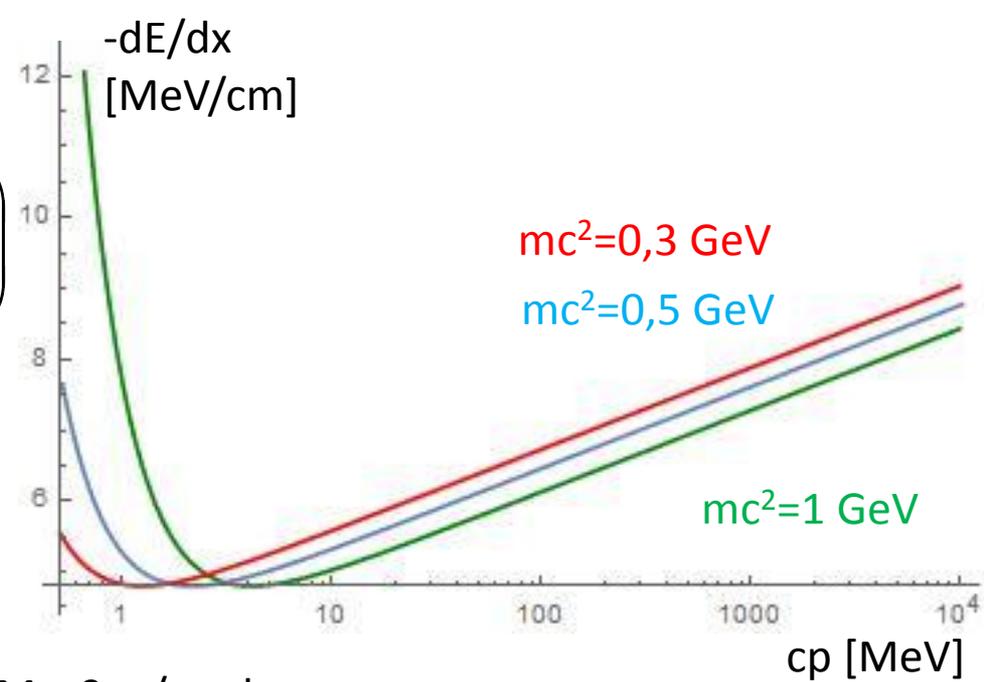


Ionizacijske izgube težkih delcev

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{Z^2 e^4}{\beta^2} \frac{r_e}{\epsilon_0} Z_A \rho_A \frac{N_A}{M_A} \ln \left(\frac{\gamma^2 \beta^2 c}{Z r_e \bar{v}} \right)$$

Bohr-ova formula



primer za izgube v Be, $Z_A=4$, $\rho_a=1,85 \text{ g/cm}^3$, $M_A=9 \text{ g/mol}$
 $Z=1$, $h\nu=100 \text{ eV}$

minimalno ionizirajoči delci: pri $\beta \sim 0,97$

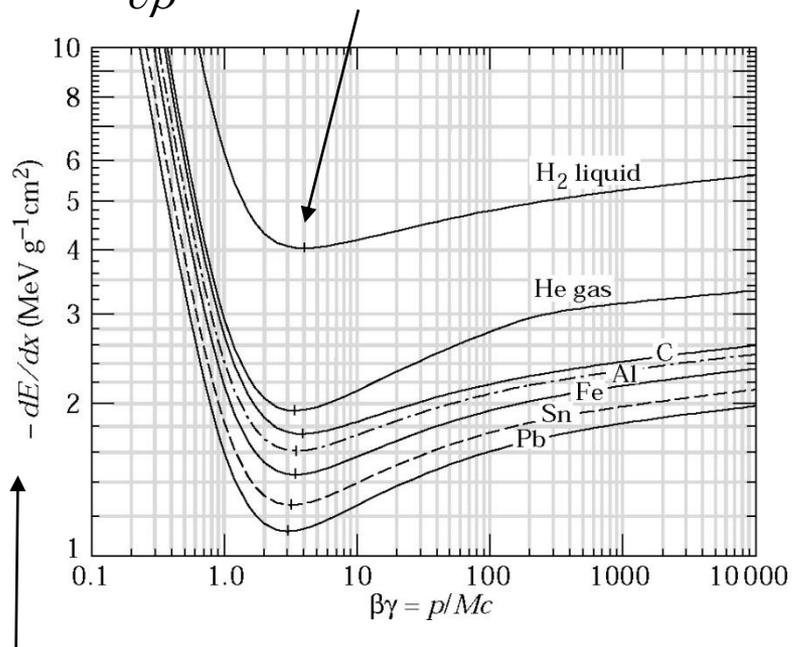
Ionizacijske izgube težkih delcev

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{Z^2 e^4}{\beta^2} \frac{r_e}{\epsilon_0} Z_A \rho \frac{N_A}{M_A}$$

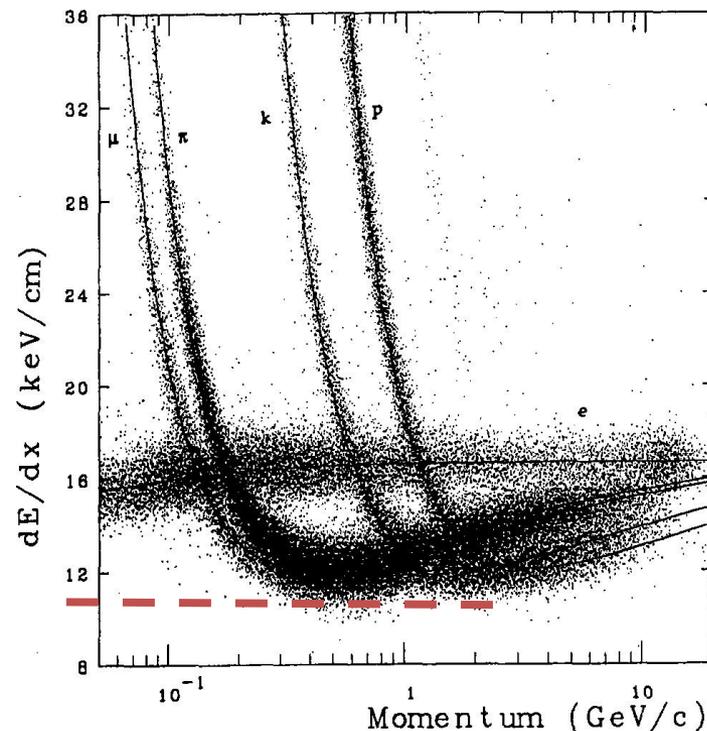
$$\left[\ln \left(\frac{2m_e \gamma^2 v^2 W_{\max}}{I^2} \right) - 2\beta^2 - \delta - 2 \frac{\chi}{Z} \right]$$

Bethe-Bloch-ova formula

$$\frac{\partial(dE/dx)}{\partial\beta} = 0 \Rightarrow \gamma\beta \approx 3,3 \quad (\beta \approx 0,96)$$



v resnici $dE/\rho dx \propto Z_A/M_A$



μ (leptoni, e^- , $m \sim 185 m_e$)

π (mezoni, $\bar{u}d$, $m \sim 1,3 m_\mu$)

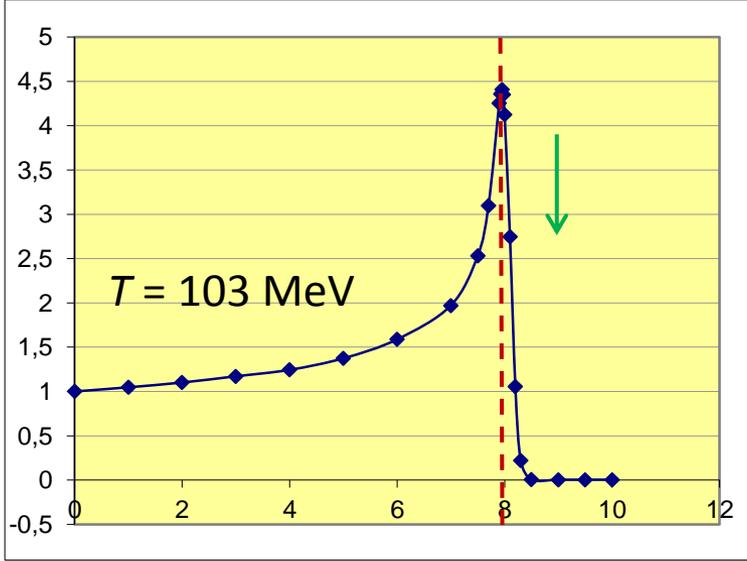
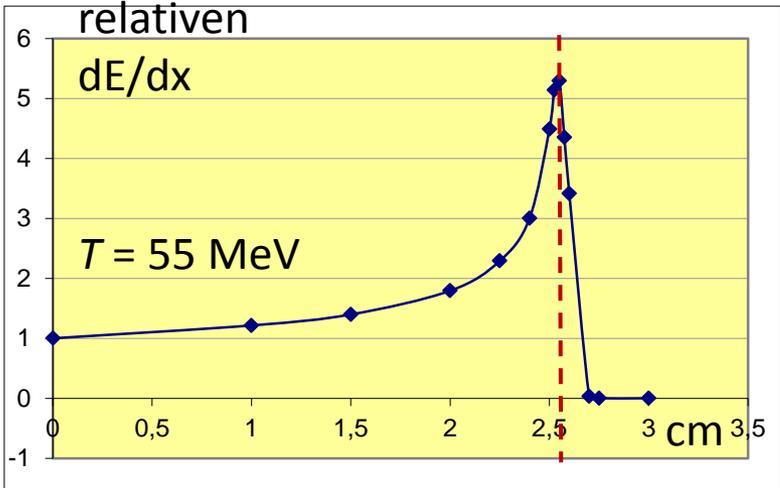
K (mezoni, $\bar{u}s$, $m \sim 3,5 m_\pi$)

p (barioni, uud , $m \sim 1,9 m_K$)

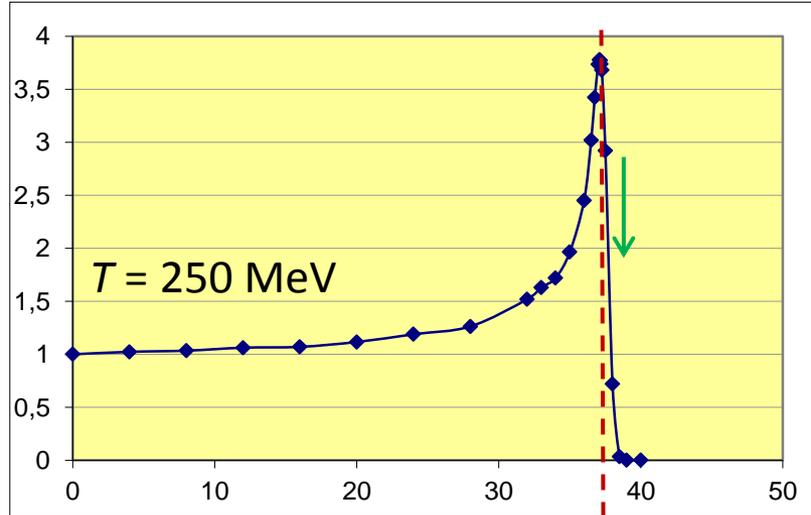
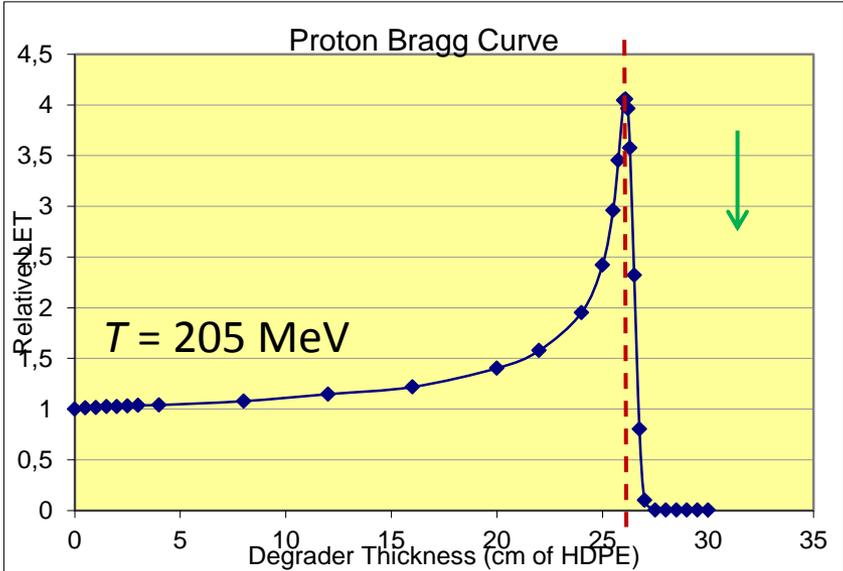
v isti snovi imajo različni delci z $\beta\gamma \sim 3,3$ približno enak (dE/dx)

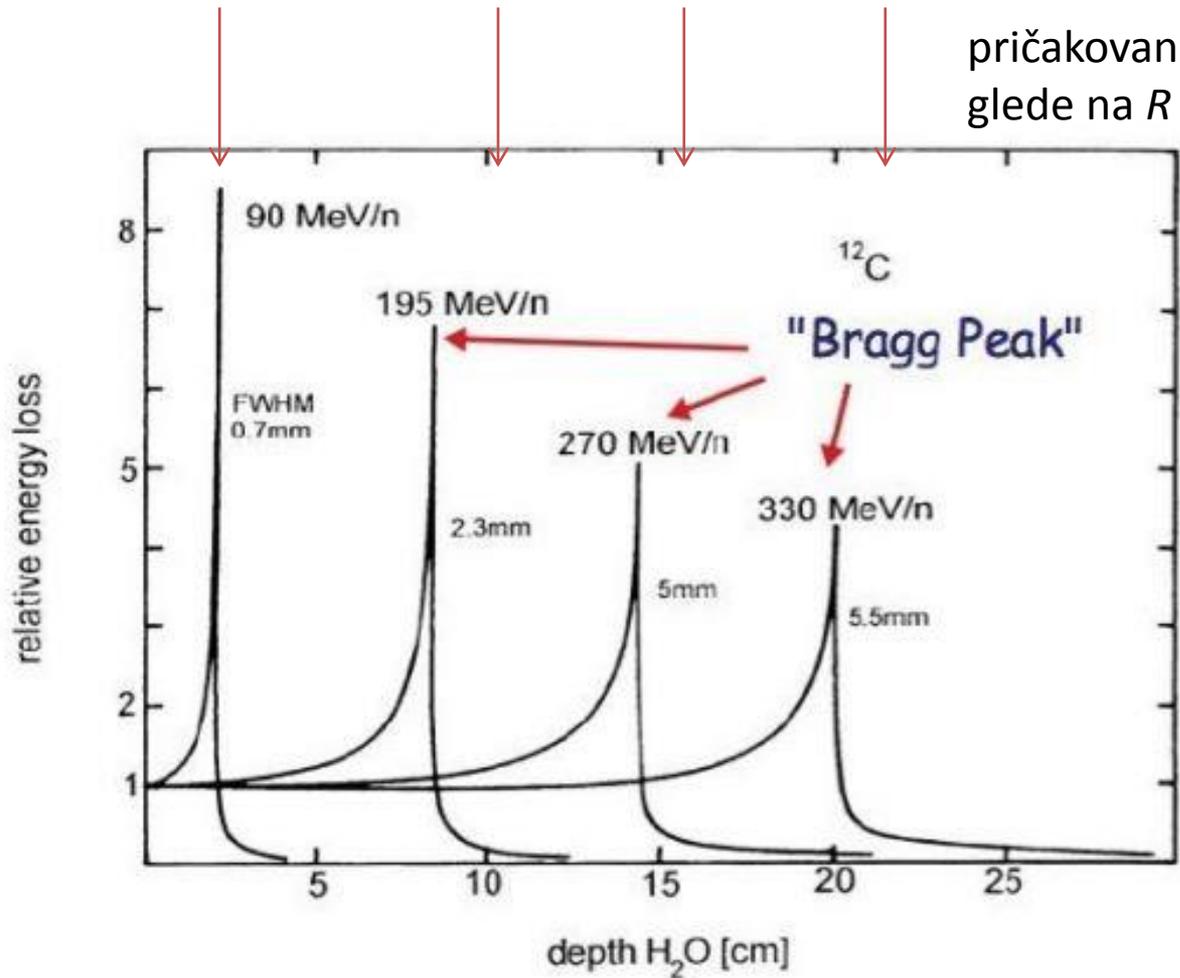
Doseg p v polietilenu ($\rho = 0,97 \text{ g/cm}^3$)

Bragg-ova krivulja, $dE/dx(x)$; pomembno pri npr. radioterapevtskih metoda, zaščiti pred sevanjem (vesoljski poleti), itd.



↓
pričakovan
doseg, če
 $R \propto T^2$





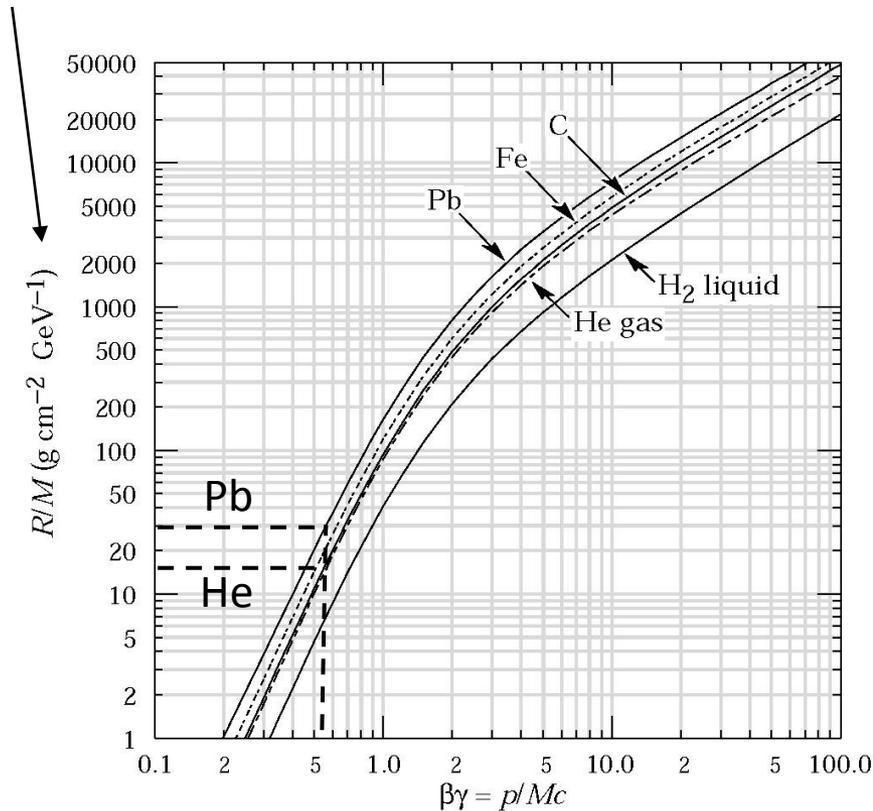
pričakovana pozicija
glede na $R \propto T^2$

Braggova krivulja za izotop ¹²C v vodi, pri različnih T ; z izbiro energije določimo doseg v snovi z maksimalno depozicijo energije (radioterapija)

Z višanjem energije se višina Braggovega vrha manjša, širina pa večja

povprečen doseg delca z maso M in $\beta\gamma$ v različnih snoveh;

v resnici $R\rho/M$



npr. p z gib. kol. $500 \text{ MeV}/c$, $\beta\gamma=0,53$;
 R/M v He $\sim 15 \text{ g/cm}^2\text{GeV}$, $M=0,938 \text{ GeV}/c^2$
 $\Rightarrow \rho R=14,1 \text{ g/cm}^2$; $R=790 \text{ m}$
 R/M v Pb $\sim 30 \text{ g/cm}^2\text{GeV}$,
 $\rho R=28 \text{ g/cm}^2$; $R=2,5 \text{ cm}$