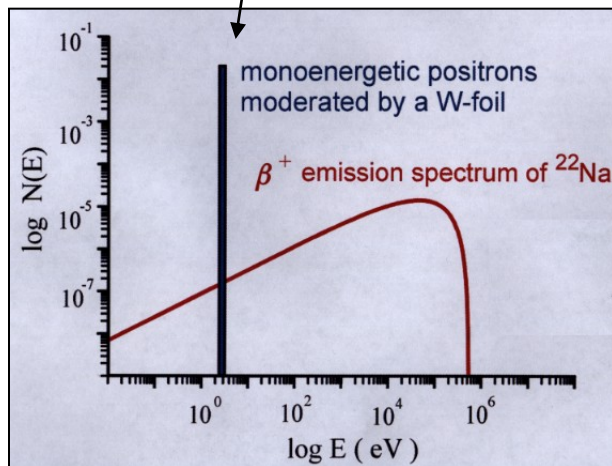


Svazek pomalých pozitronů

- pozitrony emitované β^+ zářičem

moderované pozitrony



- střední hloubka průniku $\int_0^{\infty} z P(z) dz = \frac{1}{\alpha}$

Příklad:

$$\text{Mg: } \alpha^{-1} = 154 \mu\text{m}$$

$$\text{Al: } \alpha^{-1} = 99 \mu\text{m}$$

$$\text{Cu: } \alpha^{-1} = 30 \mu\text{m}$$

- pravděpodobnost, že pozitron pronikne do hloubky z $P(z) = \alpha e^{-\alpha z}$

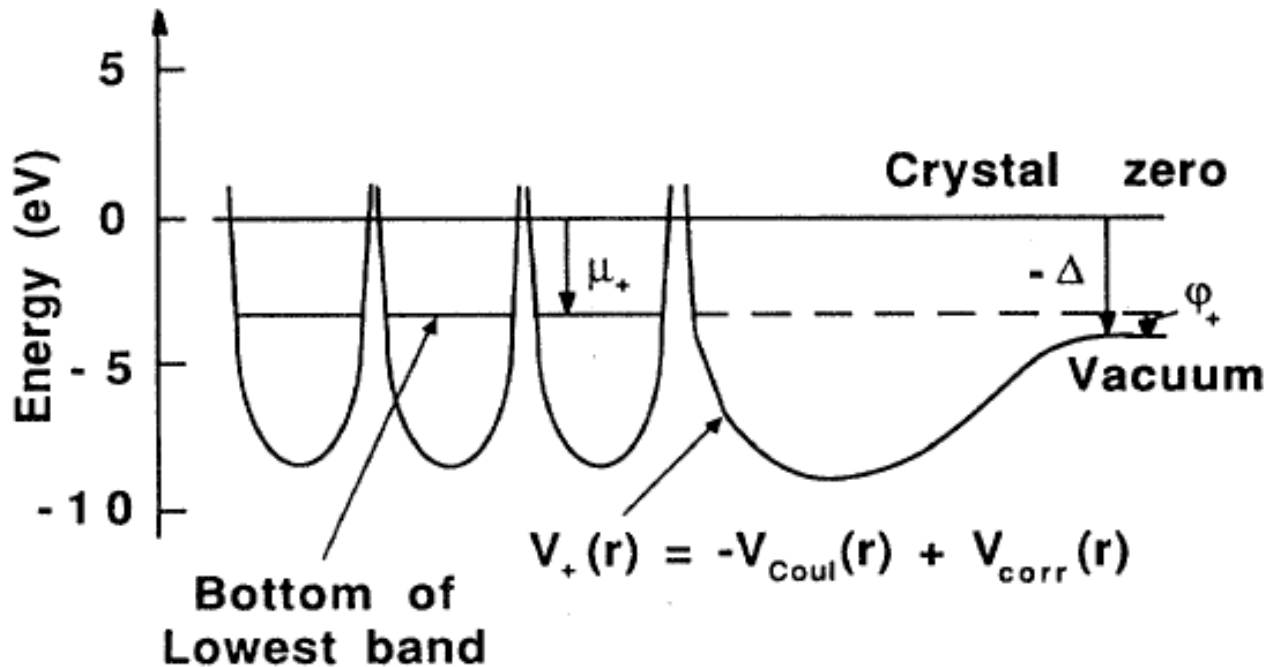
$$\alpha [\text{cm}^{-1}] = 16 \frac{\rho [\text{g cm}^{-3}]}{E_{\text{max}}^{1.4} [\text{MeV}]}$$

ρ – hustota materiálu

$$E_{\text{max}} = 0.545 \text{ MeV} \quad (\text{pro } ^{22}\text{Na})$$

Moderátor pozitronů

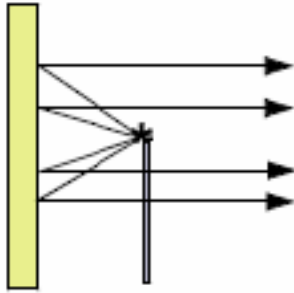
Výstupní práce pozitronu



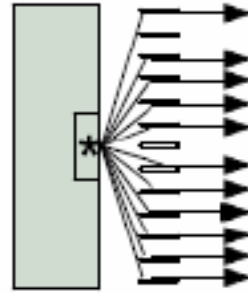
materiál	ϕ_+
Al (100)	-0.16(3)
Al (111)	0.065(3)
Cr (100)	-1.76(5)
W (100)	-3.0(1)
W (110)	-3.0(2)
Ne	0.61(1)
Ar	1.55(5)

Moderátor pozitronů

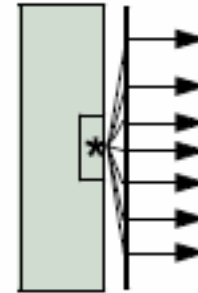
některé geometrie moderátorů pozitronů



zpětný rozptyl



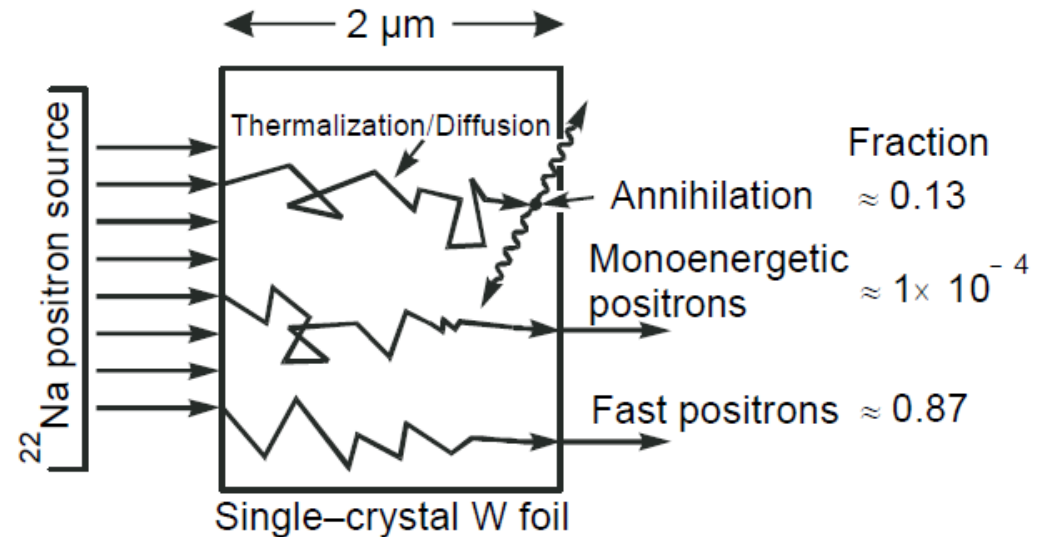
horizontální desky



transmisní geometrie

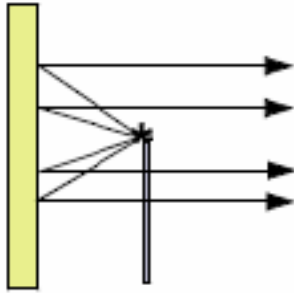
účinnost moderátoru:

$$\varepsilon = \frac{N_{thermalizd}}{N_{incident}}$$

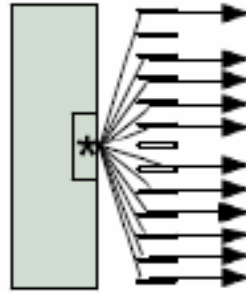


Moderátor pozitronů

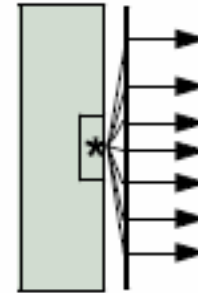
některé geometrie moderátorů pozitronů



zpětný rozptyl



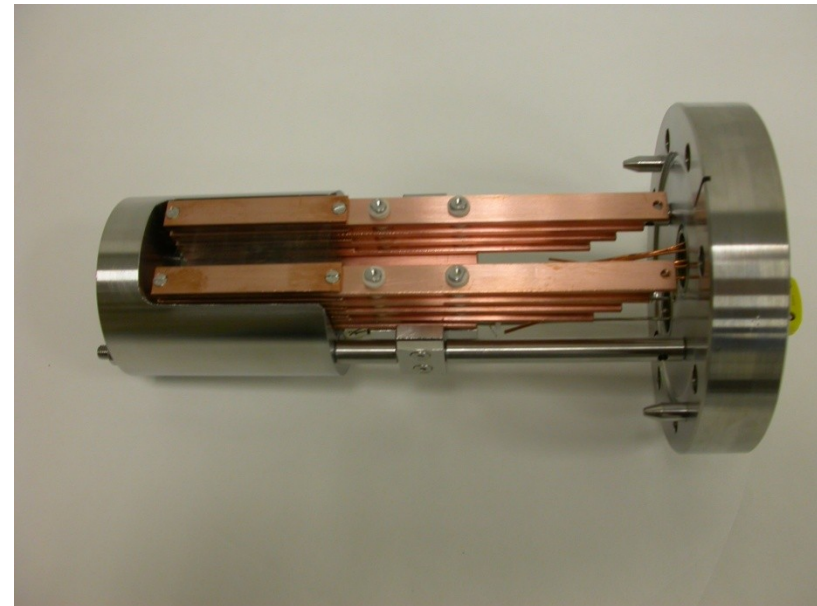
horizontální desky



transmisní geometrie

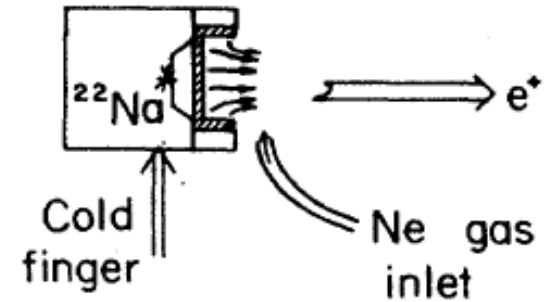
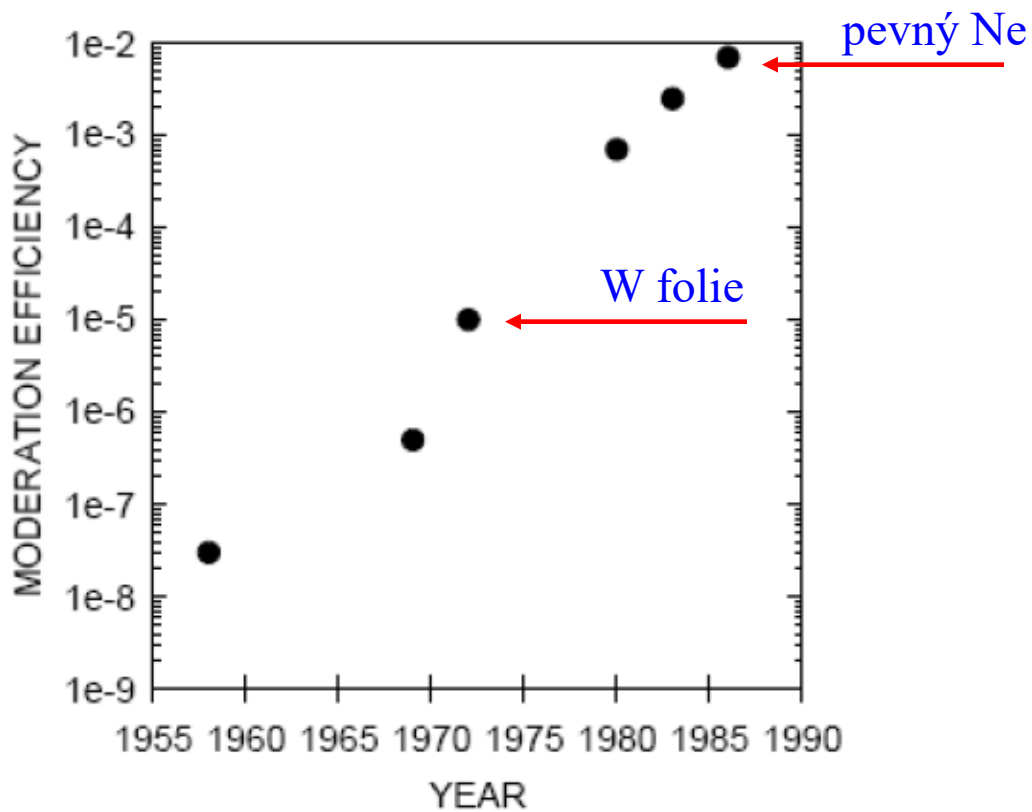
účinnost moderátoru:

$$\varepsilon = \frac{N_{thermalizd}}{N_{incident}}$$



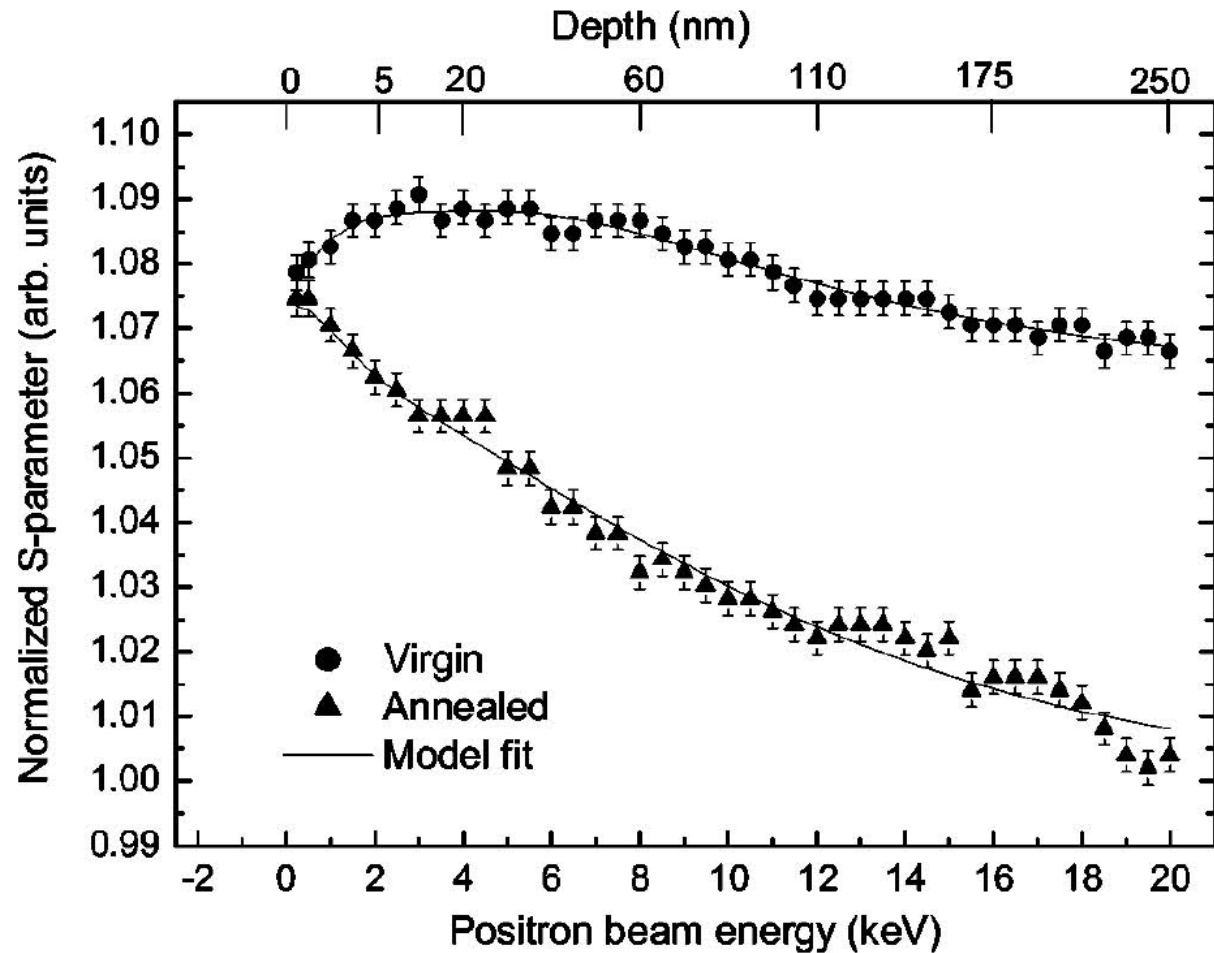
Moderátor pozitronů

účinnost moderátoru:
$$\varepsilon = \frac{N_{thermalizd}}{N_{incident}}$$



Moderátor pozitronů

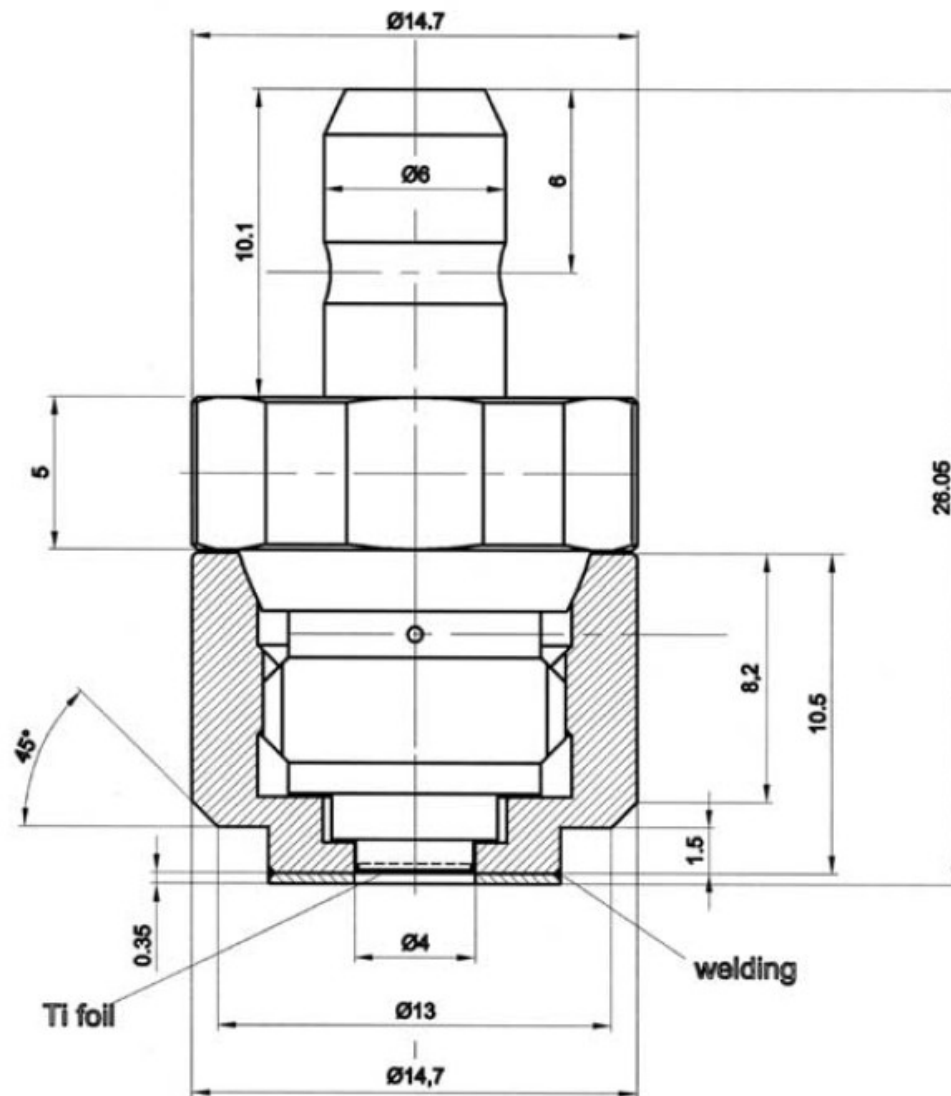
polykrystalická W folie



Svazky pomalých pozitronů

^{22}Na zdroj pro svazek pomalých pozitronů

- iThemba Labs (Jižní Afrika)
- 50 mCi = 1.85 GBq
- klasický pozitronový zdroj $A \approx 1$ MBq
- svazek pomalých pozitronů $A \approx 1$ GBq



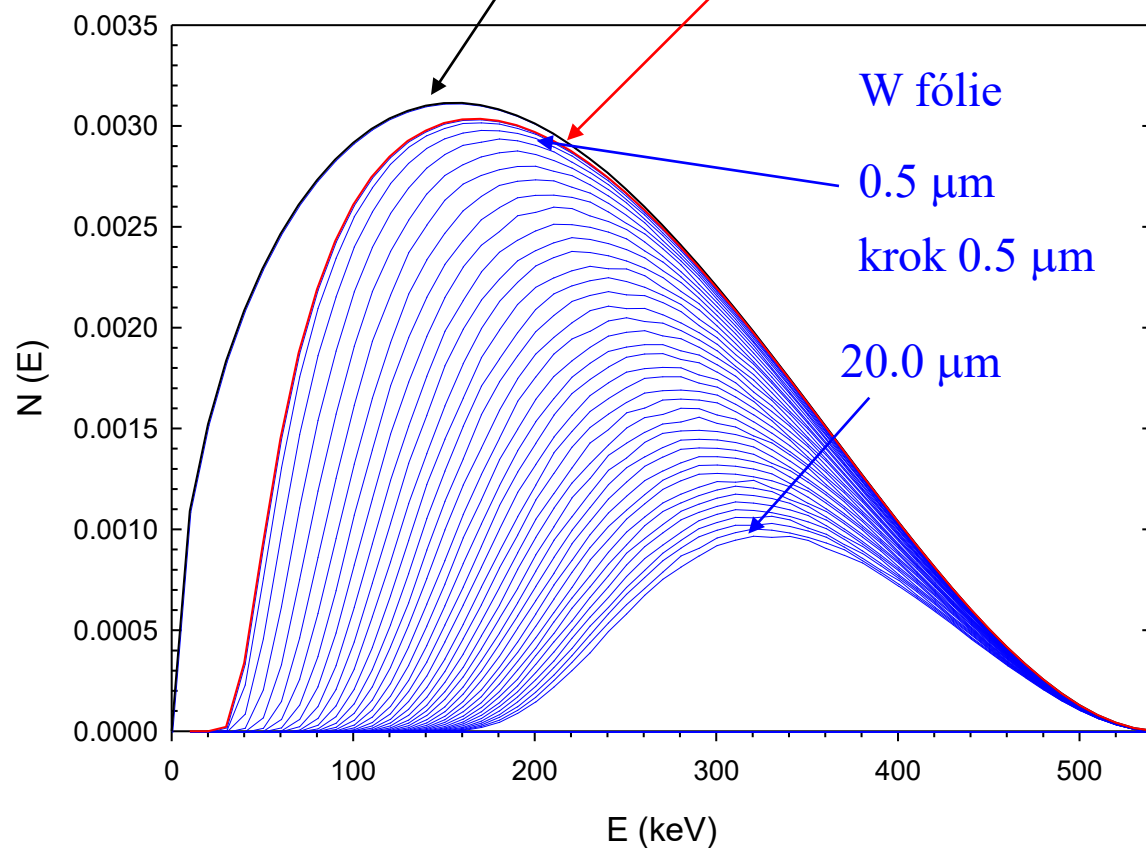
Svazky pomalých pozitronů

^{22}Na zdroj pro svazek pomalých pozitronů

- okénko - 5 μm Ti fólie

výchozí energetické spektrum e^+ emitovaných ^{22}Na

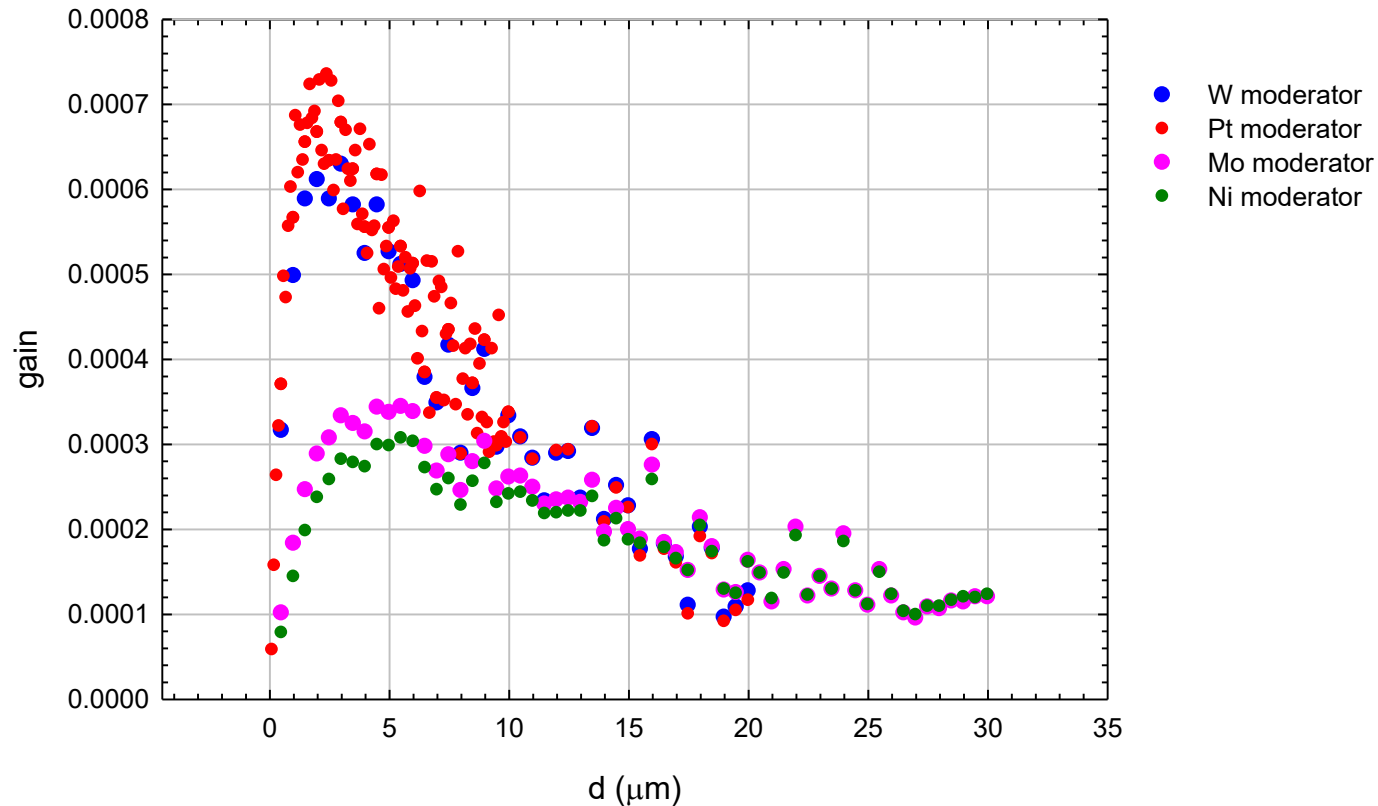
energetické spektrum e^+ po průchodu 5 μm Ti fólií



Svazky pomalých pozitronů

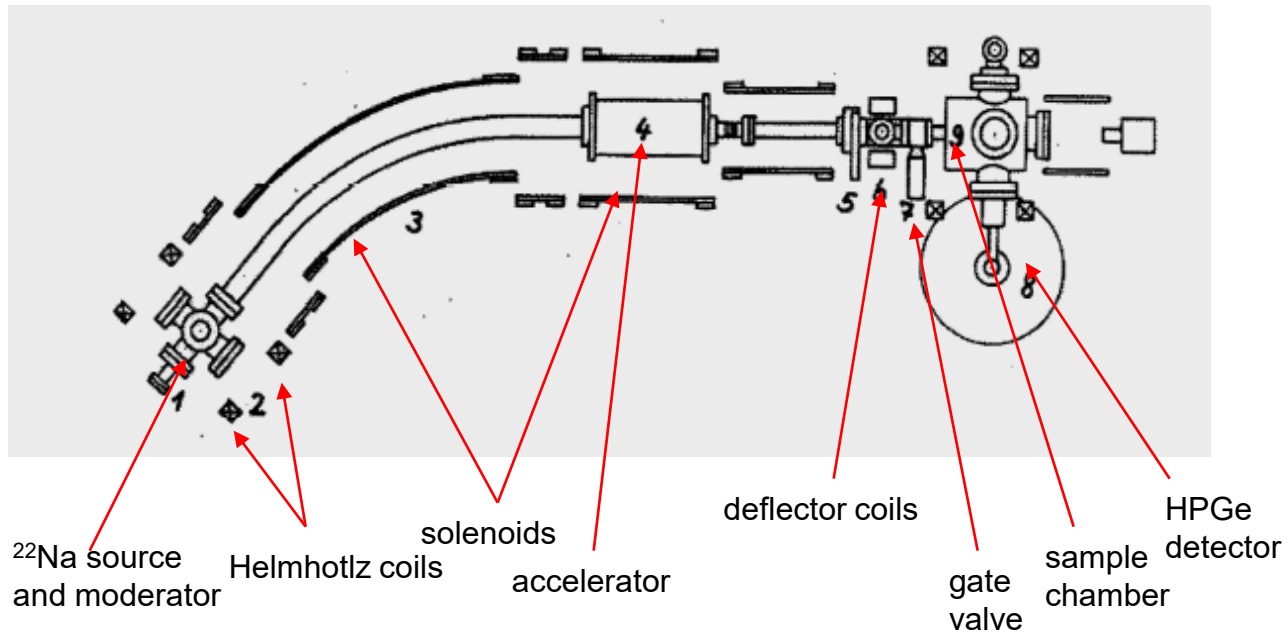
^{22}Na zdroj pro svazek pomalých pozitronů

- okénko - 5 μm Ti fólie
- transmisní geometrie moderátoru
- výtěžek pomalých pozitronů



Svazek pomalých pozitronů

- svazek pomalých pozitronů (Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf)
- výběr pomalých pozitronů – zatočení svazku
- magnetické vedení svazku solenoidy

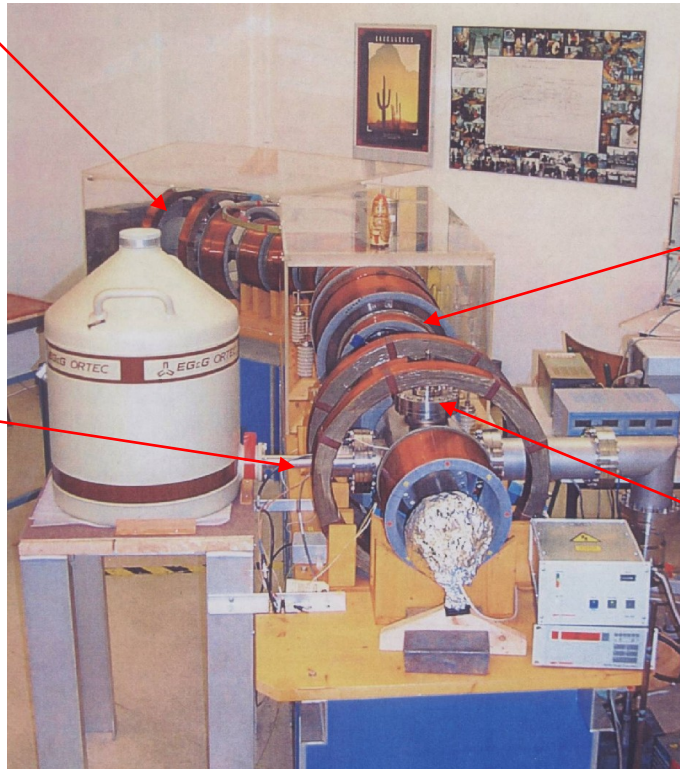


Svazek pomalých pozitronů

- svazek pomalých pozitronů (Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf)
- výběr pomalých pozitronů – zatočení svazku
- magnetické vedení svazku solenoidy

^{22}Na pozitronový zdroj + W moderátor

HPGe detektor



urychlovač

komora se vzorkem

Svazek pomalých pozitronů

- svazek pomalých pozitronů (MFF UK)
- výběr pomalých pozitronů – zatočení svazku
- magnetické vedení svazku

^{22}Na pozitronový zdroj
+ W moderátor

urychlovač

komora se vzorkem

HPGe detektory



Implantační profil monoenergetických pozitronů

- monoenergetické pozitrony o energii E

$$z_0 = \frac{AE^r}{\rho \Gamma \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

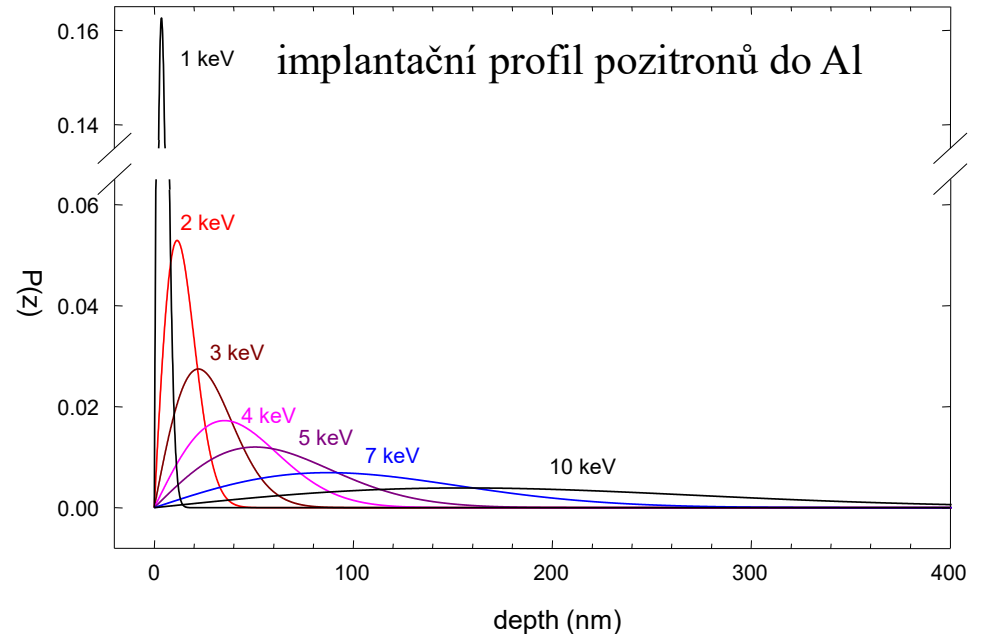
$$A = 4 \times 10^{-3} \text{ gcm}^{-2} \text{ keV}^{-r}$$

$$m = 2$$

$$r = 1.6$$

$$P(z, E) = \frac{mz^{m-1}}{z_0^m} \exp \left[- \left(\frac{z}{z_0} \right)^m \right]$$

- střední hloubka průniku: $\bar{z} = \frac{AE^r}{\rho}$



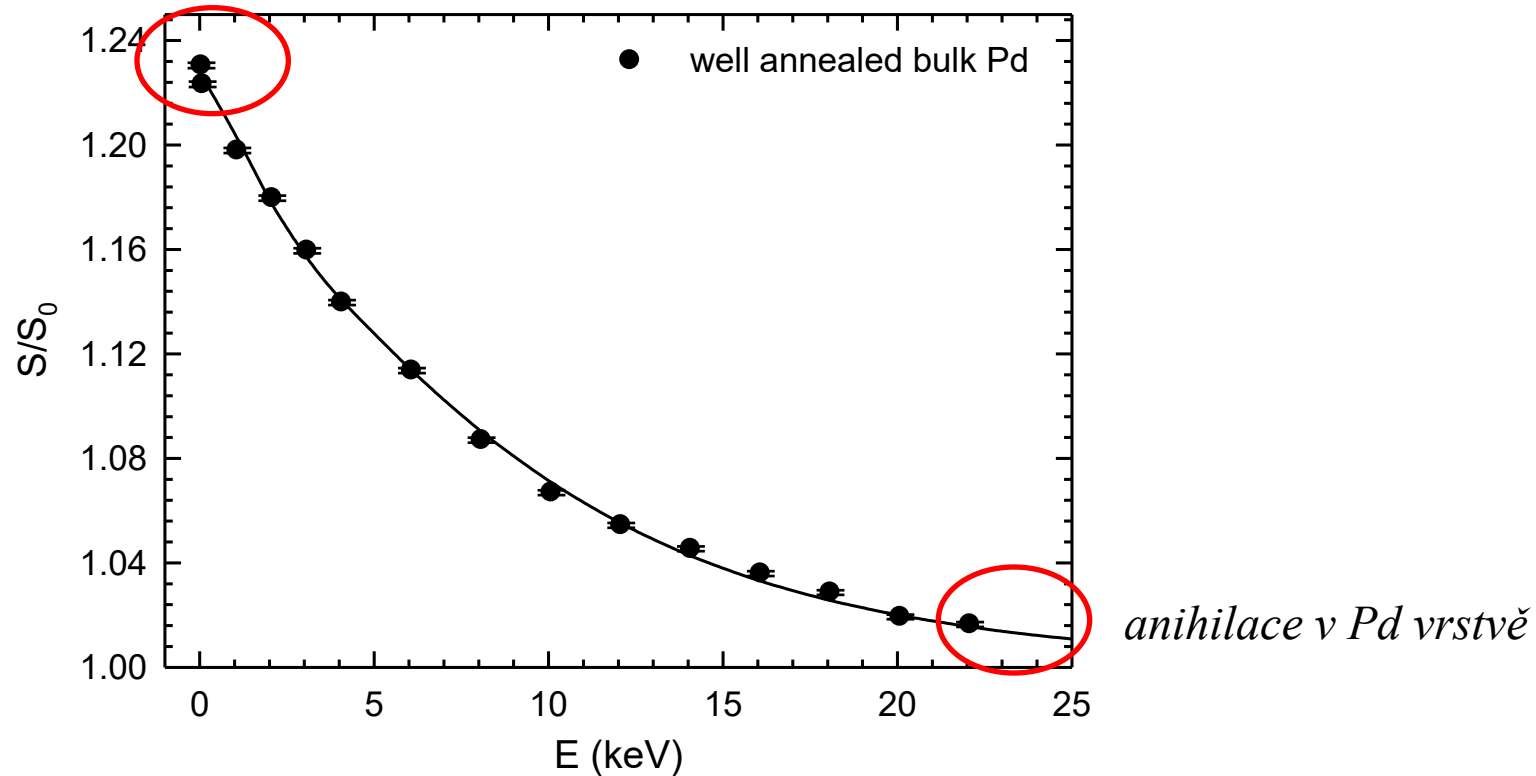
Svazek pomalých pozitronů s laditelnou energií

- studium hloubkového profilu defektů
- studium tenkých vrstev
- měření zpětné difúze pozitronů

Charakterizace defektů v Pd

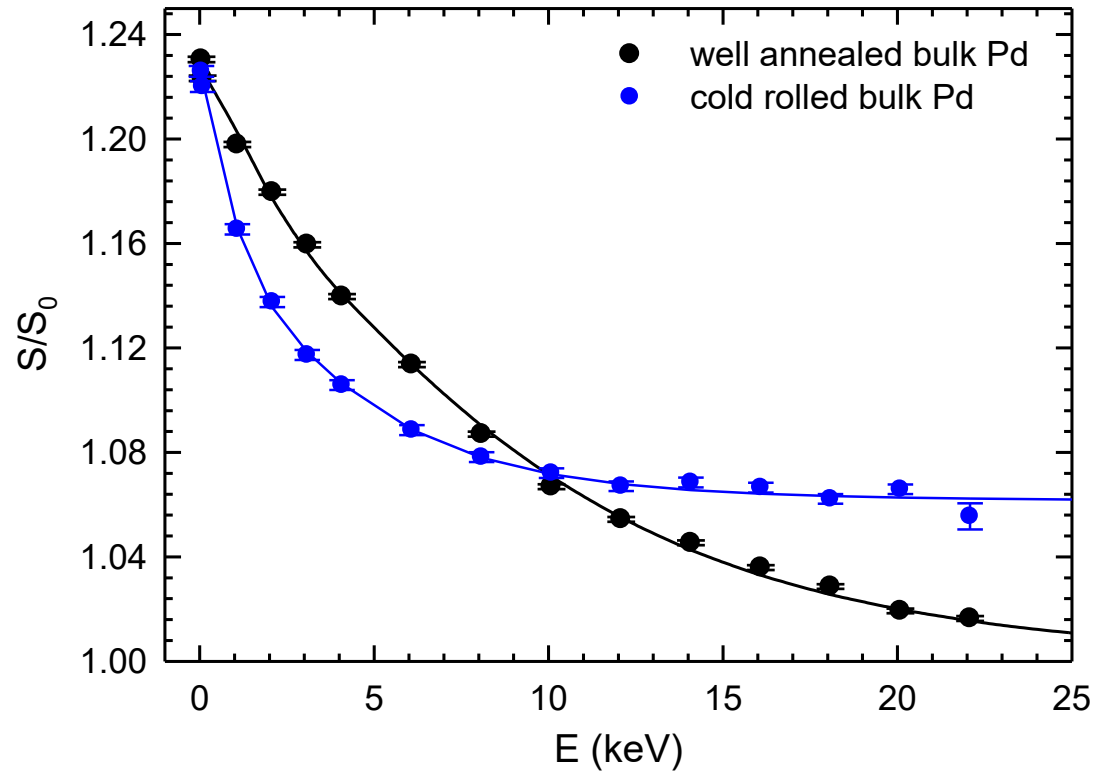
- charakterizace defektů na svazku pozitronů s laditelnou energií
- střední difúzní délka pozitronu: $L_+ = (151 \pm 4)$ nm

povrchový stav



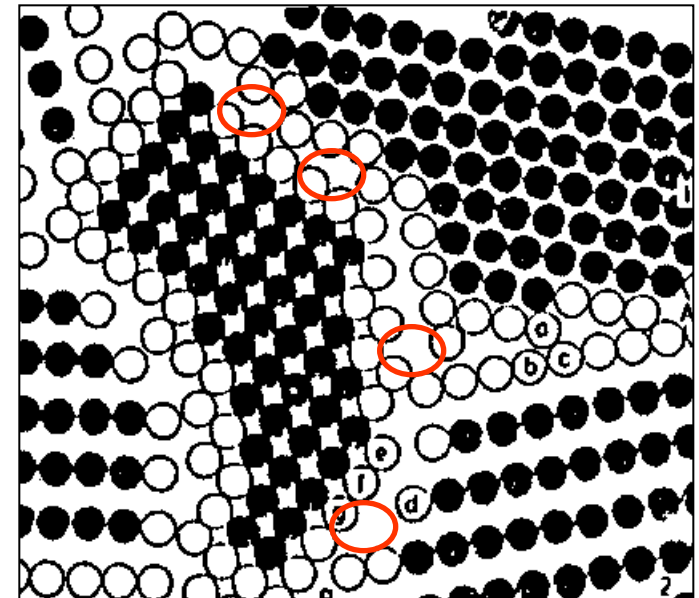
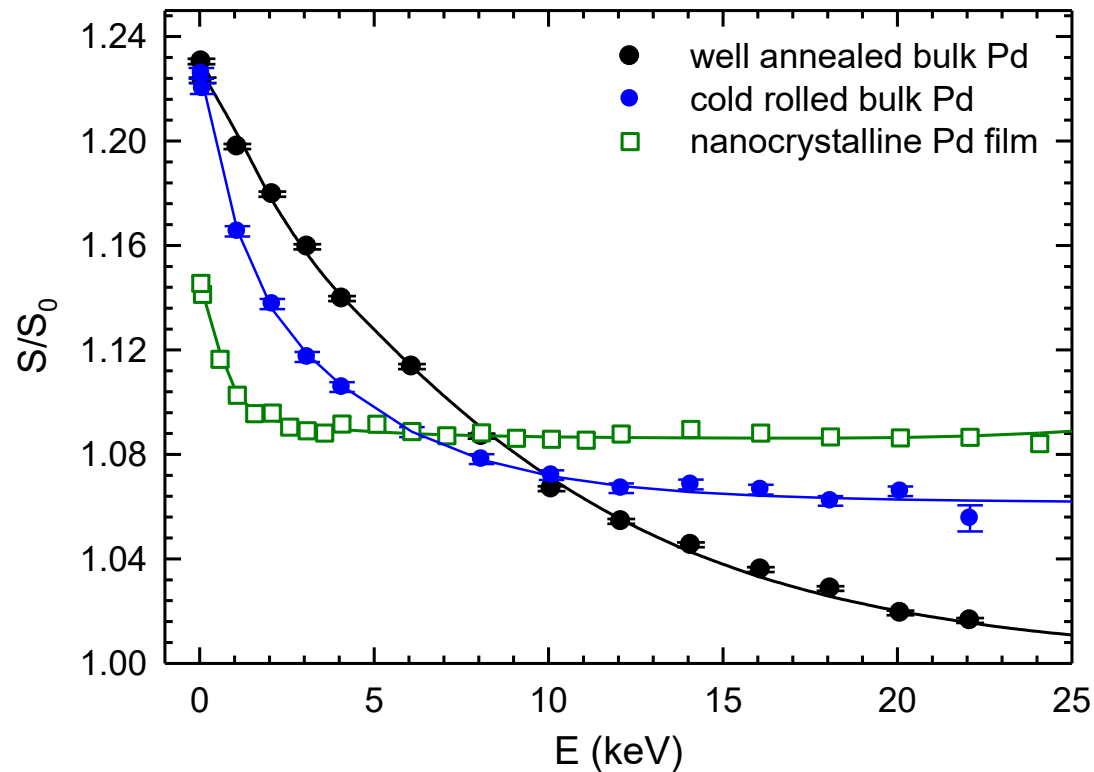
Charakterizace defektů v Pd

- charakterizace defektů na svazku pozitronů s laditelnou energií
- plastická deformace → nárůst S , zkrácení L_+



Charakterizace defektů v Pd

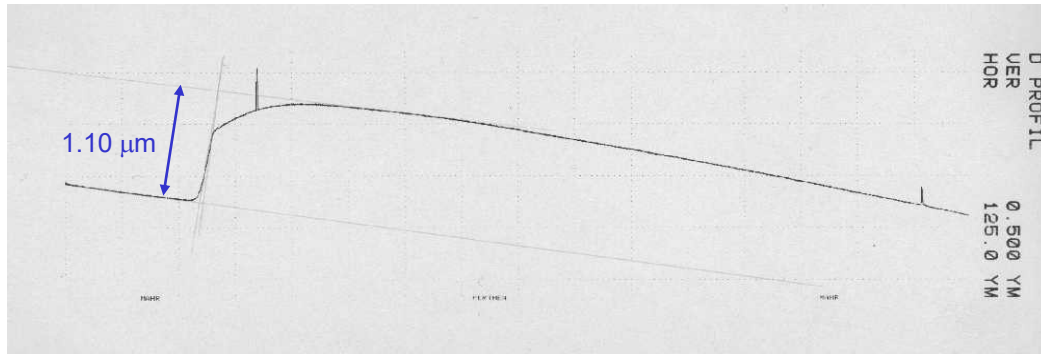
- charakterizace defektů na svazku pozitronů s ladicí energií
- nanokrystalický Pd film – záchyt pozitronů v misfit defektech na hranicích zrn



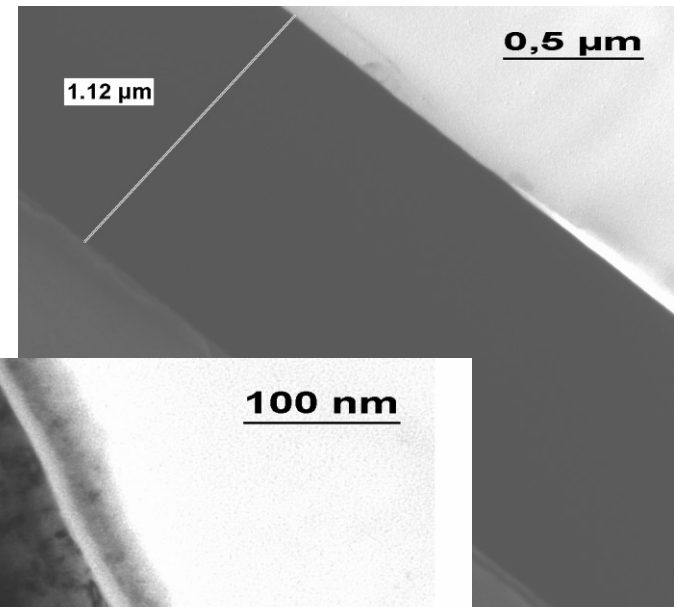
Tenké vrstvy Nb dopované vodíkem

Nb film o tloušťce 1.1 μm pokrytý Pd vrstvou o tloušťce 20 nm

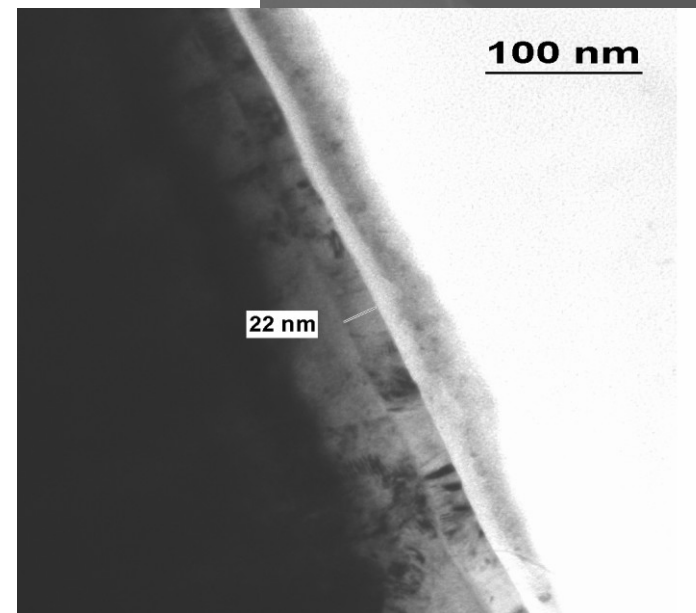
- tloušťka (1100 ± 50) nm (profilometrie)



- (1120 ± 20) nm (TEM)

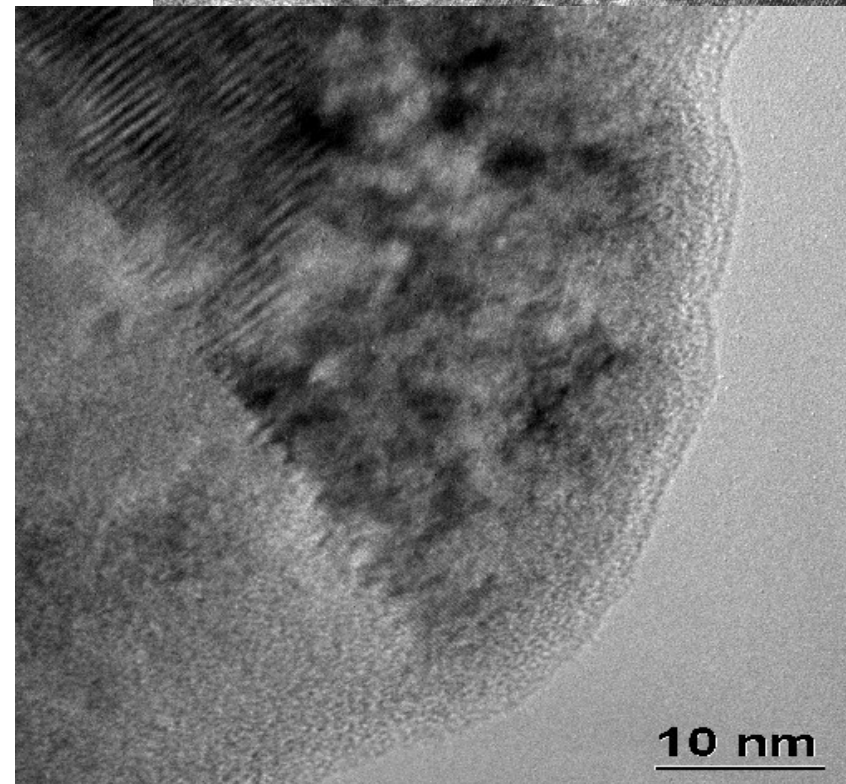
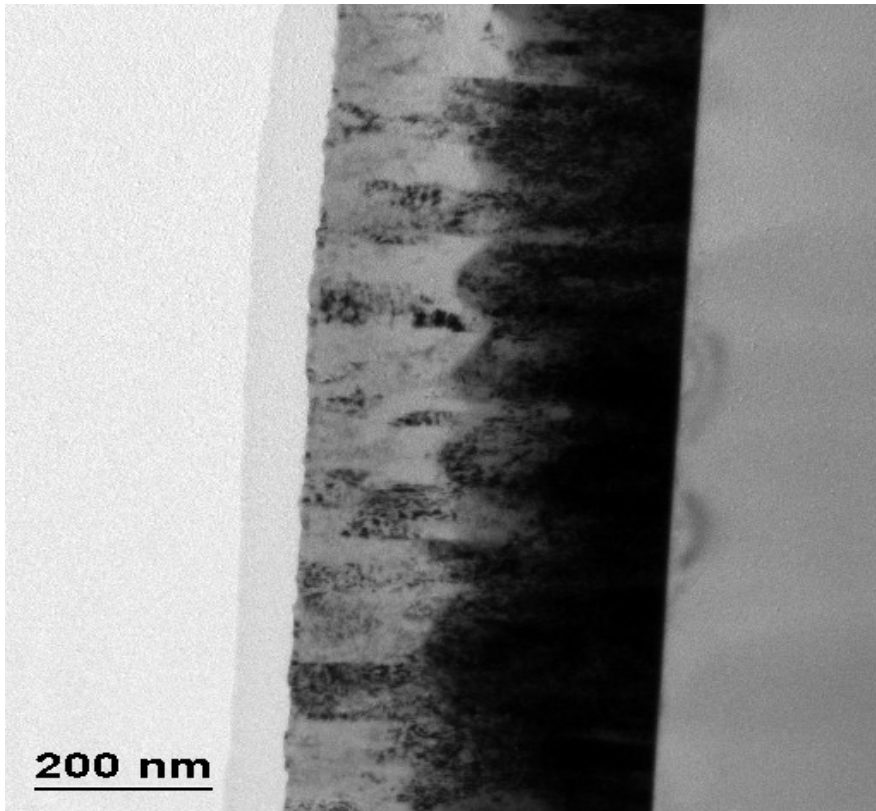
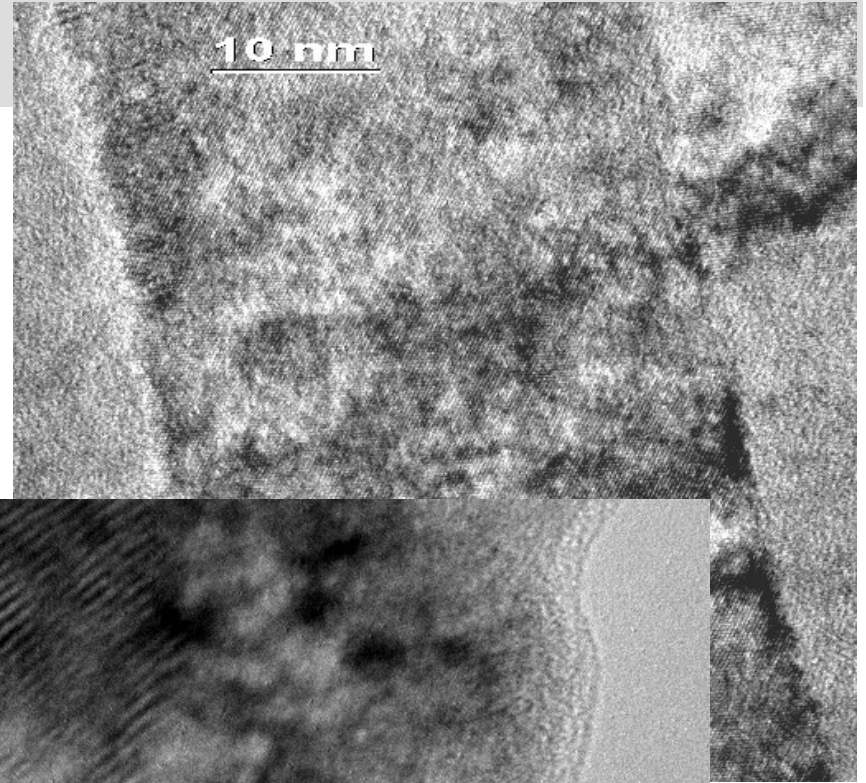


- na povrchu deponována Pd vrstva (20 nm)



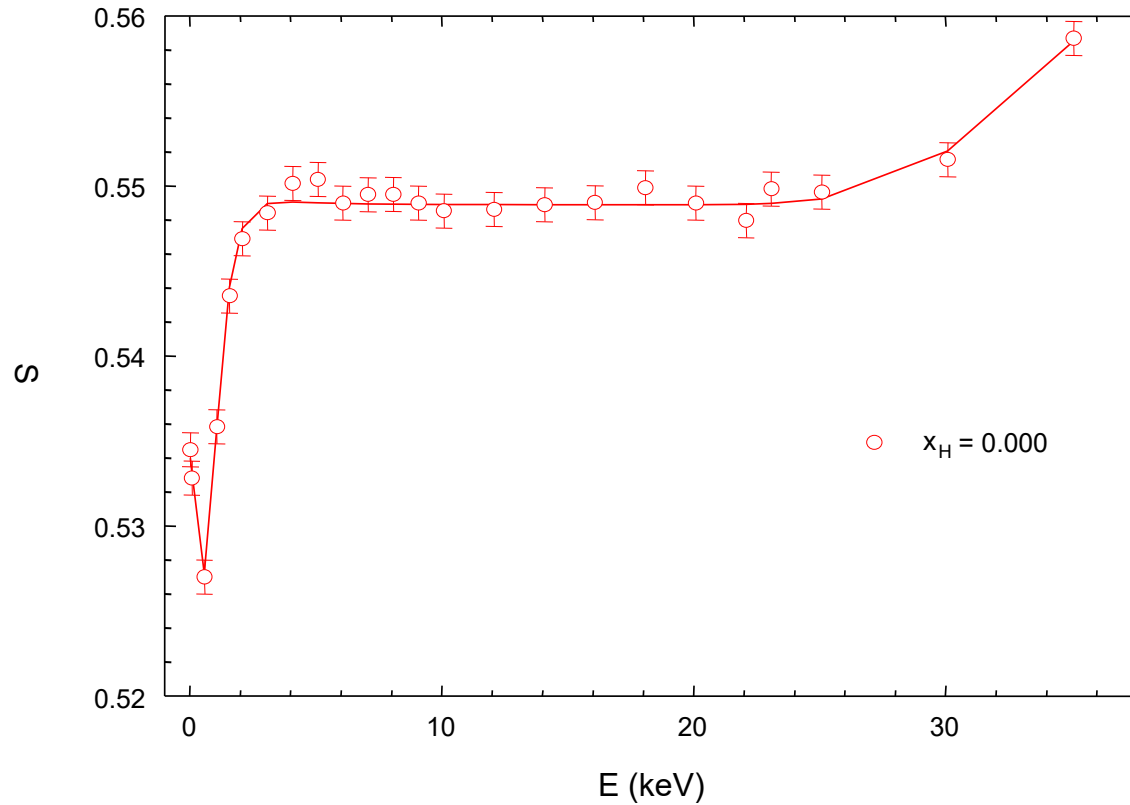
Tenké vrstvy Nb dopované vodíkem

- sloupcovité krystality
- šířka ≈ 50 nm



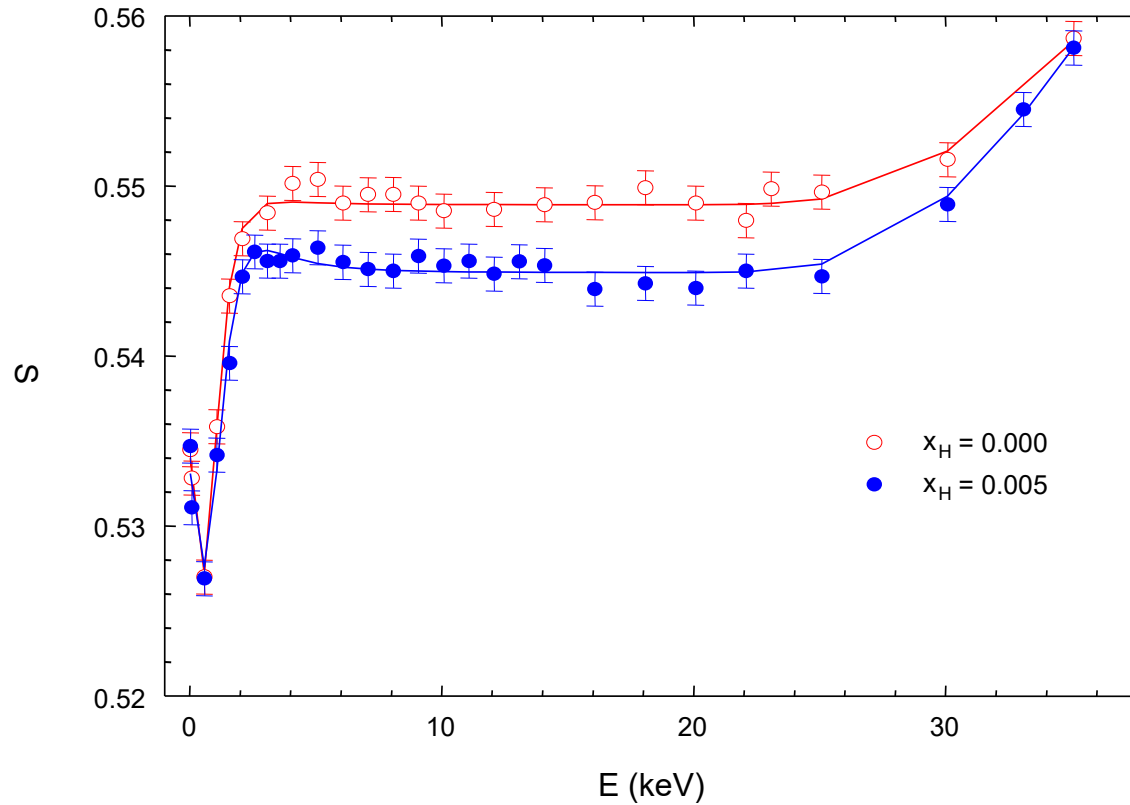
Tenké vrstvy Nb dopované vodíkem

Nb film o tloušťce 1.1 μm pokrytý Pd vrstvou o tloušťce 20 nm



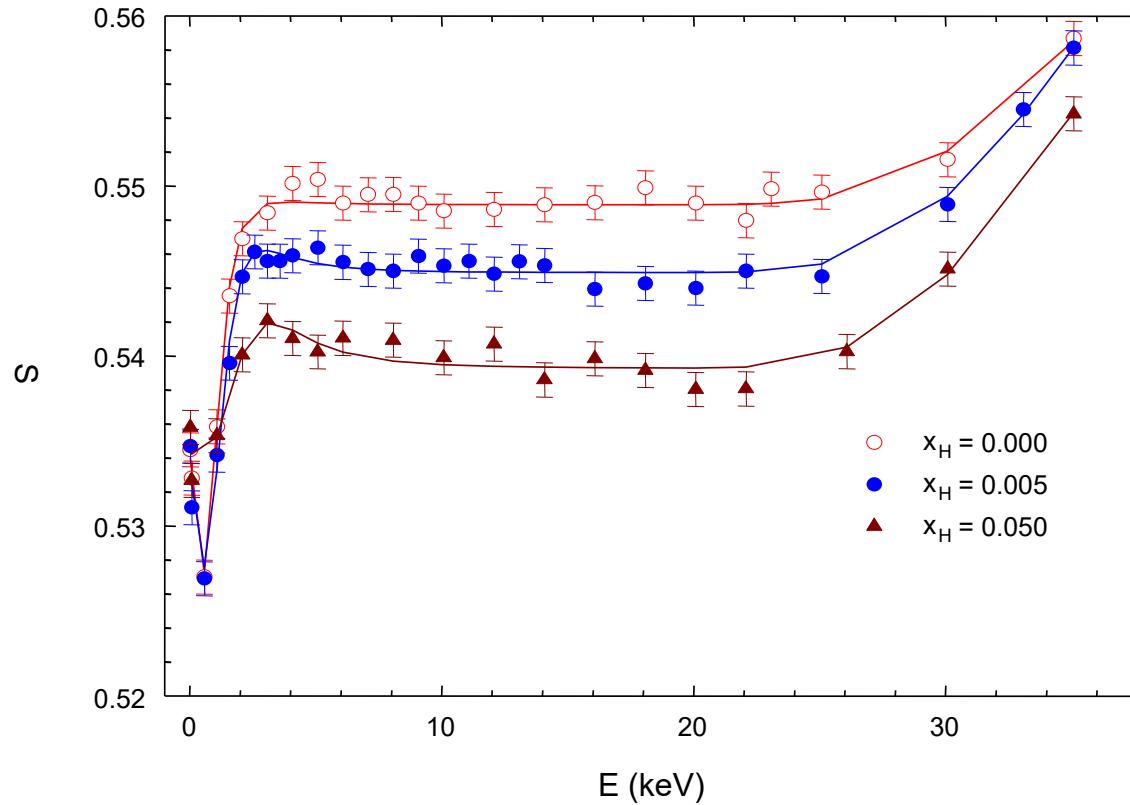
Tenké vrstvy Nb dopované vodíkem

Nb film o tloušťce 1.1 μm pokrytý Pd vrstvou o tloušťce 20 nm



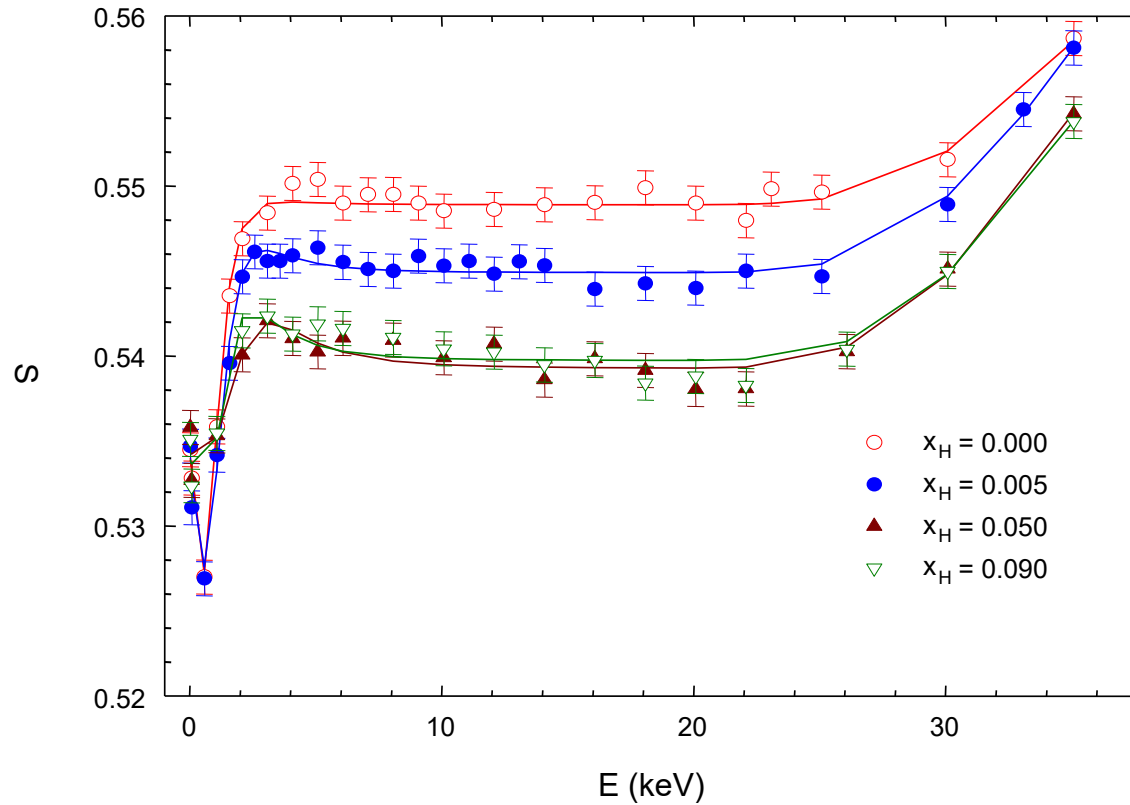
Tenké vrstvy Nb dopované vodíkem

Nb film o tloušťce 1.1 μm pokrytý Pd vrstvou o tloušťce 20 nm



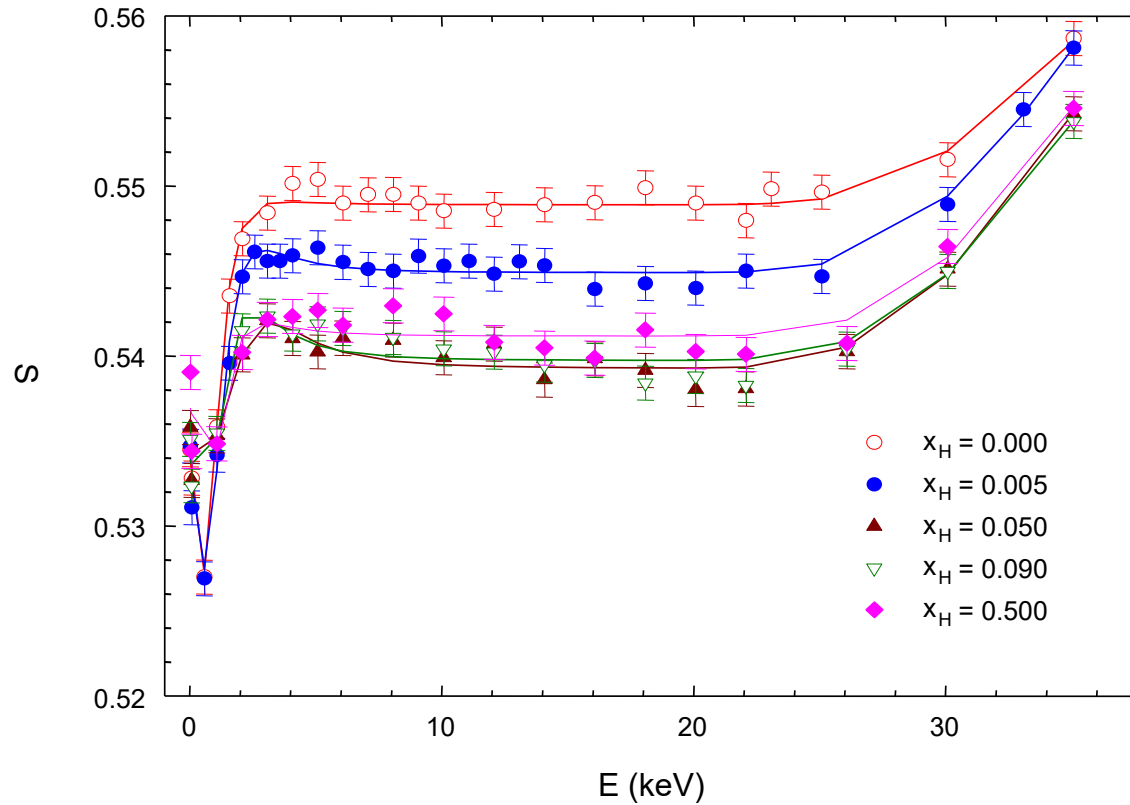
Tenké vrstvy Nb dopované vodíkem

Nb film o tloušťce 1.1 μm pokrytý Pd vrstvou o tloušťce 20 nm



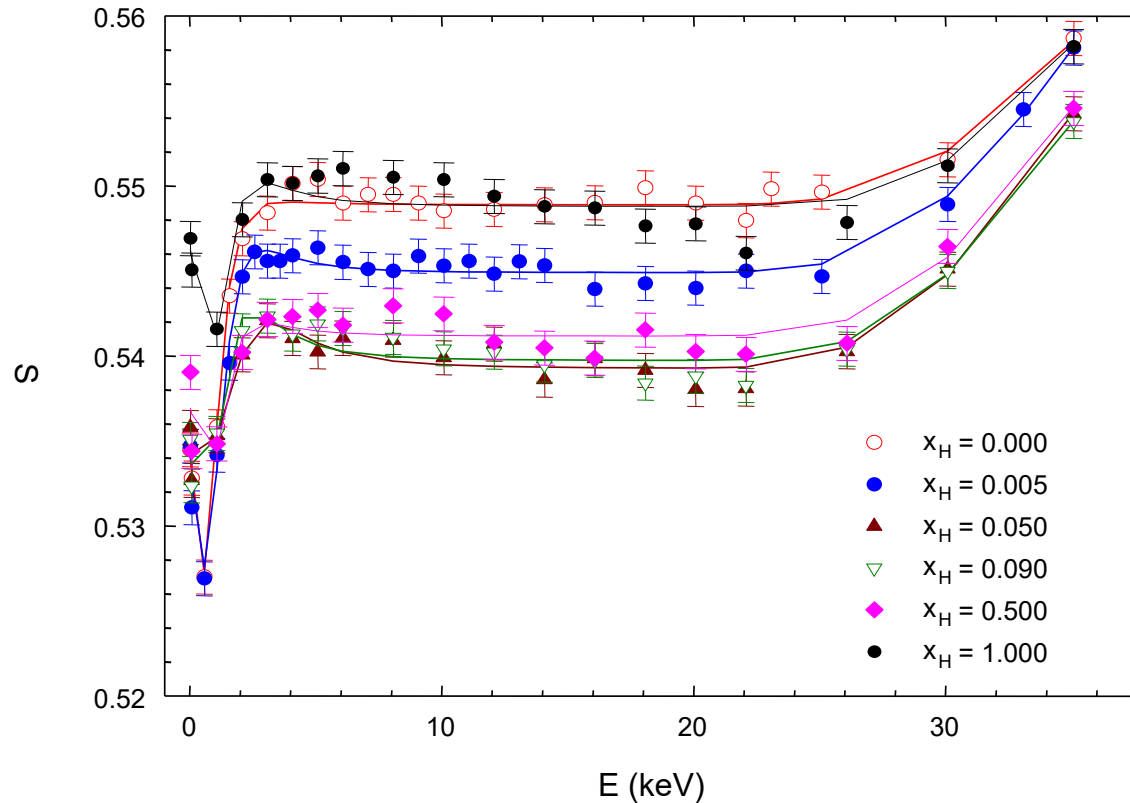
Tenké vrstvy Nb dopované vodíkem

Nb film o tloušťce 1.1 μm pokrytý Pd vrstvou o tloušťce 20 nm



Tenké vrstvy Nb dopované vodíkem

Nb film o tloušťce 1.1 μm pokrytý Pd vrstvou o tloušťce 20 nm

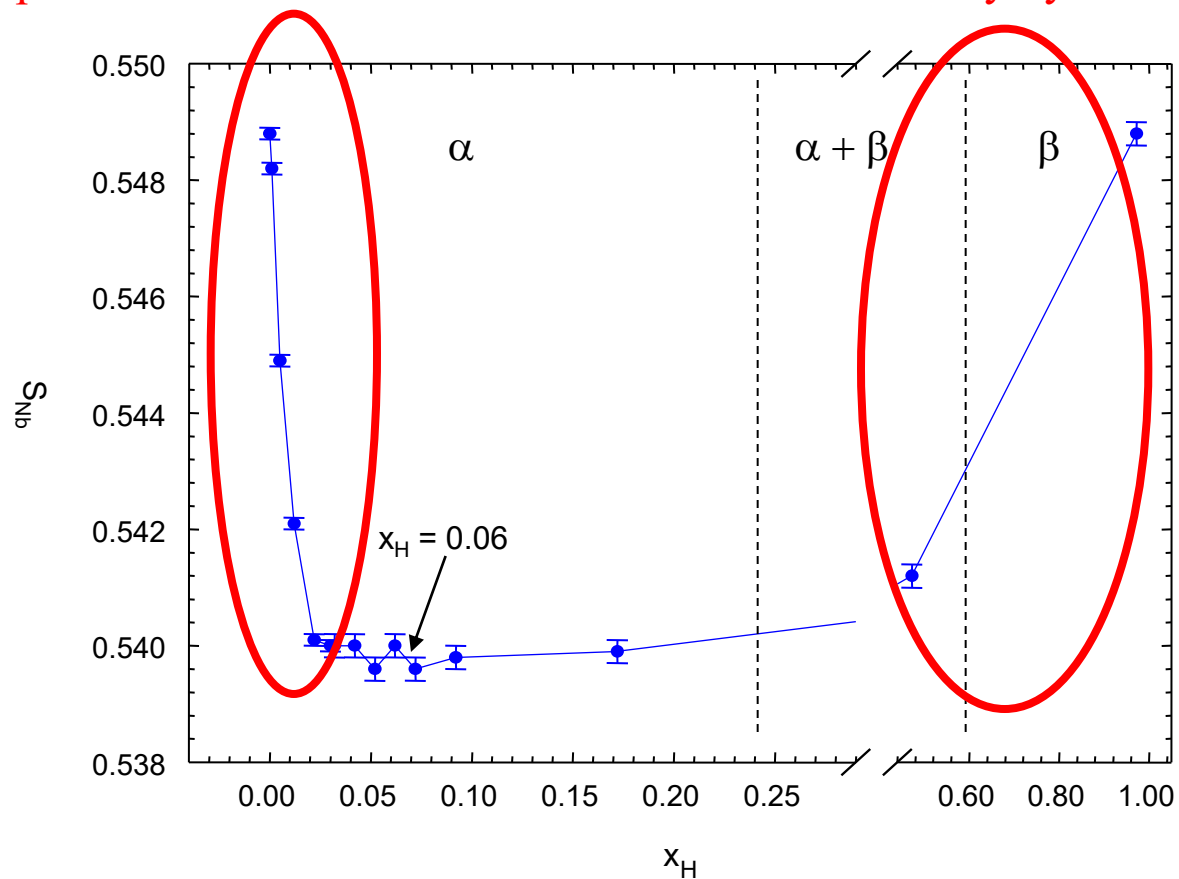


Tenké vrstvy Nb dopované vodíkem

Nb film o tloušťce 1.1 μm pokrytý Pd vrstvou o tloušťce 20 nm

absorpce vodíku na hranicích zrn

nové defekty vytvořené při vzniku hydridu



Měření zpětné difúze pozitronů

- měření difúzní délky L_+ pozitronu ve studovaném materiálu
- přítomnost defektů \rightarrow zkrácení L_+

- koncentrace defektů:

$$c_V = \frac{1}{\nu\tau_B} \left(\frac{L_{+,B}^2}{L_+^2} - 1 \right)$$

$L_{+,B}$ – difúzní délka pozitronů v bezdefektním materiálu $L_{B,+} = \sqrt{D_+ \tau_B}$

ν – specifická záchytová rychlost

Měření zpětné difúze pozitronů

- **příklad: vakance v FeAl slitinách**

- měření doby života pozitronů

$$c_V = \frac{1}{v_V} \frac{I_2}{I_1} \left(\frac{1}{\tau_B} - \frac{1}{\tau_V} \right)$$

- komponenta od volných pozitronů nemůže být rozlišena ve spektru dob života pozitronů, když její intenzita je $I_l < 5\%$ (saturovaný záchyt)

- odpovídá to koncentraci vakancí $c_V > 2 \times 10^{-4}$

$$c_V = \frac{1}{v_V \tau_B} \left(\frac{L_{+,B}^2}{L_+^2} - 1 \right)$$

- měření zpětné difúze pozitronů

- difúzní délku pozitronů není možné zjistit pokud $L_+ < 1$ nm

- odpovídá to koncentraci vakancí $c_V > 7 \times 10^{-2}$

Zakalené slitiny Fe-Al – měření doby života pozitronů

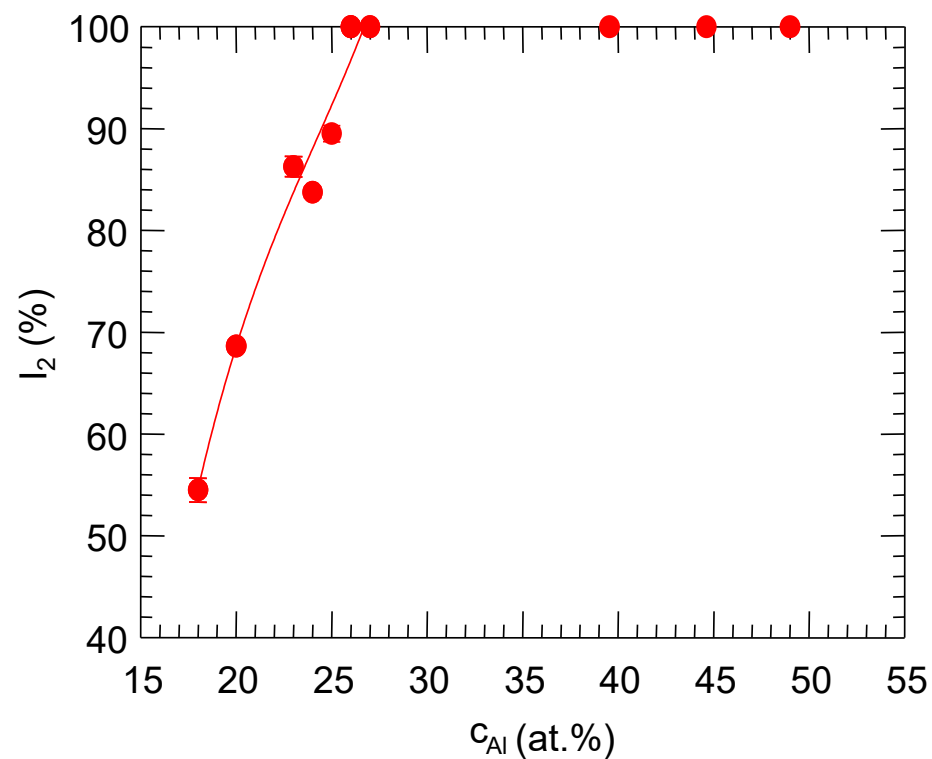
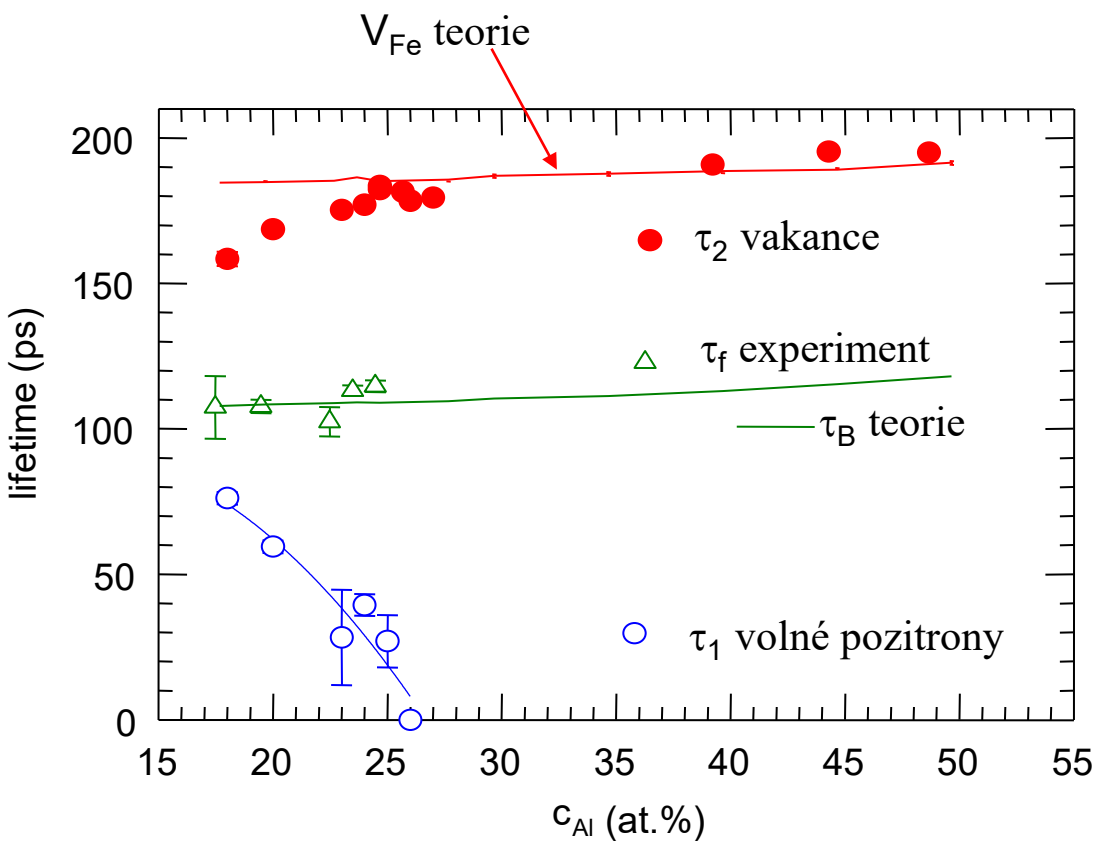
- dvou-komponentní spectrum:

τ_1 – volné pozitrony

τ_2 – pozitrony zachycené ve vakancích

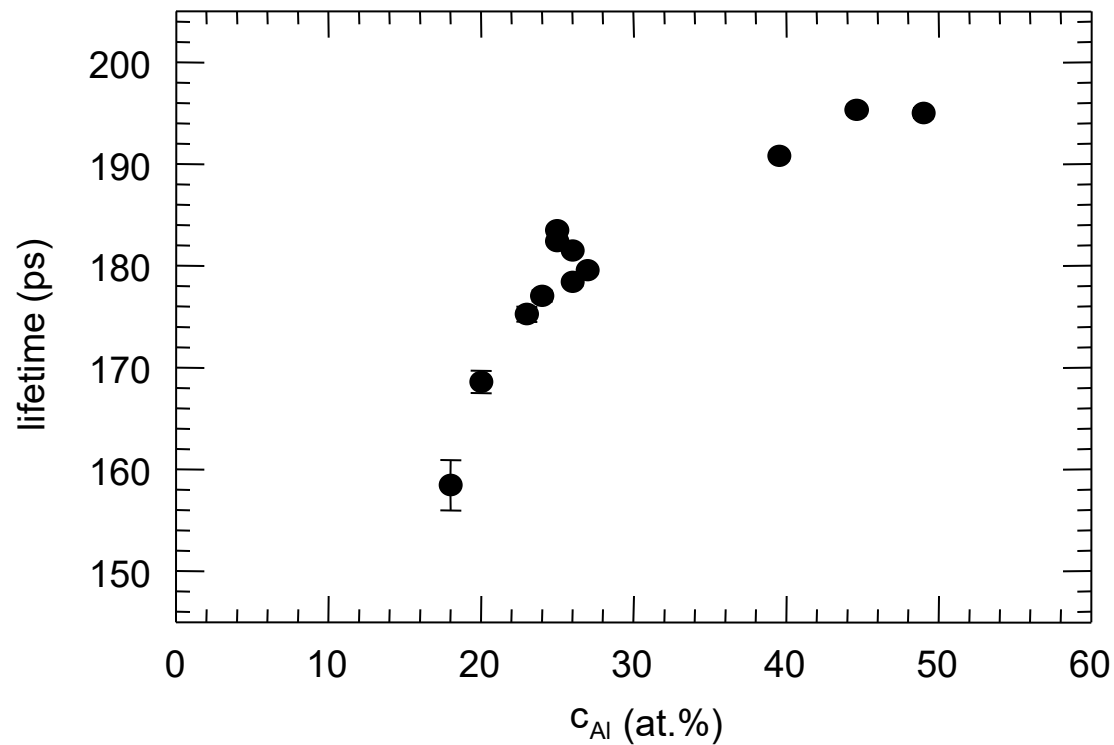
$$\tau_f = \left(\frac{I_1}{\tau_1} + \frac{I_2}{\tau_2} \right)^{-1}$$

$c_{Al} \geq 26 \text{ at.}\% \rightarrow$ saturovaný záchyt

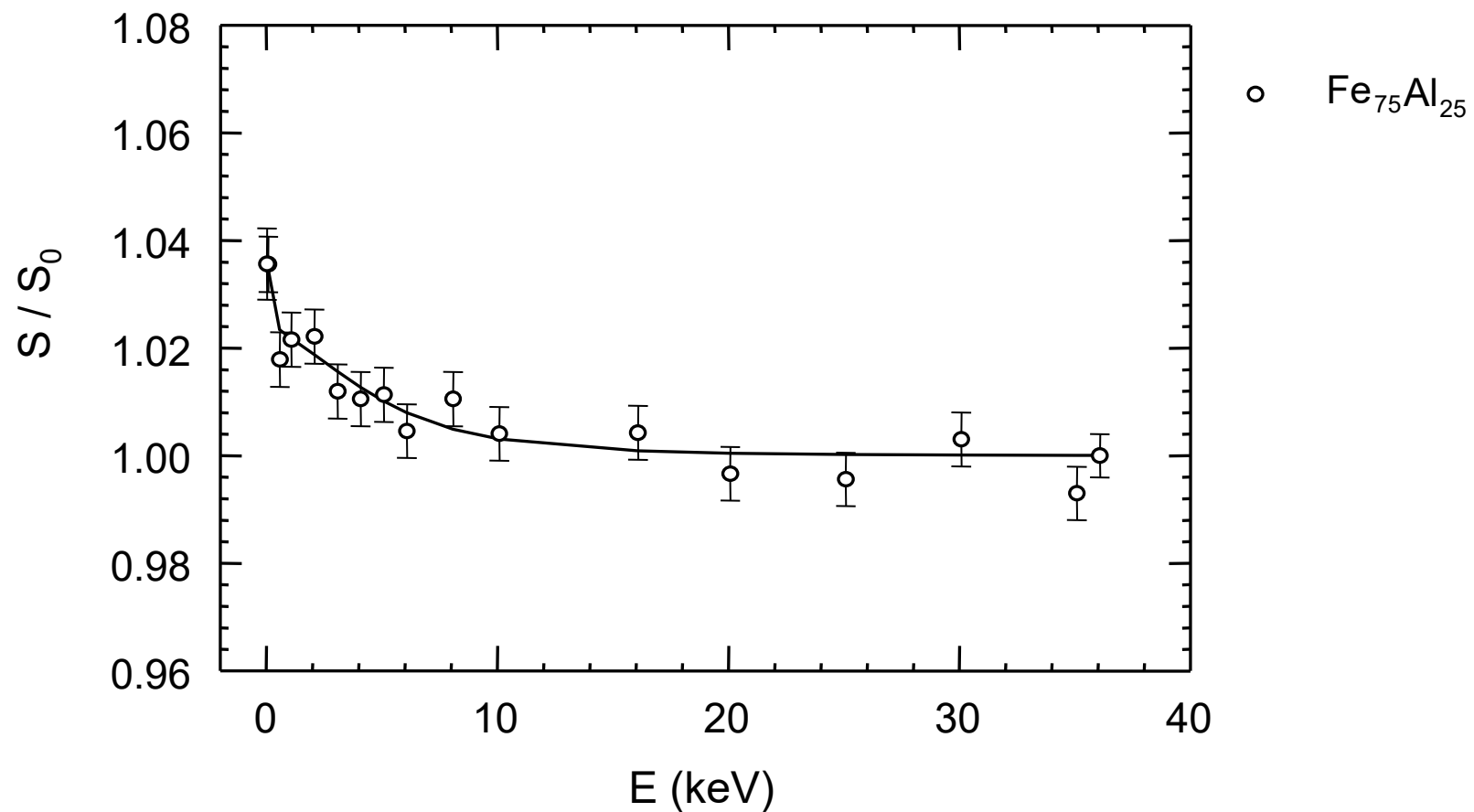


Zakalené slitiny Fe-Al – měření doby života pozitronů

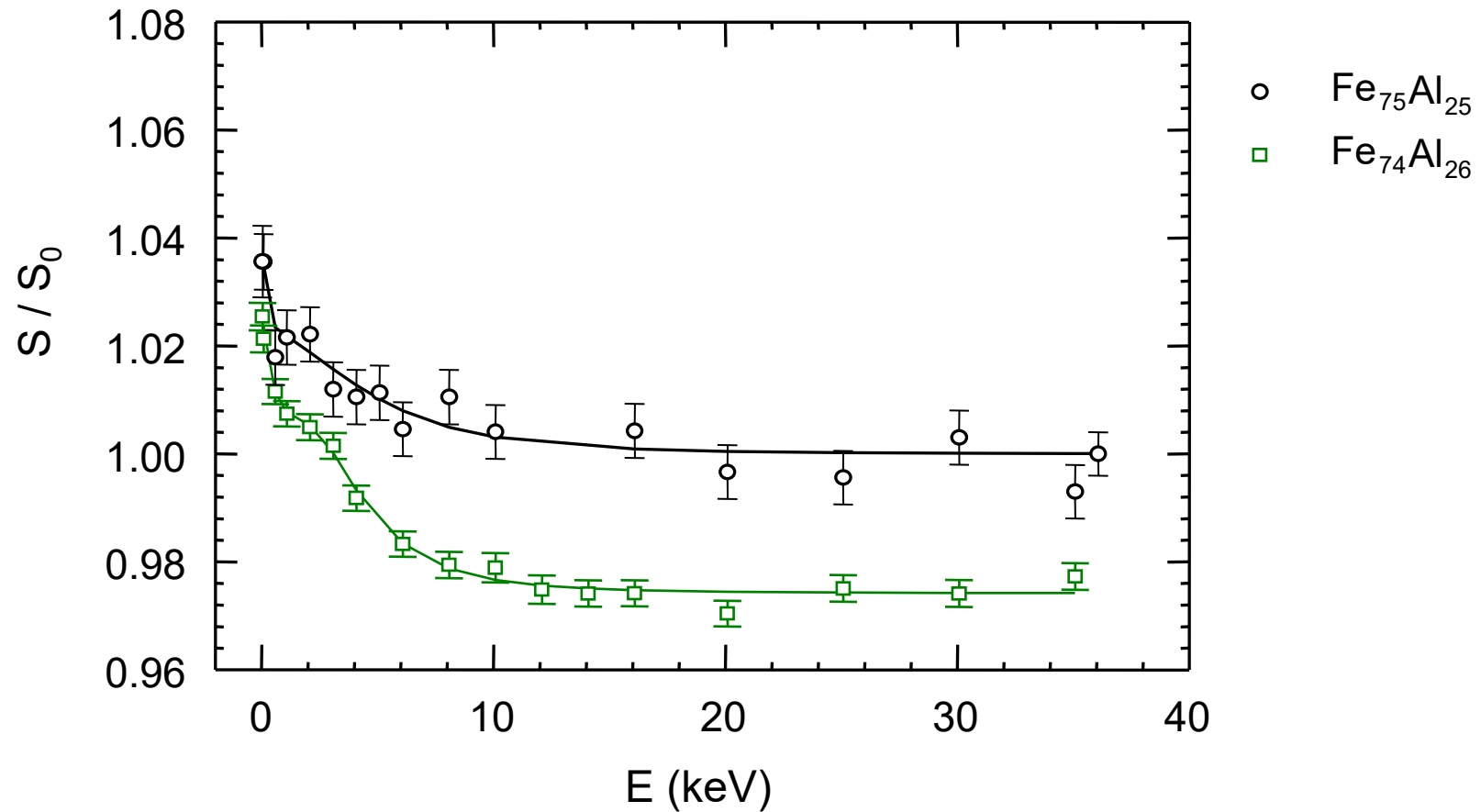
- doba života τ_2 pozitronů zachycených ve vakancích
- rostoucí koncentrace Al atomů okolo vakancí



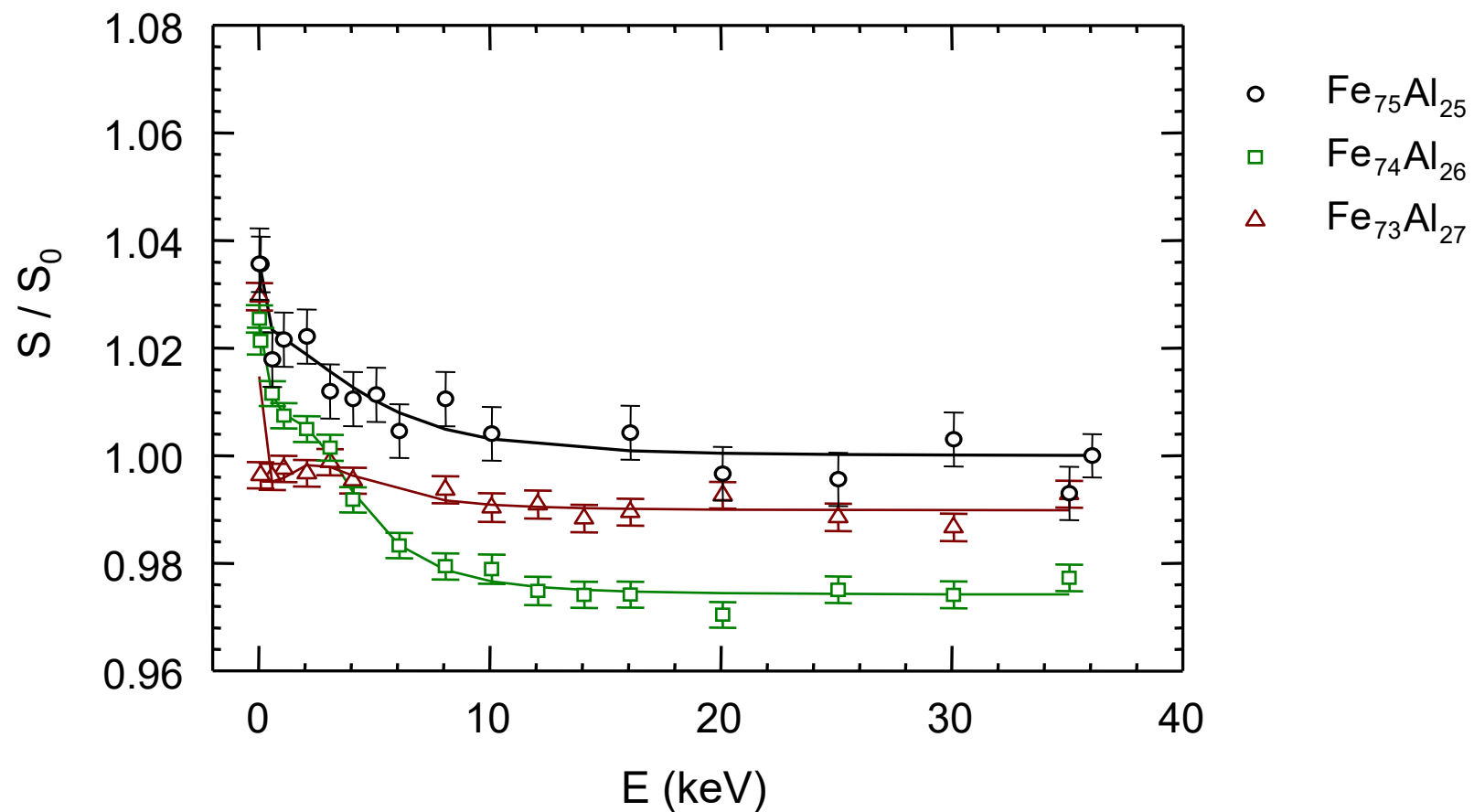
Zakalené slitiny Fe-Al – měření na svazku pomalých pozitronů



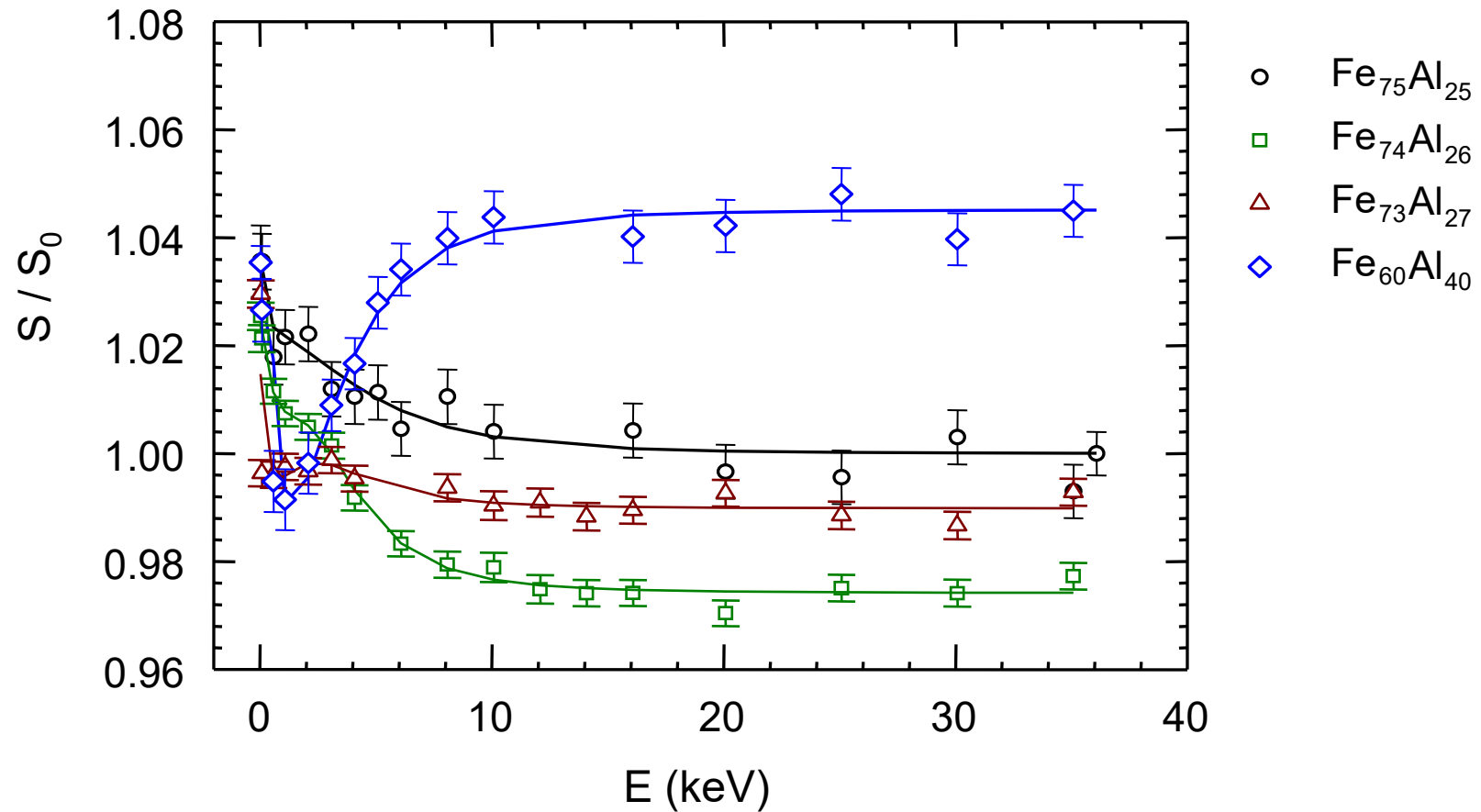
Zakalené slitiny Fe-Al – měření na svazku pomalých pozitronů



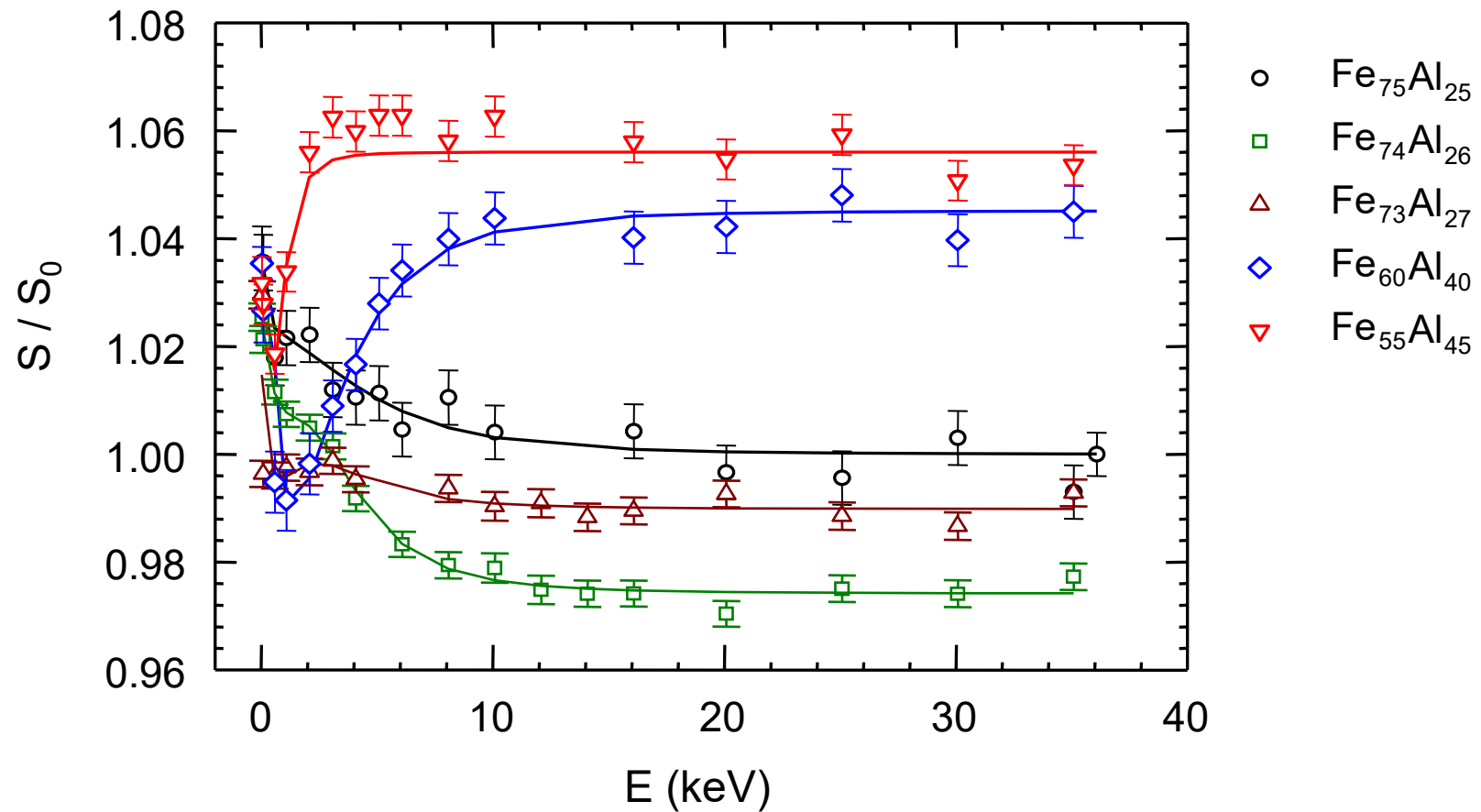
Zakalené slitiny Fe-Al – měření na svazku pomalých pozitronů



Zakalené slitiny Fe-Al – měření na svazku pomalých pozitronů

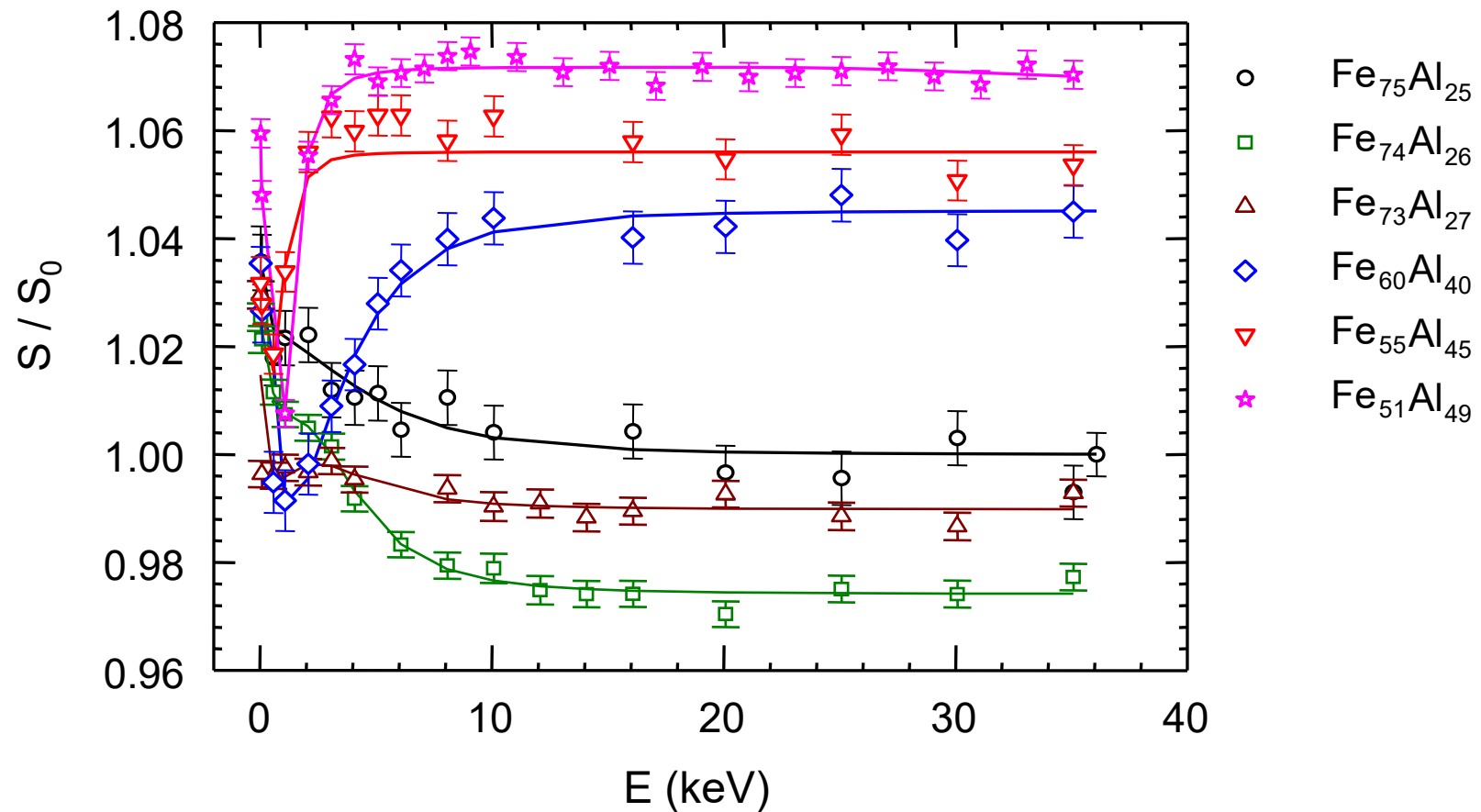


Zakalené slitiny Fe-Al – měření na svazku pomalých pozitronů



Zakalené slitiny Fe-Al – měření na svazku pomalých pozitronů

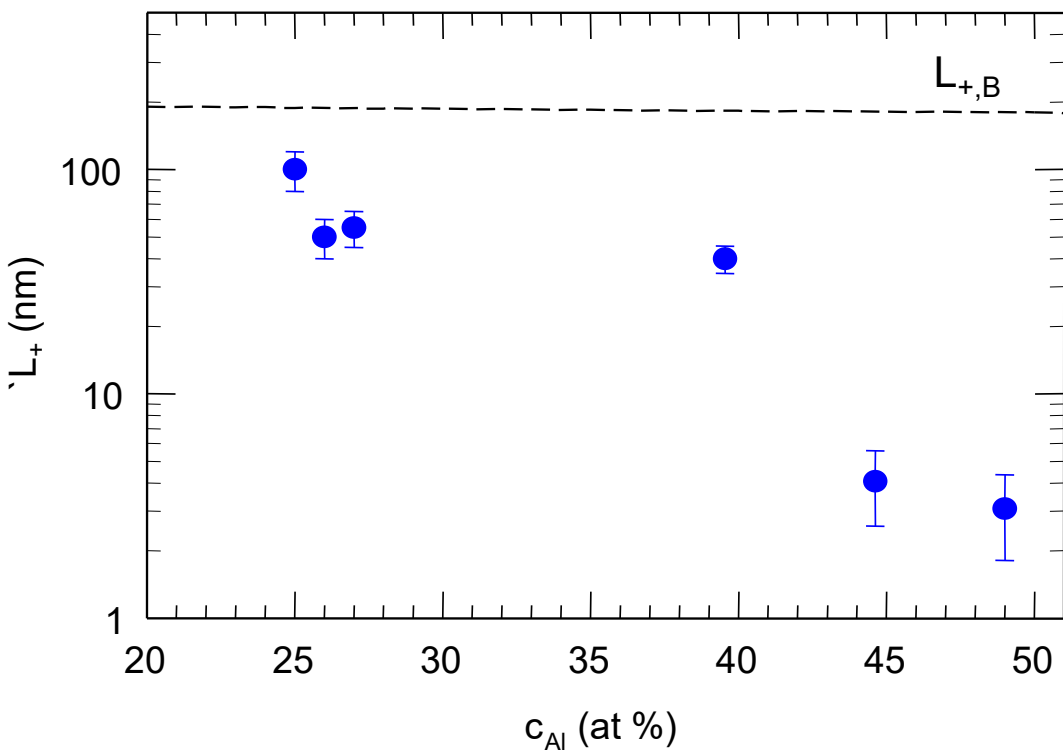
- dvě vrstvy:
 - (i) oxid na povrchu 15-20 nm (ii) Fe-Al slitina



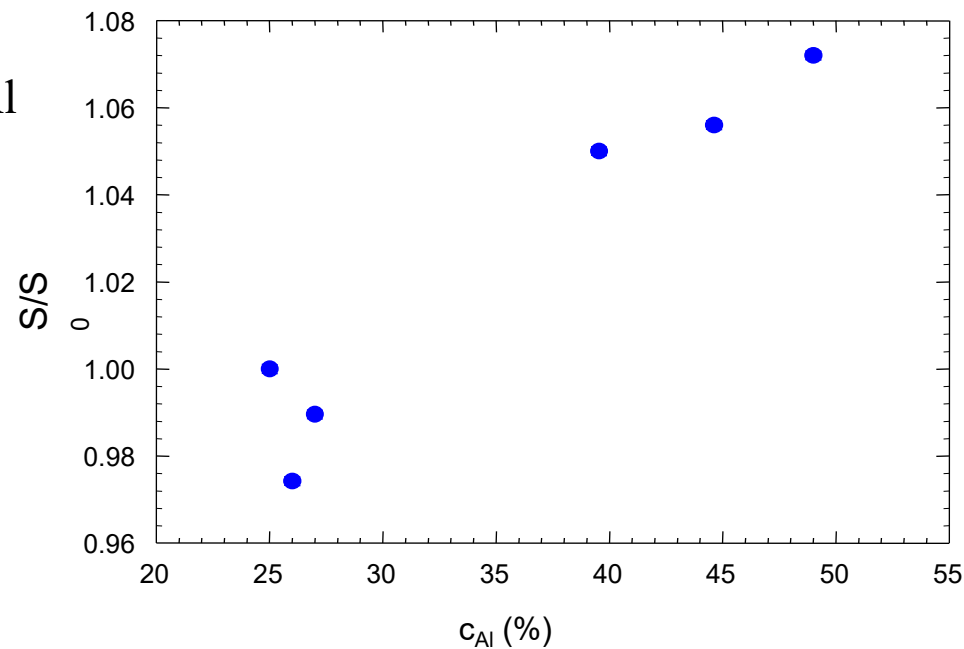
Zakalené slitiny Fe-Al – měření na svazku pomalých pozitronů

- s rostoucím obsahem Al klesá L_+ a narůstá S
- koncentrace vakancí narůstá s rostoucím obsahem Al

difúzní délka pozitronů

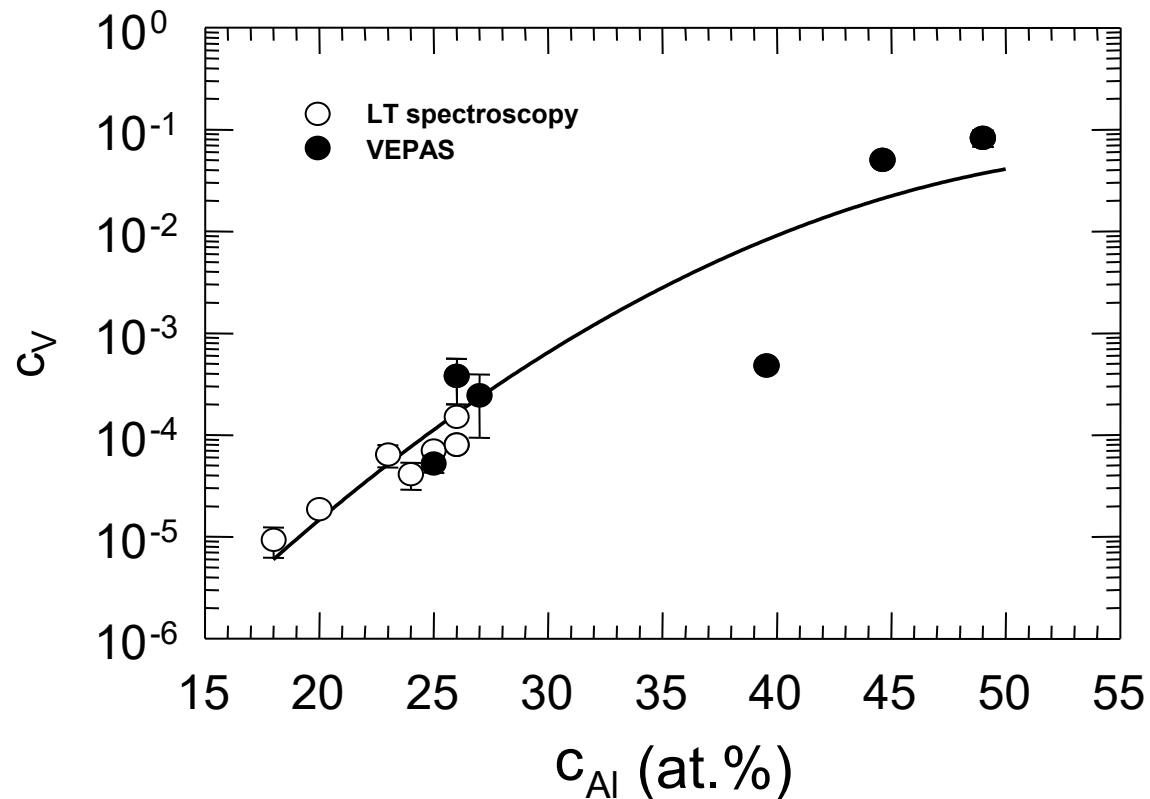


S parametr



Zakalené slitiny Fe-Al – koncentrace vakancí

- $\text{Fe}_{75}\text{Al}_{25}$: měření doby života pozitronů: $c_V = (7.0 \pm 0.5) \times 10^{-5}$
měření zpětné difúze: $c_V = (5 \pm 1) \times 10^{-5}$



Zakalené slitiny Fe-Al – koncentrace vakancí

- ▲ T. Haraguchi 2001, LT spectroscopy
- ◆ R. Würschum 1995, in-situ LT spectroscopy
- Y.A. Chang 1993, microhardness + theoretical modeling
- J. Joardar 2005, dilatometry + XRD
- ⊠ D. Paris 1977, dilatometry + XRD
- ★ K. Ho 1978, dilatometry + XRD

