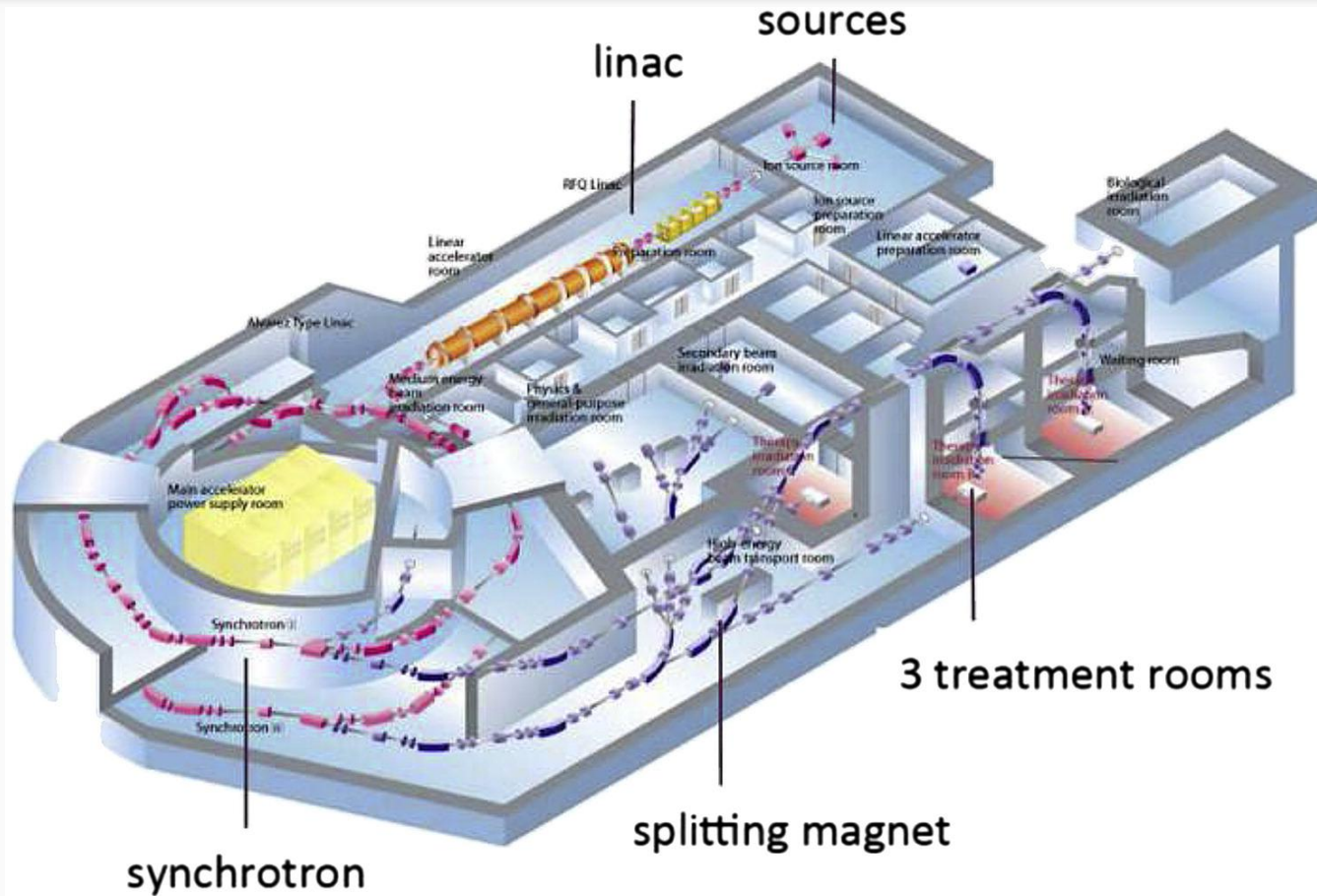
- 12% súlyos mellékhatás
- 46%-nak nem tért vissza
- 56% élt tovább

Radioterápia

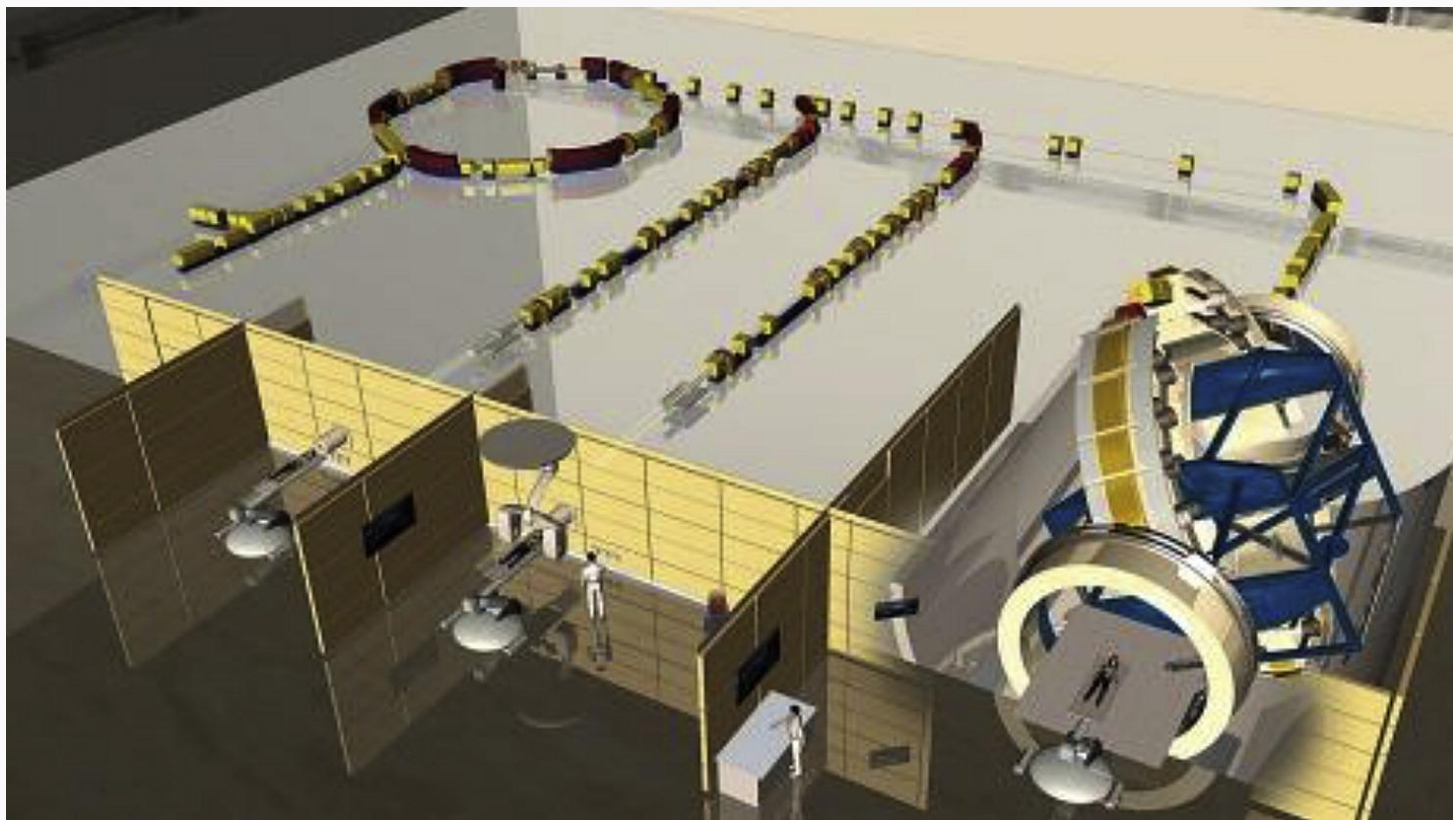
- 28% súlyos mellékhatás
- 49%-nak nem tért vissza
- 58% élt tovább
- Rosszabb életkörülmények

Gyorsítók





Gyorsítók



Terápia:

- Sugár
- Proton
- Neutron
- Szénion

Megépítés:

- 3 millió
- 20-150 millió
- ?
- 120+ millió

Kezelés:

- 5-14 ezer
- 30-120 ezer
- 20 ezer (régi)
- ~Proton

Források 1 (fizika)

https://en.wikipedia.org/wiki/Particle_therapy

https://en.wikipedia.org/wiki/Proton_therapy

https://en.wikipedia.org/wiki/Fast_neutron_therapy

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1120179715000629>

https://en.wikipedia.org/wiki/Bragg_peak

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3429896/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Relative_biological_effectiveness

https://en.wikipedia.org/wiki/Linear_energy_transfer

<https://www.codecogs.com/latex/eqneditor.php>

<https://www.cancerhealth.com/article/carbon-ion-therapy-cancer-treatment-available-us>

https://indico.cern.ch/event/622564/sessions/230439/attachments/1473754/2281551/C12_fragmentation_medicis.pdf

Források 2 (költségek)

<https://www.oncologynurseadvisor.com/home/cancer-types/general-oncology/cost-vs-benefits-the-controversy-over-proton-beam-radiotherapy/>

<https://www.current-oncology.com/index.php/oncology/article/view/2998/2162>

https://www.forbes.com/forbes/2009/0316/062_150mil_zapper.html

https://www.researchgate.net/publication/24359953_Cost_analysis_of_radiotherapy_carbon_ion_therapy_proton_therapy_and_BNCT_in_Japan

<https://link.springer.com/article/10.1007/BF03038905>

Források 3 (képek)

https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/i/inelastic_neutron_scattering.aspx

<https://www.toppr.com/guides/physics/work-energy-and-power/collisions/>

Gnuplot

Python

<https://slideplayer.com/slide/232106/>

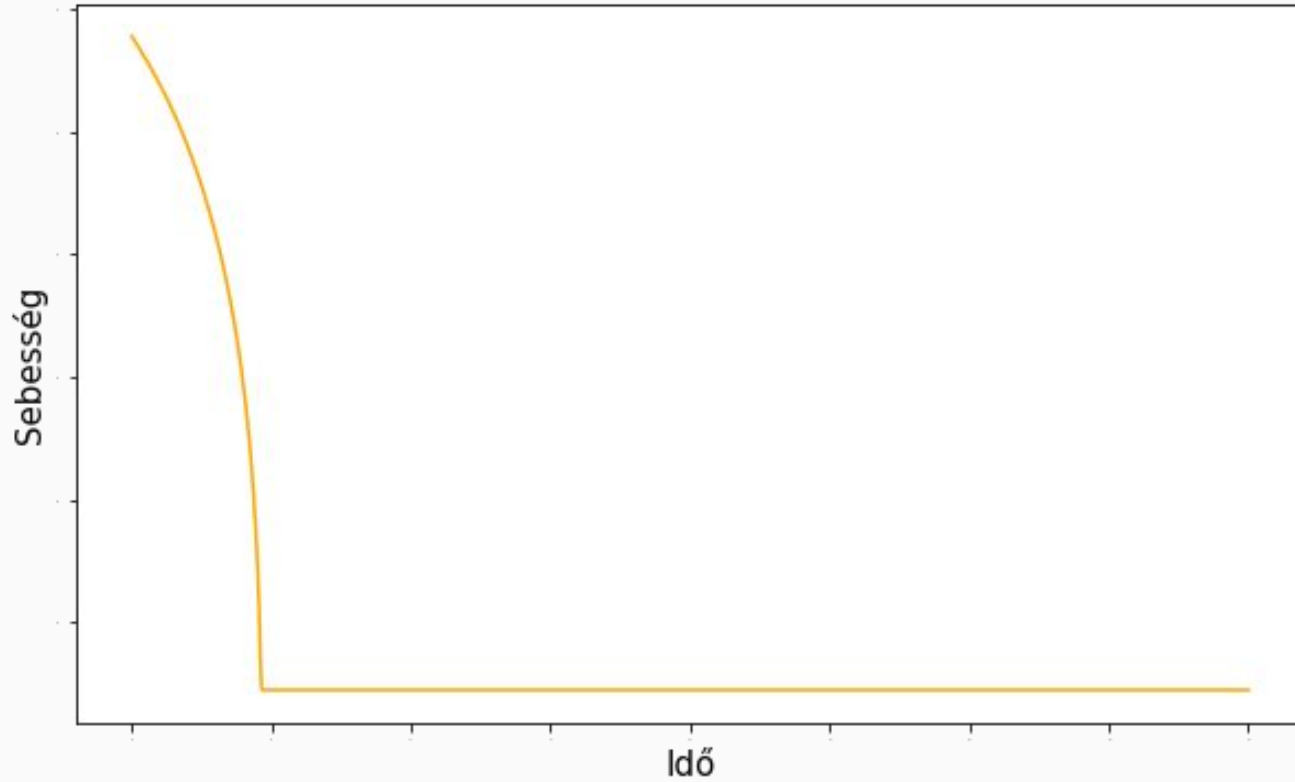
http://www.opencourse.info/astronomy/introduction/19.stars_death_high-mass/

https://www.researchgate.net/figure/Depth-dose-distribution-for-photons-and-monoenergetic-Bragg-curves-for-carbon-ions-and_fig2_26743759

Források 4 (egyéb)

<https://www.cancer.gov/news-events/cancer-currents-blog/2020/proton-therapy-safety-versus-traditional-radiation>

Bethe-formula



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