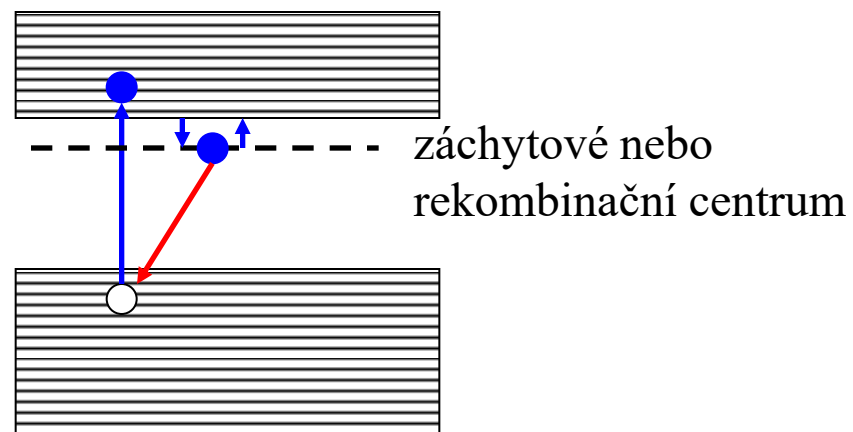
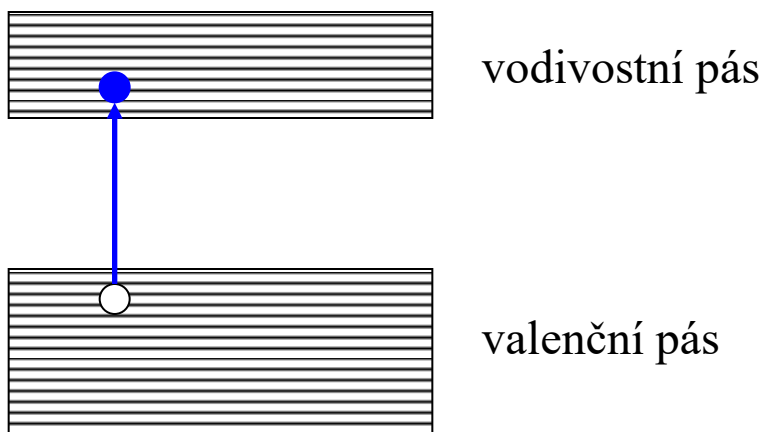
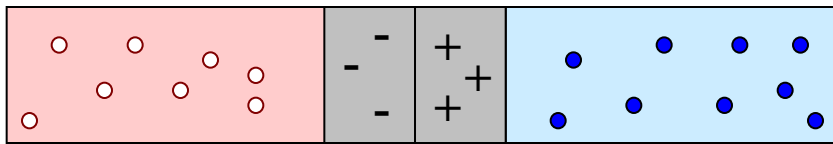
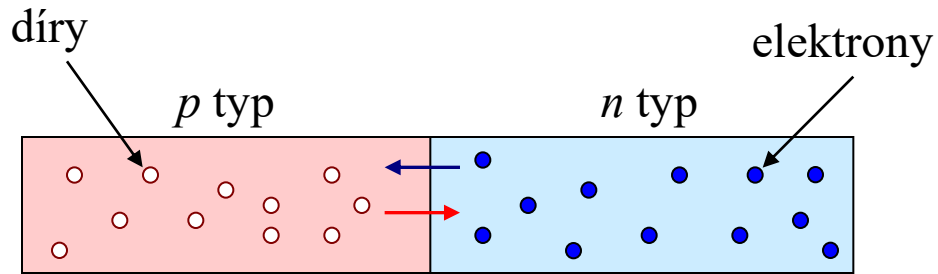


Polovodičové detektory

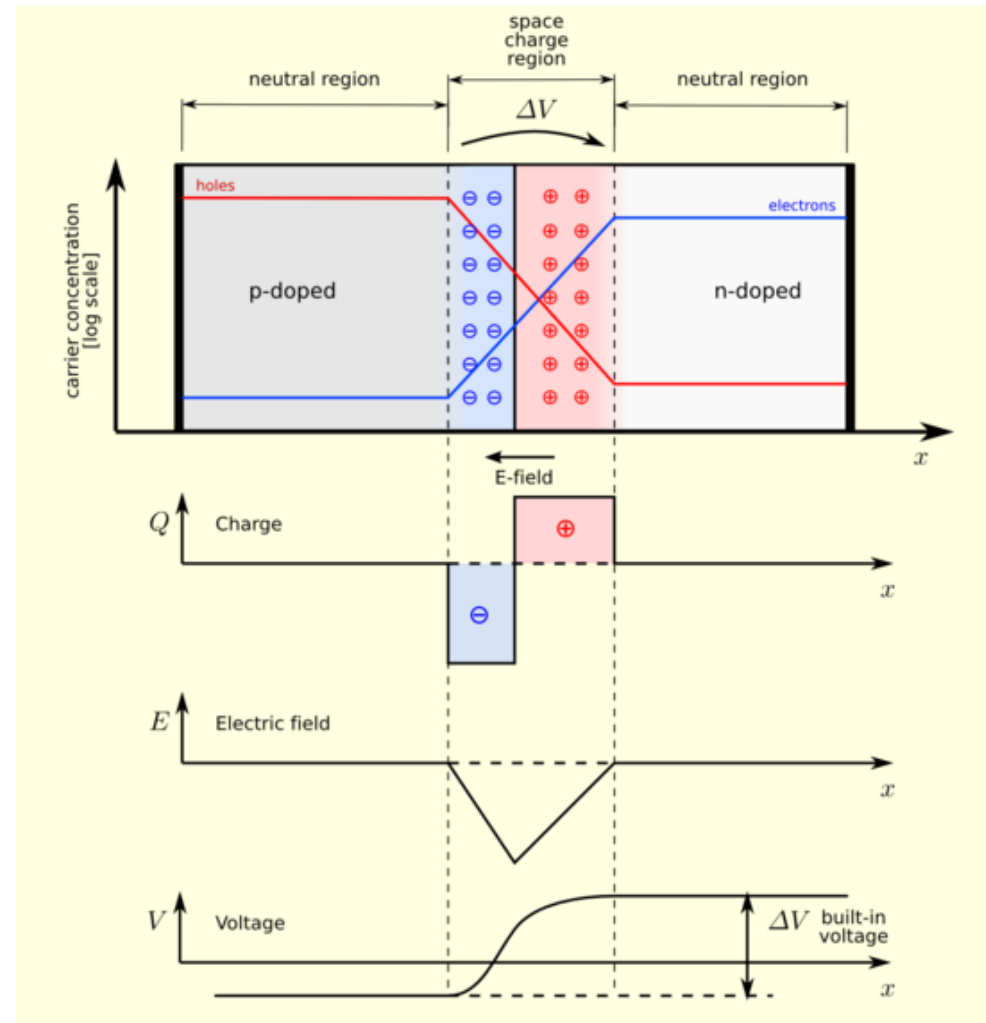
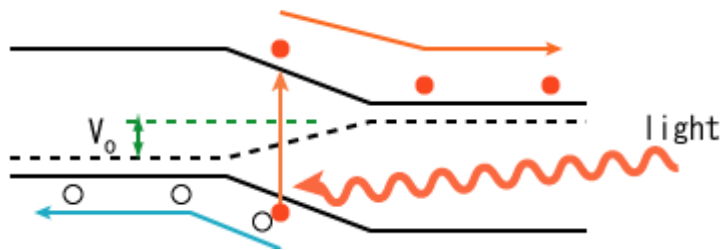


Polovodičové detektory

p - n přechod

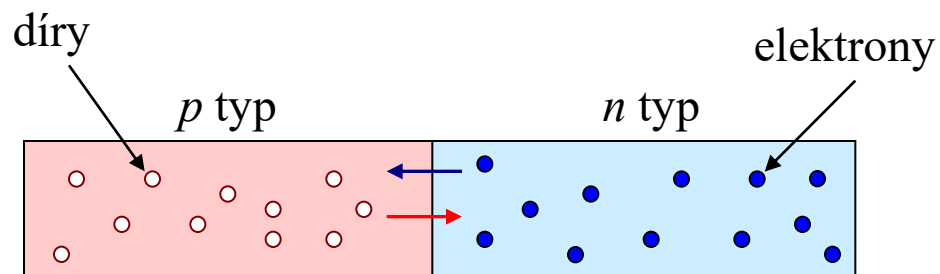


depleted layer $\sim 100 \mu\text{m}$

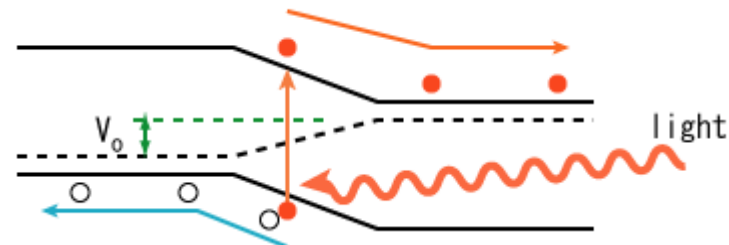
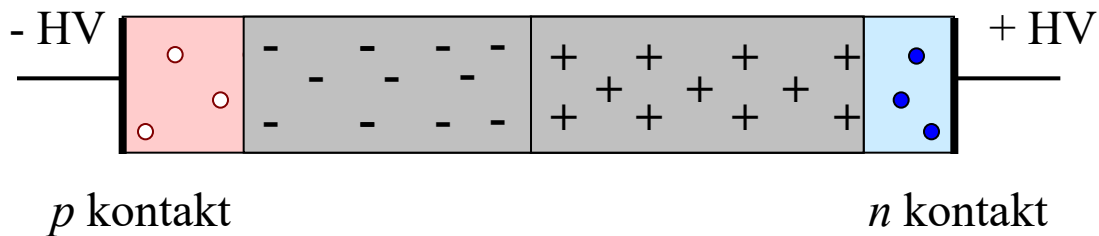


Polovodičové detektory

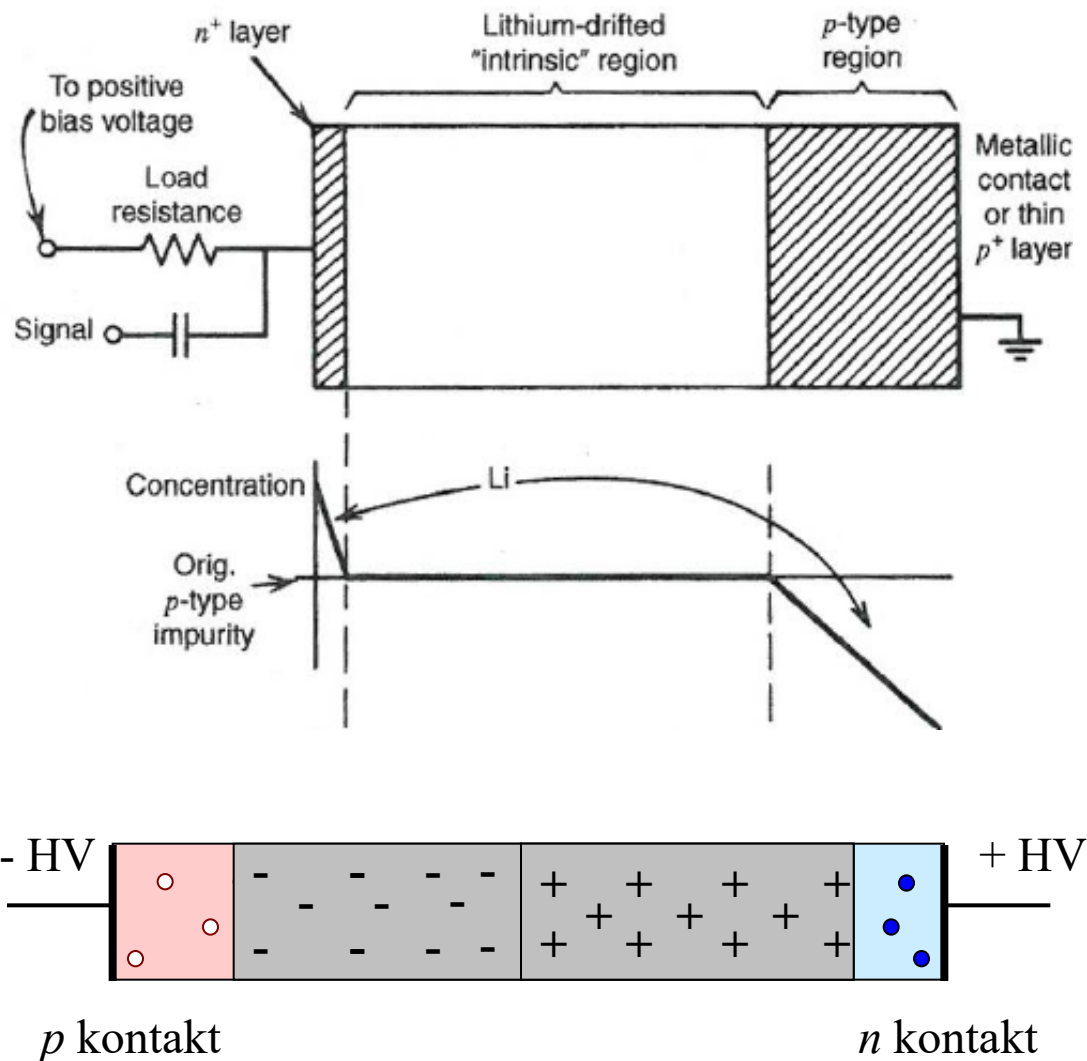
p-n přechod



depleted layer $\sim 100 \mu\text{m}$



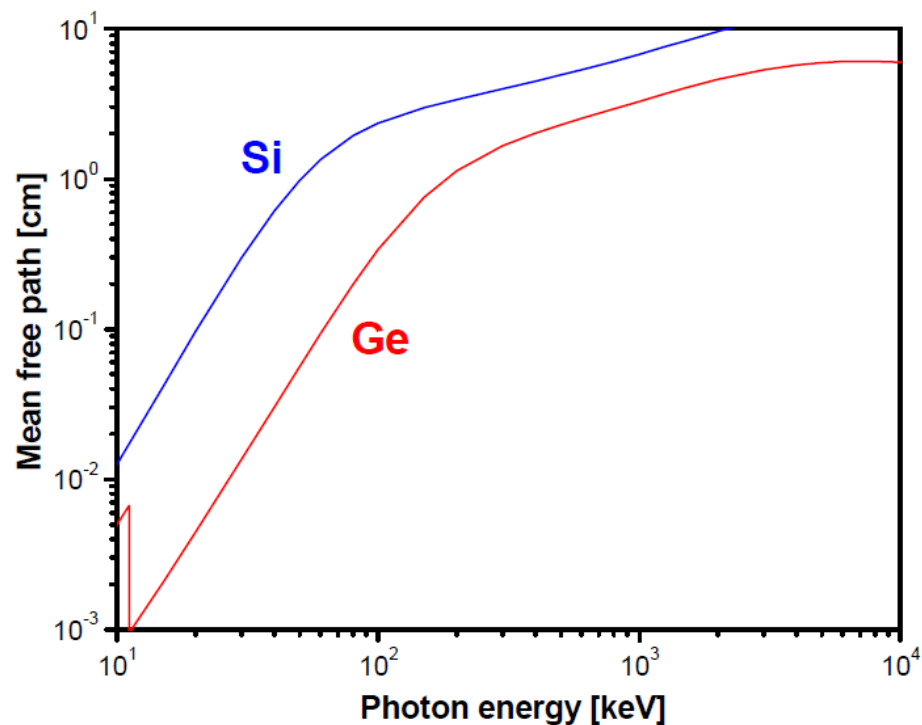
Ge(Li) Polovodičové detektory



- $Z_{Si} = 14$

- $Z_{Ge} = 32$

$\sigma_{\text{fotoefekt}} \sim Z^5 \rightarrow 60 \times \text{větší pro Ge}$



Ge(Li) Polovodičové detektory

Ge crystal: 65mm diam., 46mm length

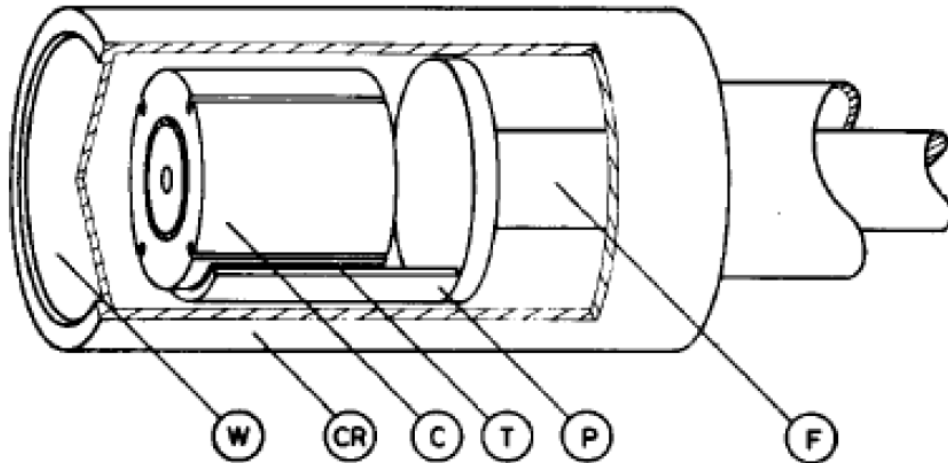
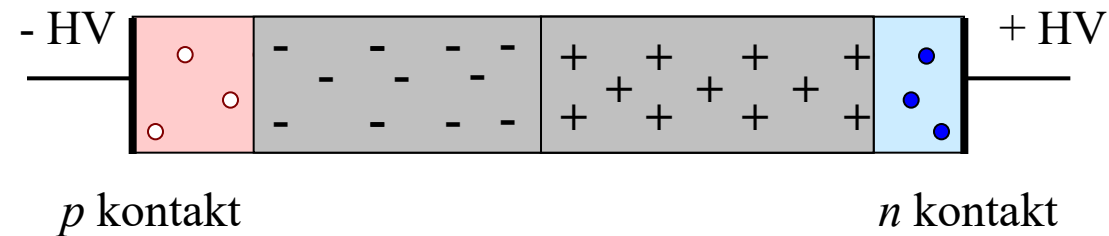
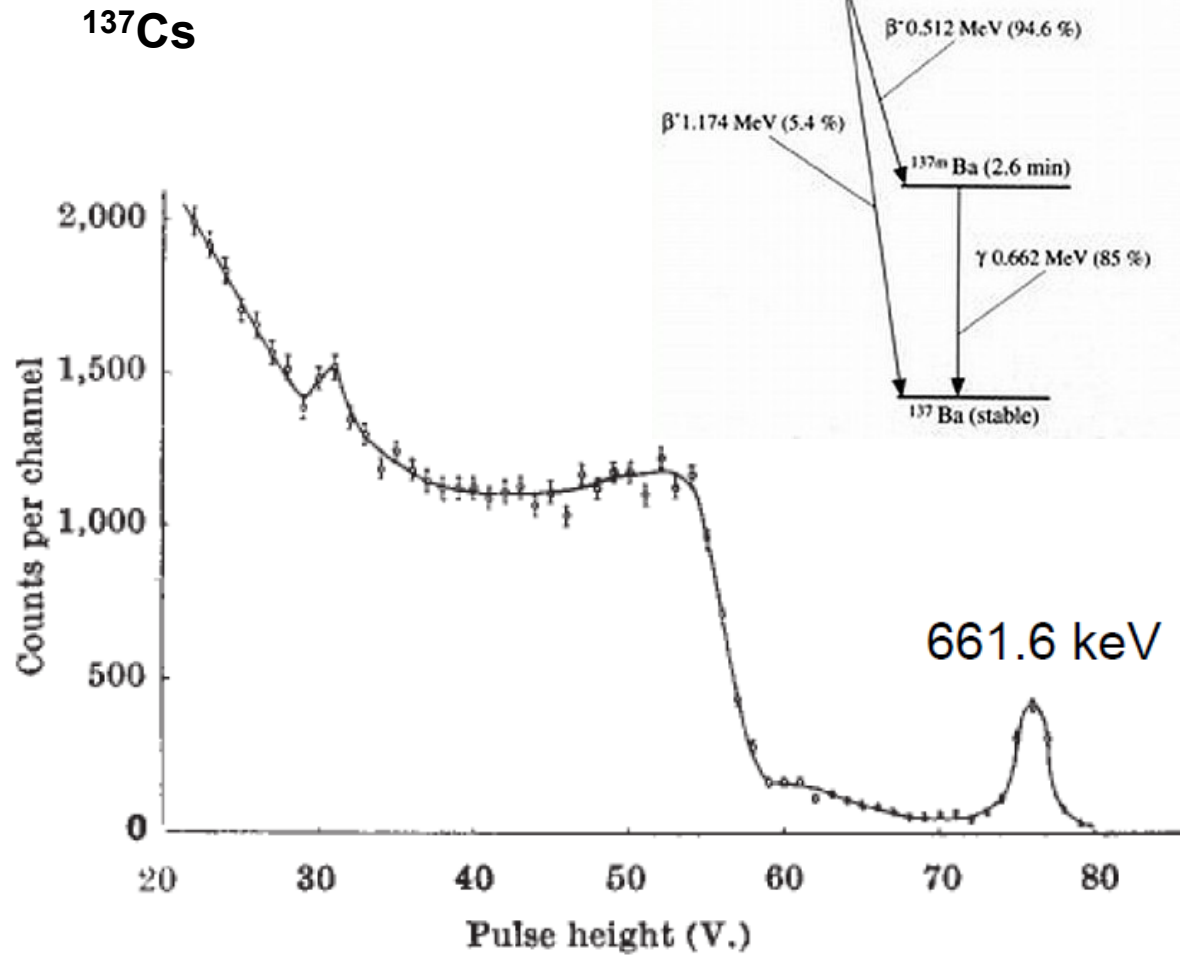


Fig. 1. Cross section of the polarimeter. W = thin window, CR = cryostat, C = crystal, T = Teflon insulation, P = crystal holder, F = cold finger.



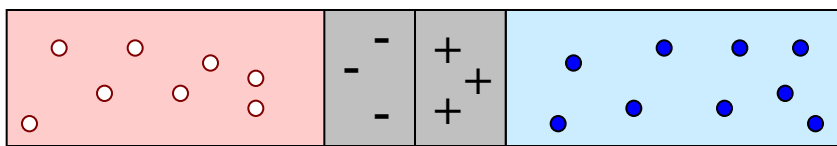
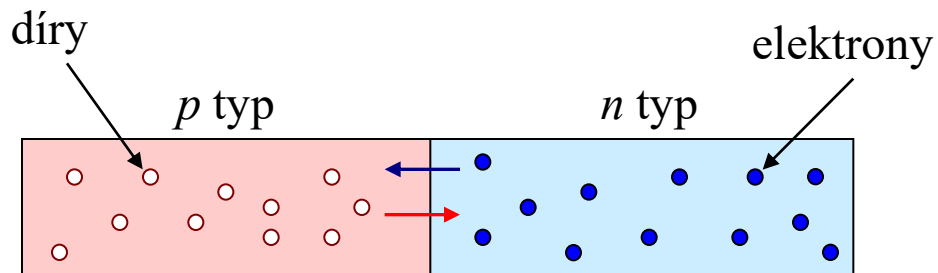
Ge(Li) Polovodičové detektory

^{137}Cs

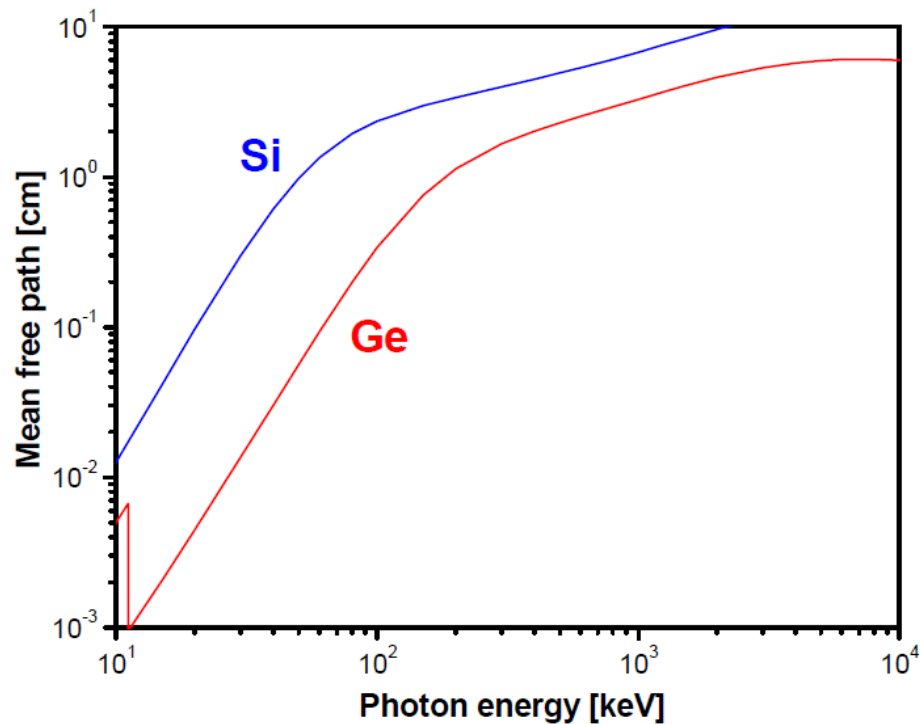


Polovodičové detektory

p-n přechod



depleted layer $\sim 100 \mu\text{m}$



depleted layer

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-15} \text{ Fcm}^{-1}$$

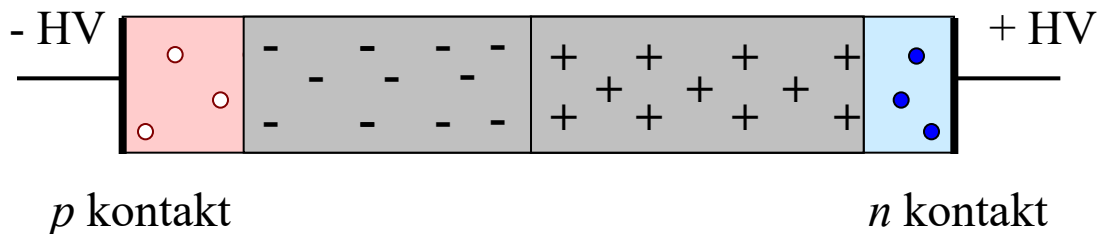
$$\text{Ge: } \epsilon_r = 16$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$U = 1 \times 10^3 \text{ V}$$

$$d \approx \sqrt{\frac{2\epsilon U}{ec_{\text{imp}}}}$$

$$c_{\text{imp}} = 10^{10} \text{ cm}^{-3} \Rightarrow d = 0.4 \text{ cm}$$

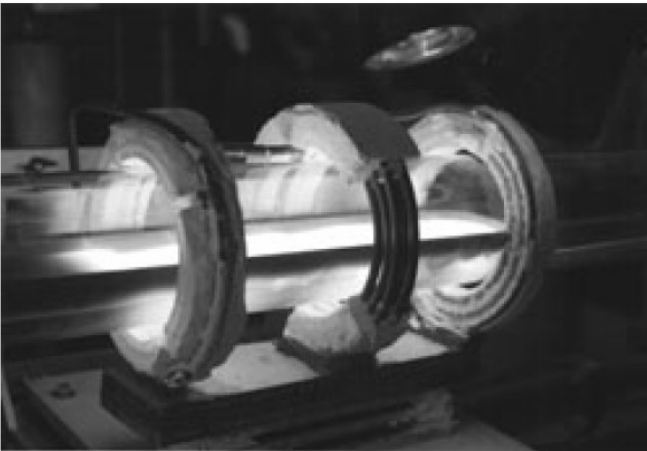


HPGe polovodičové detektory

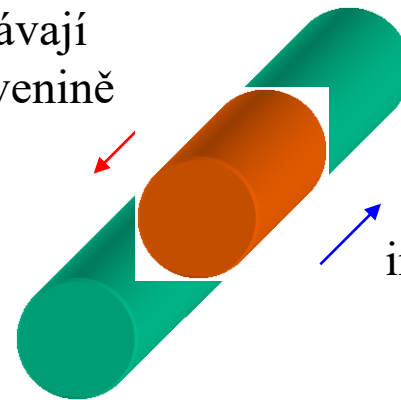
- krystal vysoce čistého Ge (p – typ)

- $c_{\text{imp}} < 10^{10} \text{ cm}^{-3} = 2 \times 10^{-7} \text{ ppm}$

- zonální čištění



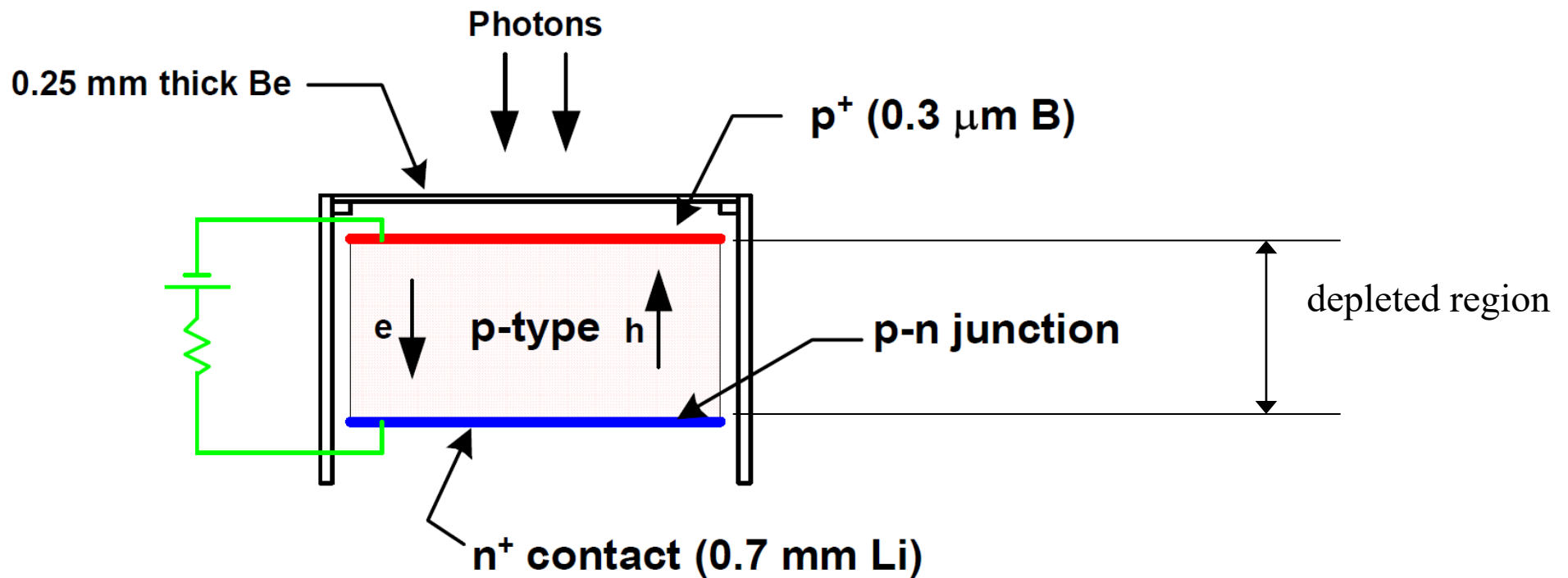
nečistoty
zůstávají
v tavenině



indukční cívky

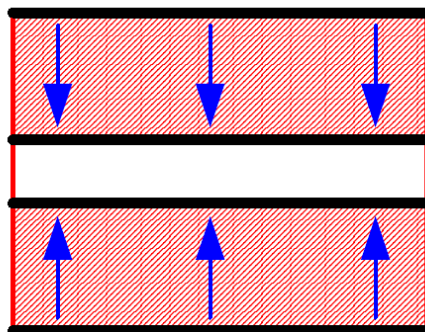
HPGe polovodičové detektory

- planární konfigurace

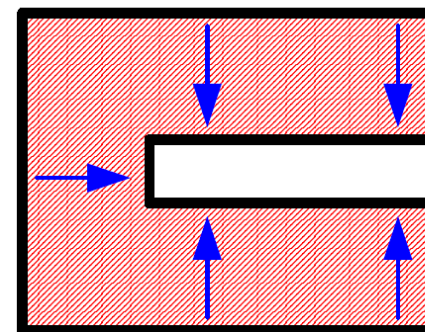


HPGe polovodičové detektory

- koaxiální konfigurace

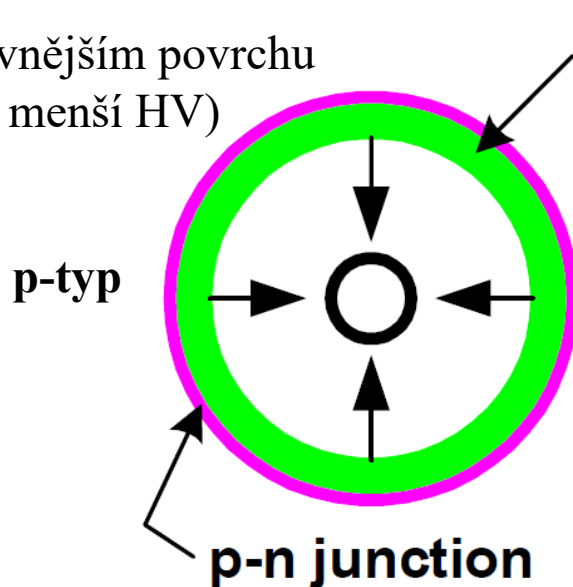


True coaxial

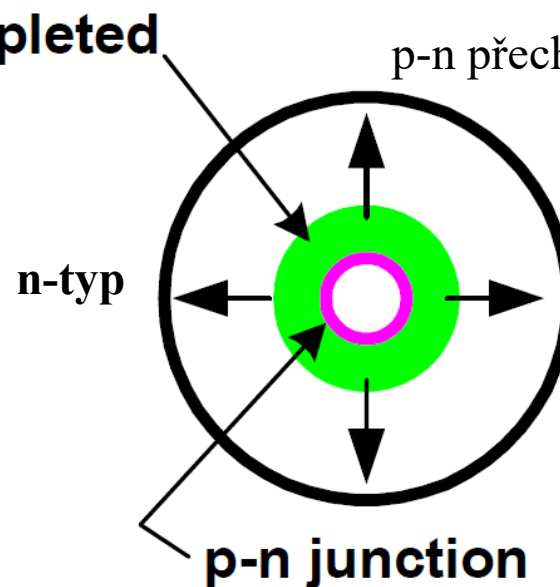


Closed-ended coaxial

n-p přechod na vnějším povrchu
(vhodnější stačí menší HV)

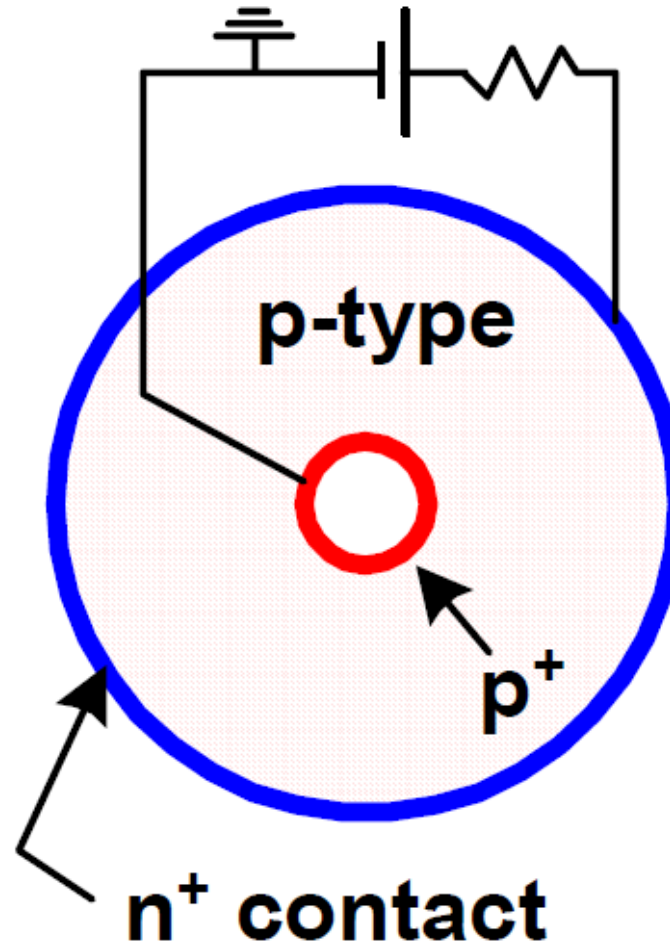


p-n přechod na vnitřním povrchu



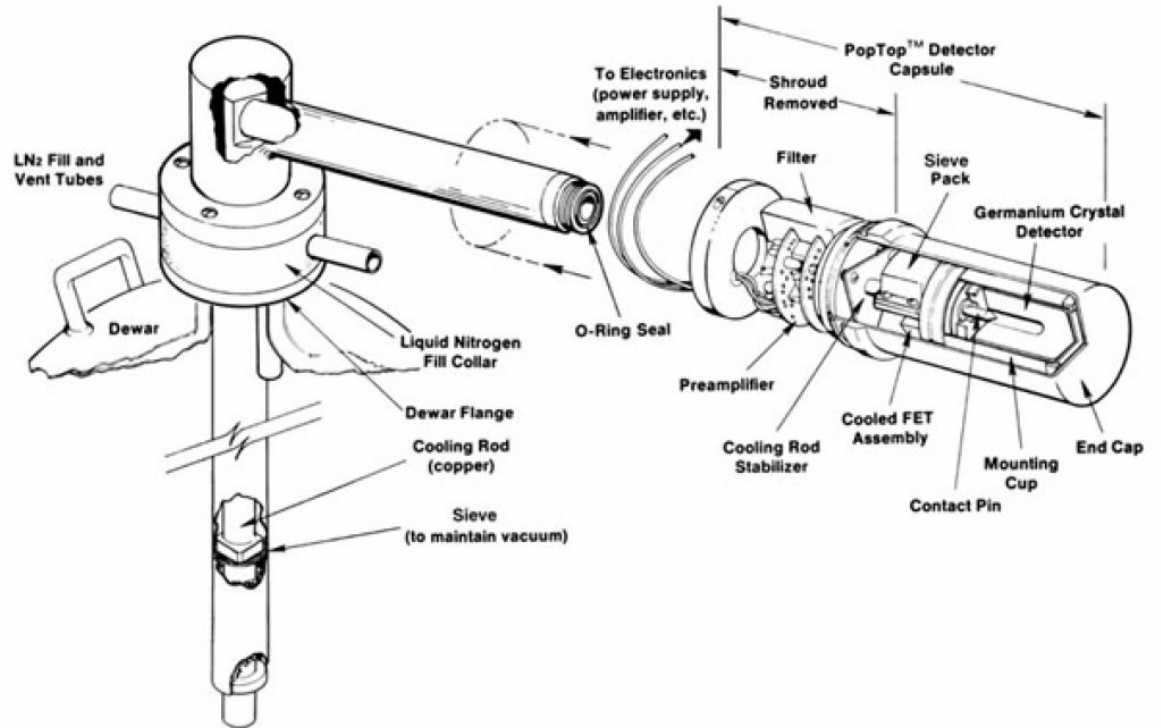
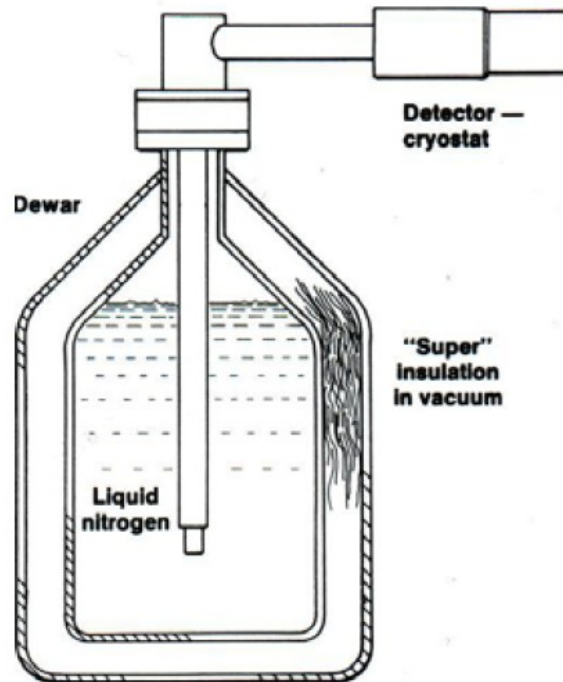
HPGe polovodičové detektory

- koaxiální konfigurace (p-typ)
- n-p přechod na vnějším povrchu
- detekuje γ s $E > 50$ keV
(kvůli n^+ elektrodě na povrchu)



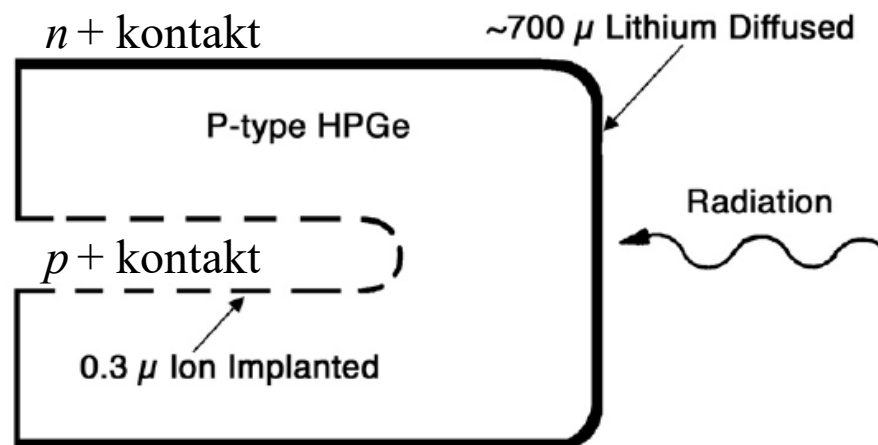
HPGe polovodičové detektory

- koaxiální HPGe detektor

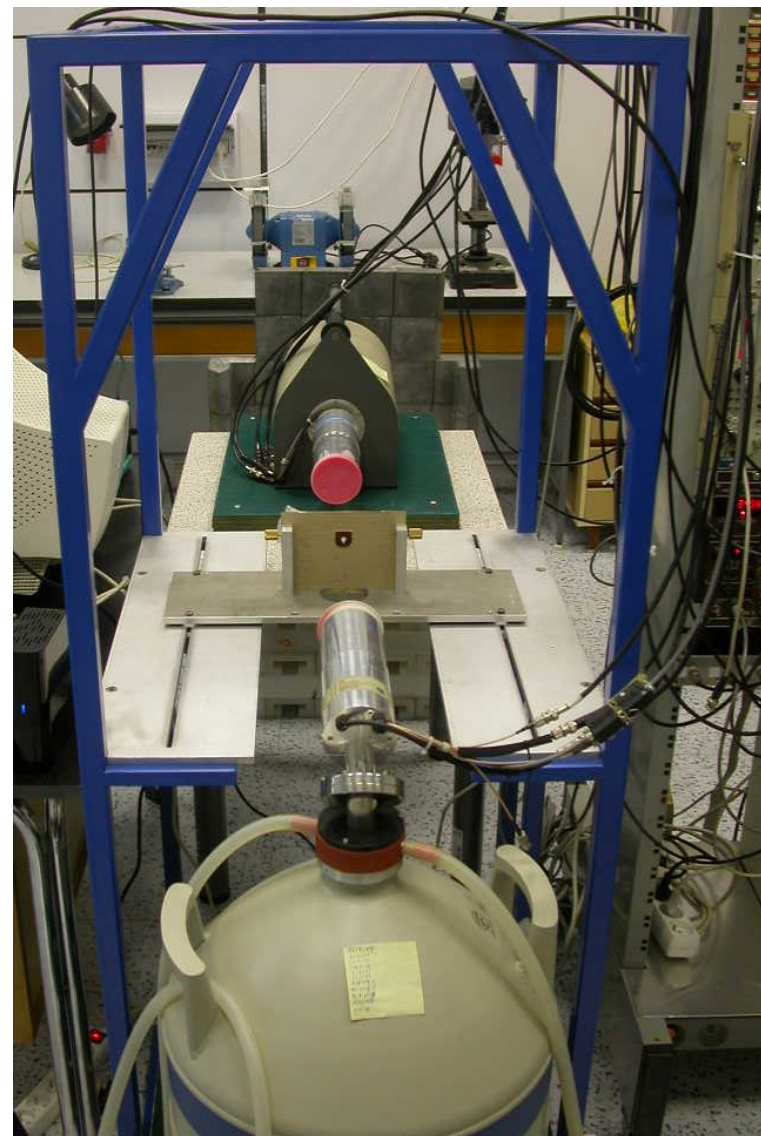
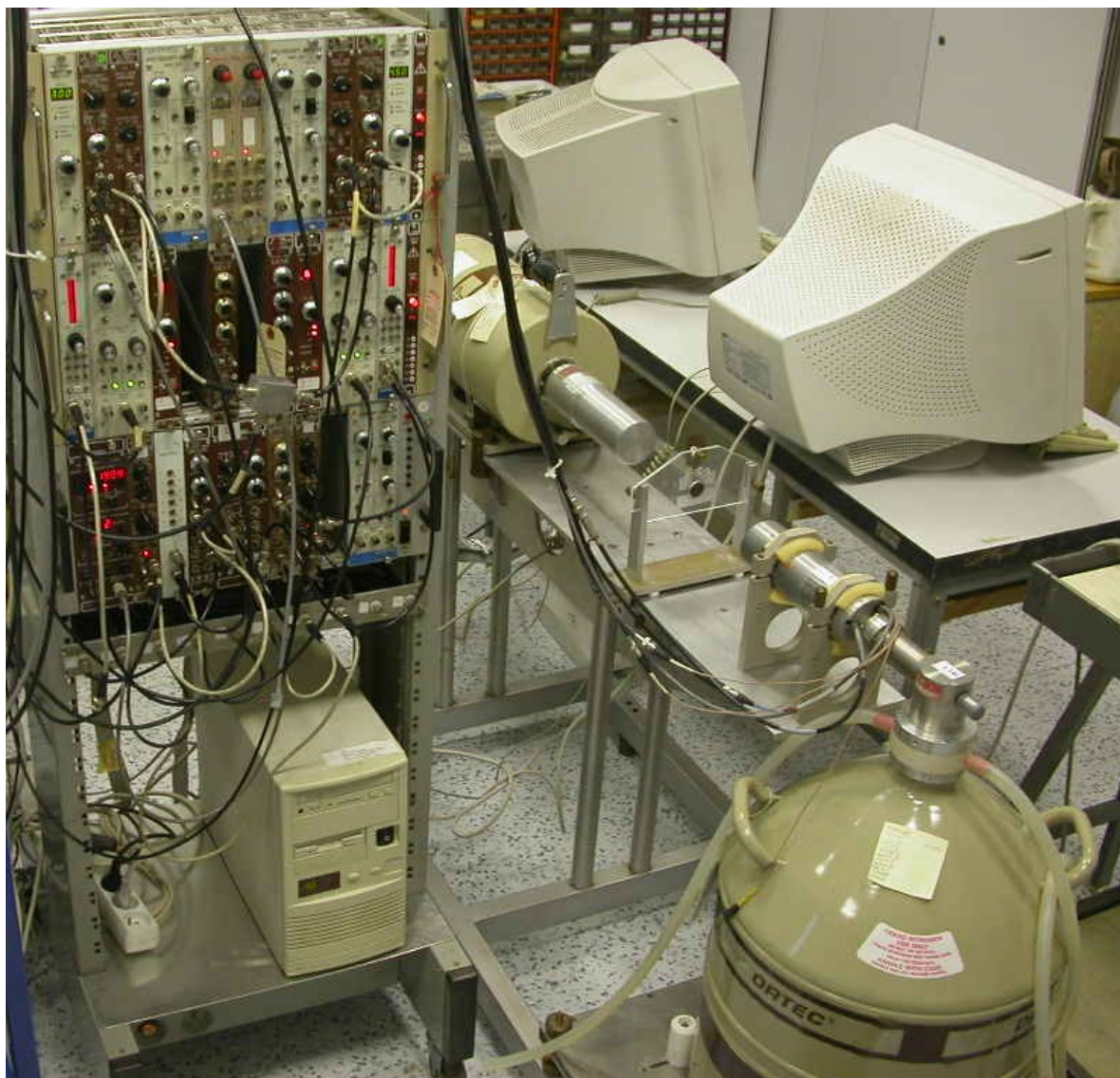


HPGe polovodičové detektory

- koaxiální HPGe detektor (p-typ)

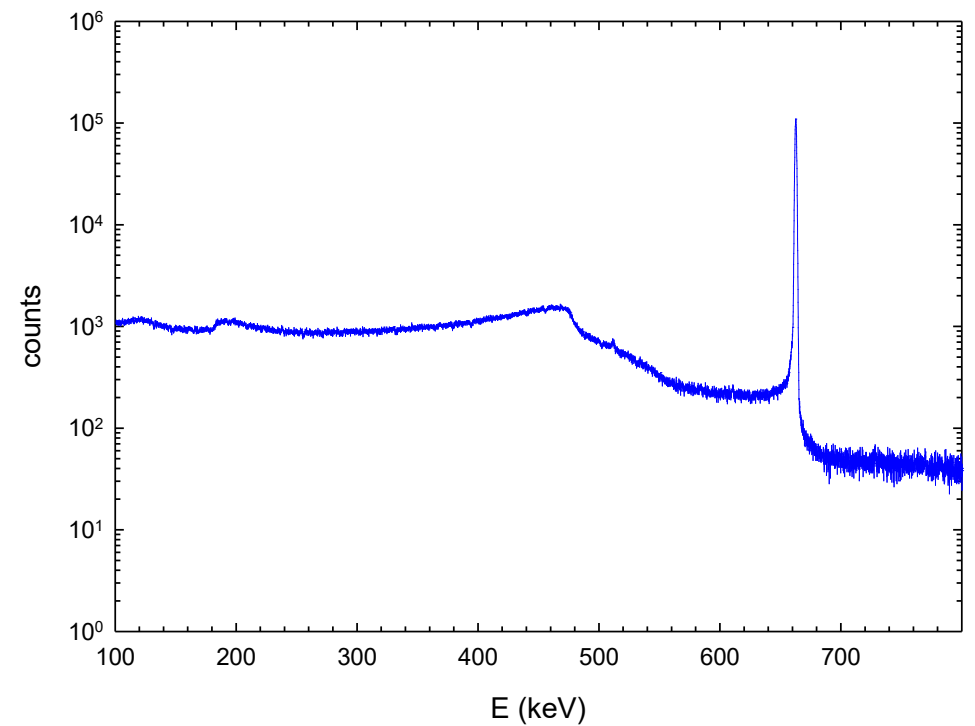
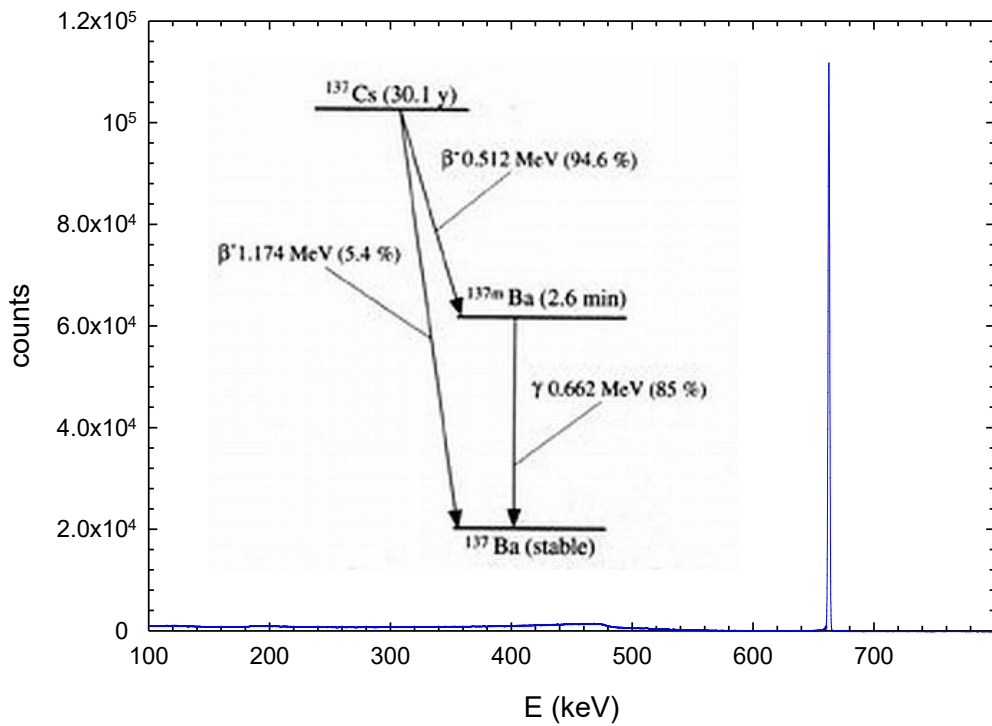


HPGe polovodičové detektory



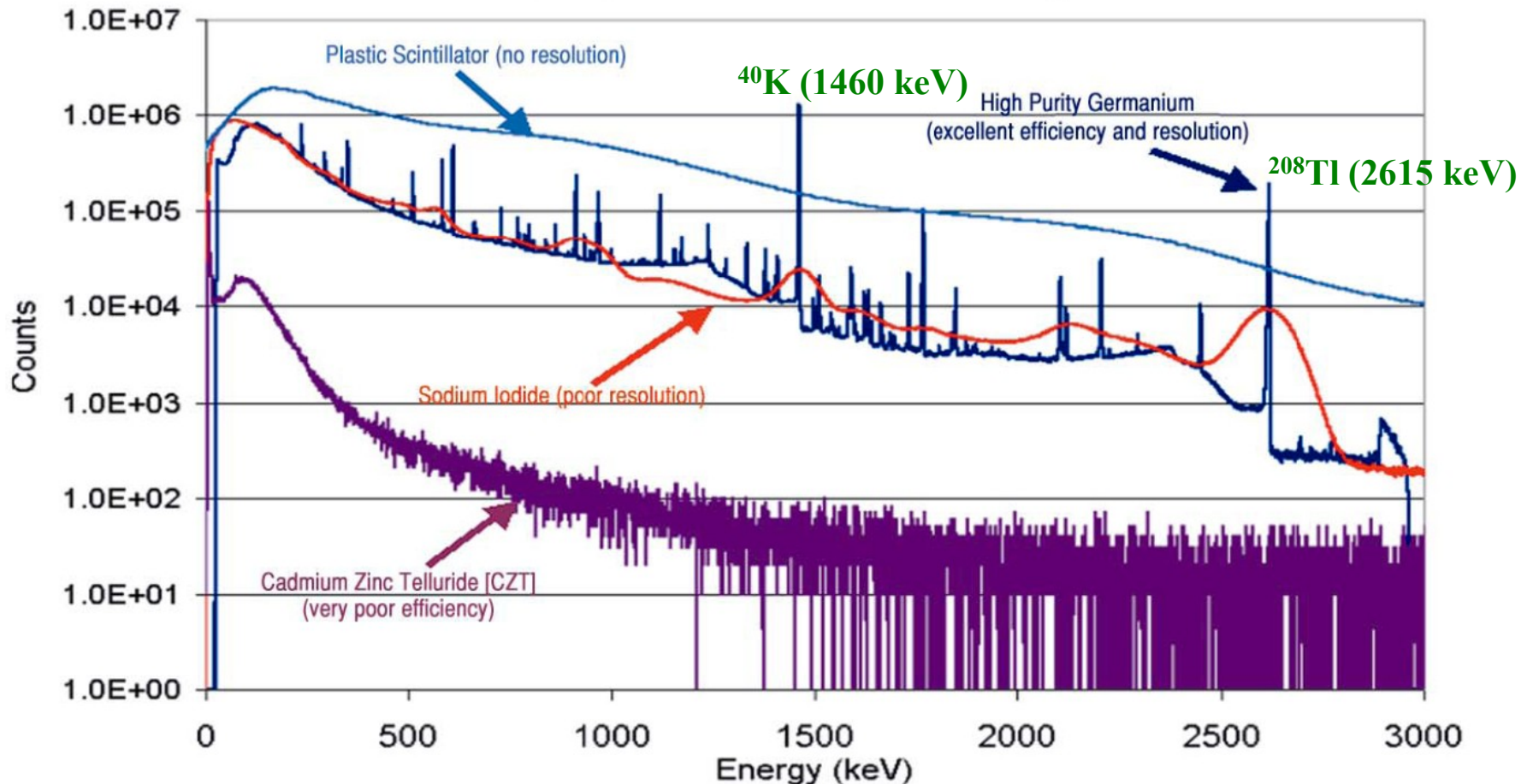
HPGe polovodičové detektory

^{137}Cs



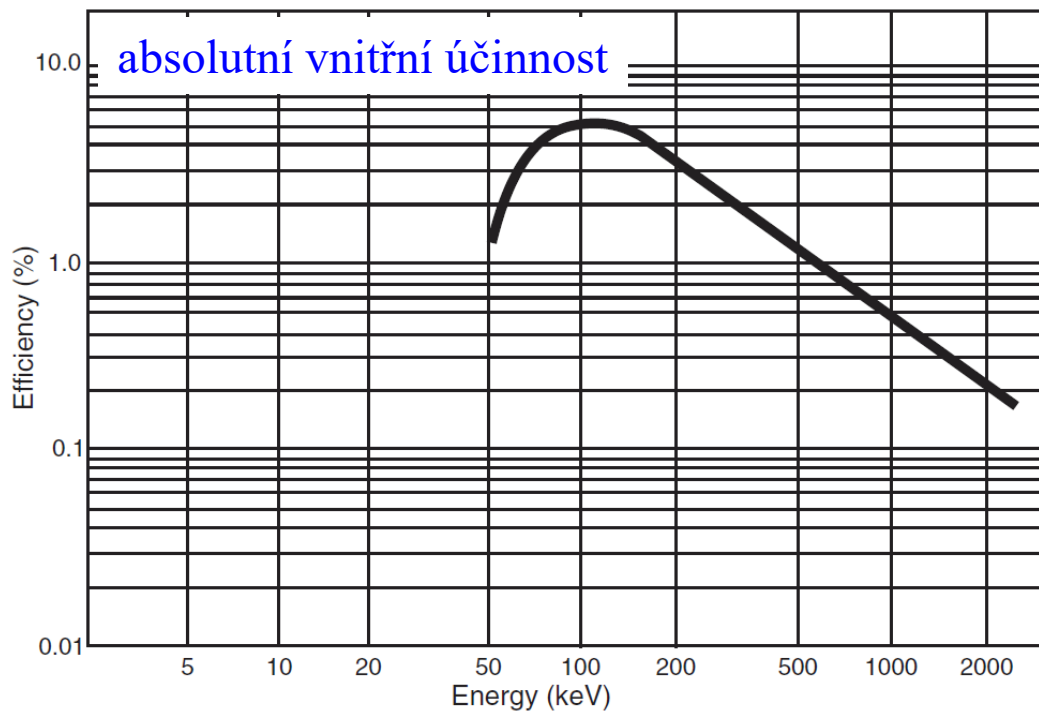
HPGe polovodičové detektory

- přirozené pozadí
- srovnání energetického rozlišení:
- scintilační detektory (plastický scintilátor, NaI(Tl)) x polovodičové (HPGe x CdZnTe)



HPGe polovodičové detektory

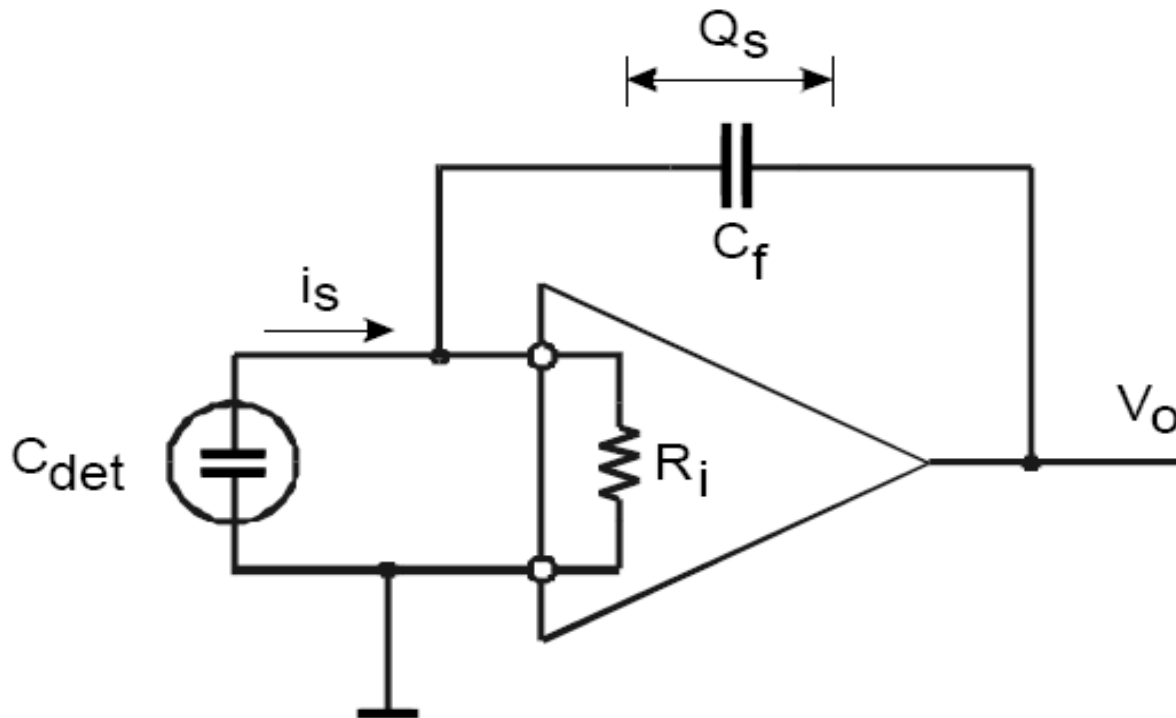
- energetické rozlišení (FWHM)
 - $E = 122 \text{ keV}$ (^{55}Fe EC) $R = 0.5 - 1.0 \%$
 - $E = 1333 \text{ keV}$ (^{60}Co β^-) $R = 0.14 - 0.17 \%$
- relativní účinnost (% NaI)



Model Number	Relative Efficiency (%) \geq	Full Width Half Max (FWHM) Resolution (keV)		Peak to Compton Ratio (P/C)	Peak Shape	Endcap diameter mm (in.)
		At 122 keV energy	At 1.3 MeV energy		FWTM/FWHM	
GC0518	5	0.8	1.8	32	1.90	76 (3.0)
GC1018	10	0.8	1.8	38	1.90	76 (3.0)
GC1020	10	0.9	2.0	34	2.00	76 (3.0)
GC1518	15	0.8	1.8	44	1.90	76 (3.0)
GC1520	15	0.9	2.0	40	2.00	76 (3.0)
GC2018	20	0.8	1.8	50	1.90	76 (3.0)
GC2020	20	0.9	2.0	46	2.00	76 (3.0)
GC2518	25	0.8	1.8	54	1.90	76 (3.0)
GC2520	25	0.9	2.0	50	2.00	76 (3.0)
GC3018	30	0.8	1.8	58	1.90	76 (3.0)
GC3020	30	1.0	2.0	54	2.00	76 (3.0)
GC3518	35	0.9	1.8	60	1.90	76 (3.0)
GC3520	35	1.0	2.0	56	2.00	76 (3.0)
GC4018	40	0.9	1.8	62	1.90	76 (3.0)*
GC4020	40	1.1	2.0	54	2.00	76 (3.0)*
GC4518	45	0.9	1.8	62	1.90	83 (3.25)
GC4520	45	1.1	2.0	54	2.00	83 (3.25)
GC5019	50	1.0	1.9	64	1.90	83 (3.25)*
GC5021	50	1.2	2.1	56	2.00	83 (3.25)*
GC5519	55	1.0	1.9	64	1.90	89 (3.5)
GC5521	55	1.2	2.1	56	2.00	89 (3.5)
GC6020	60	1.1	2.0	66	1.90	89 (3.5)
GC6022	60	1.2	2.2	60	2.00	89 (3.5)

Nábojově citlivý předzesilovač

- vstupní impedance: $R_i C_{det} \gg t_{coll}$
- výstupní napětí $V_o \propto \frac{Q_s}{C_f}$
- zisk $A_Q = \frac{dV_o}{dQ_s} \approx \frac{1}{C_f}$



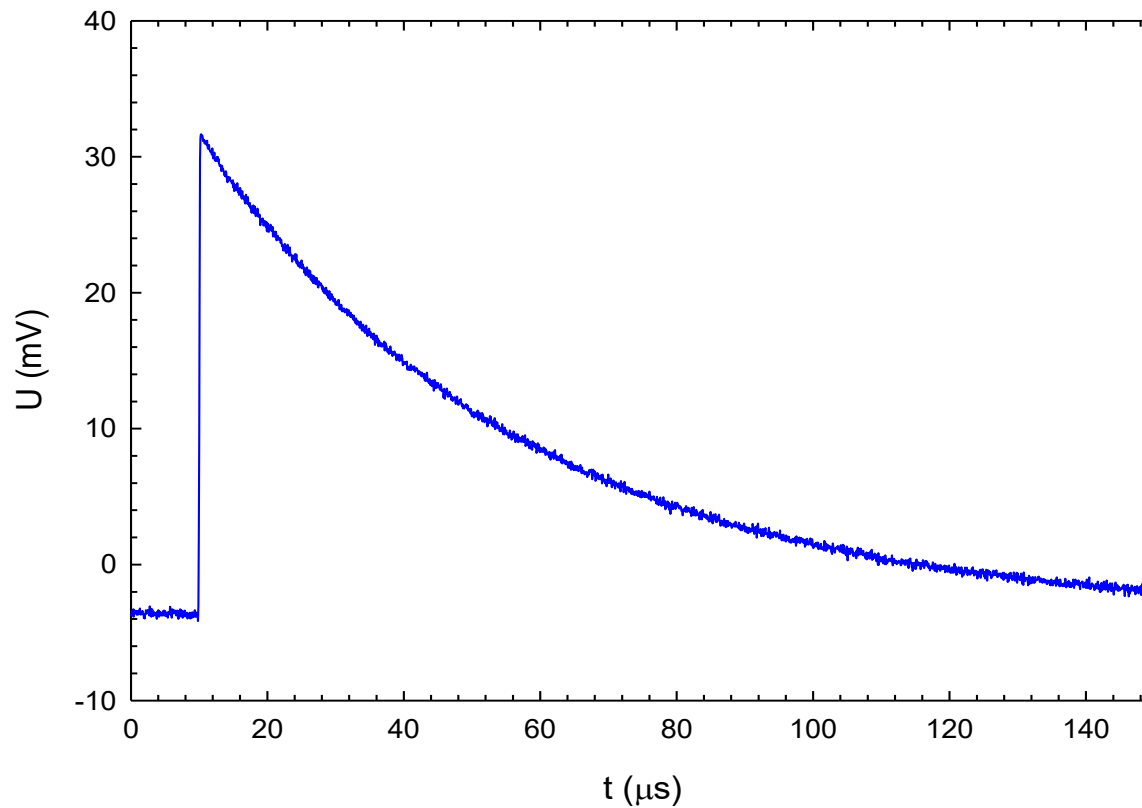
Nábojově citlivý předzesilovač

• vstupní impedance: $R_i C_{det} \gg t_{coll}$

• zisk

$$A_Q = \frac{dV_o}{dQ_s} \approx \frac{1}{C_f}$$

• výstupní napětí $V_o \propto \frac{Q_s}{C_f}$



Šum: scintilační detektory

511 keV γ -záření



~ 5000 fotonů emitovaných NaI(Tl) scintilátorem (100 eV/foton)



~ 100 fotonů na fotokatodě (rychlá komponenta)
(integrální světelný výstup BaF₂ 20 / 2 % NaI(Tl))



~ 3×10^8 elektronů na anodě
(zisk PMT $G = 10^7$, kvantová účinnost katody $\eta = 25\%$),
4 mA max. proud (délka pulsu 30 ns)
0.2 V (pro 50 Ω vstupní impedanci)

$$\varepsilon_E = \frac{\sigma_E}{E} = \frac{\sigma_N}{N} = \frac{\sqrt{N}}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}}$$

Poissonovo rozdělení

$$\varepsilon_E = 10 \%$$



$$\text{FWHM} = 24 \%$$

(120 keV)

fluktuace signálu:	$\sigma_{sig} \approx \sqrt{G \eta 100} = 2 \times 10^4 e$
dosažitelný elektronický šum:	$\sigma_{el} \approx 10 - 1000 e$

**elektronický šum
lze zanedbat**

Šum: polovodičové detektory

511 keV γ -záření



~ 173000 párů elektron-díra (Ge $\xi = 2.96$ eV/e-díra pár)



vnitřní rozlišení na energii $E = 511$ keV

(fano faktor $F = 0.1$)

$$\eta_E = \sqrt{\frac{F \xi}{E}} = 0.08 \% \quad \longrightarrow \quad \text{FWHM} = 0.96 \text{ keV}$$

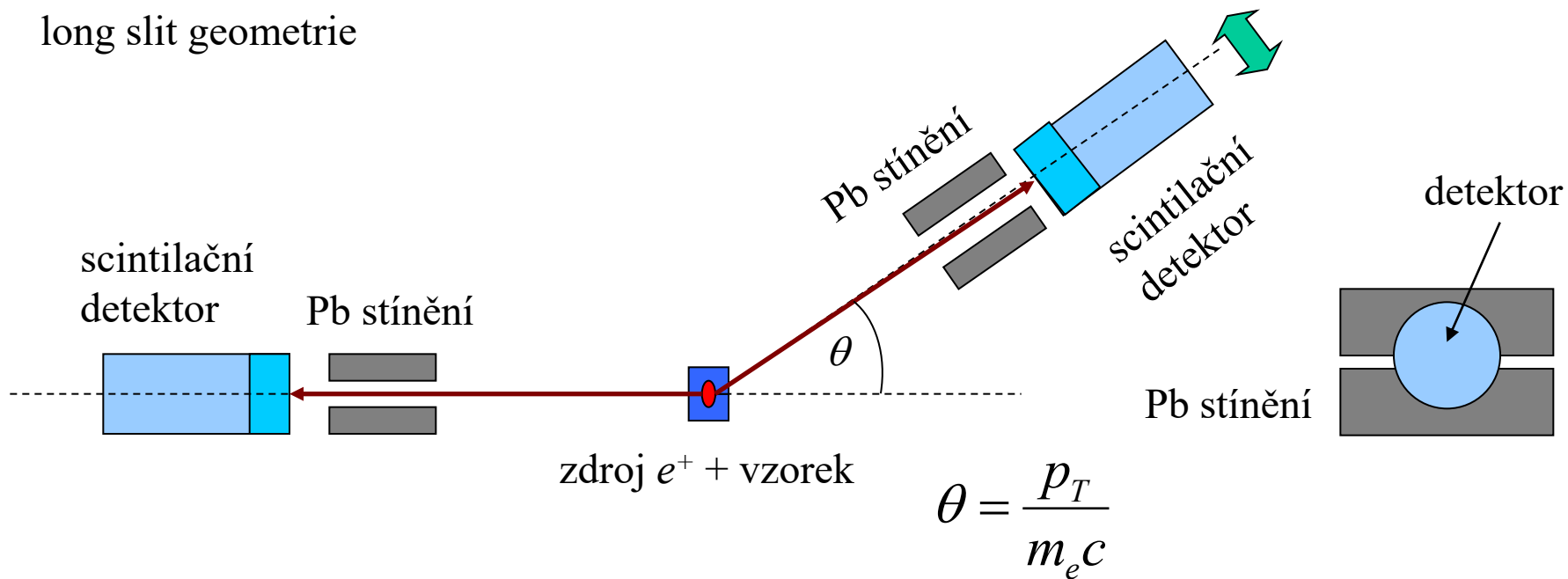
fluktuace signálu: $\sigma_{sig} \approx \sqrt{173000 F} = 132 e$

dosažitelný elektronický šum: $\sigma_{el} \approx 10 - 1000 e$

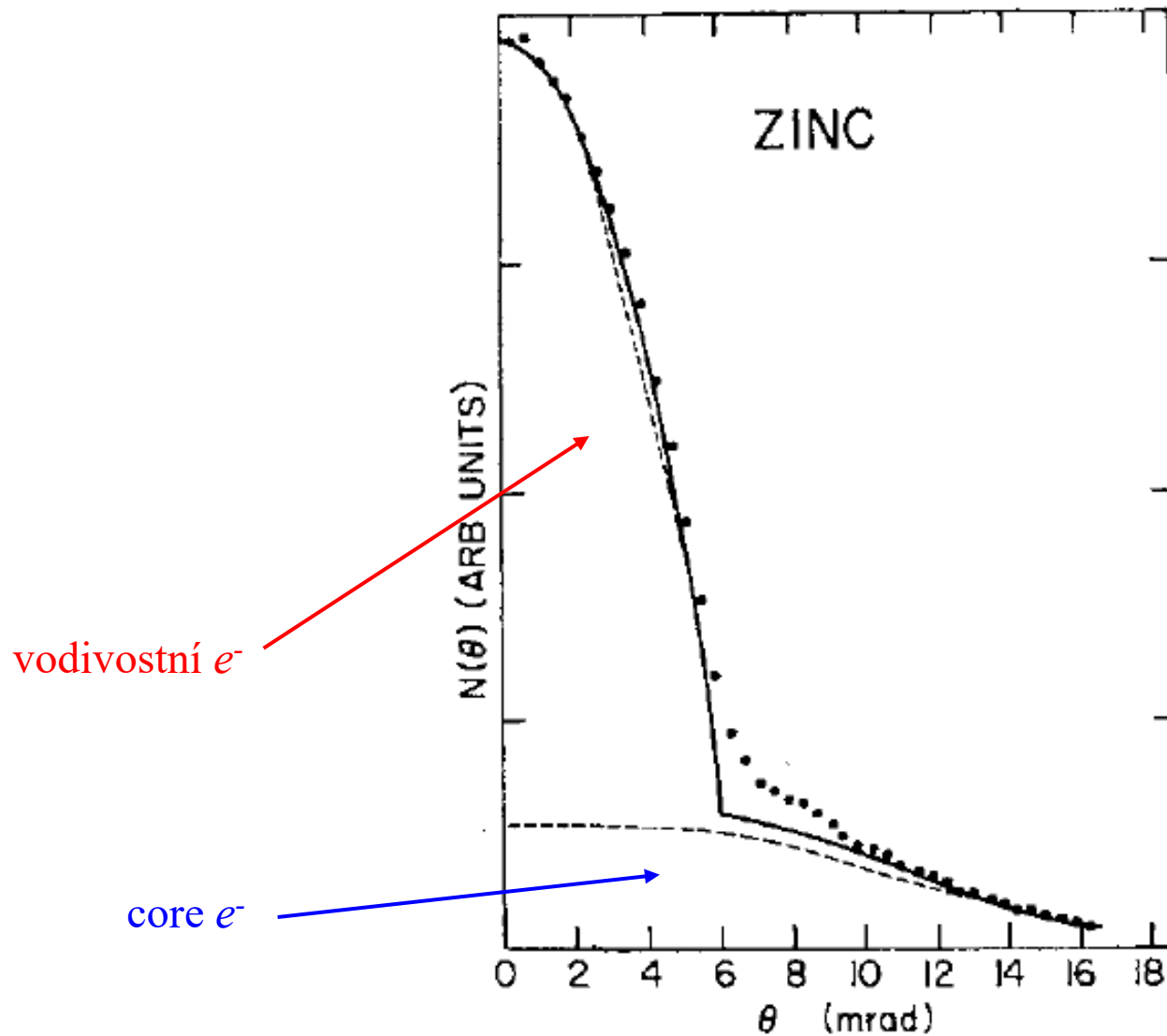
**elektronický šum
je dominantní**

Měření doby úhlových korelací (ACAR)

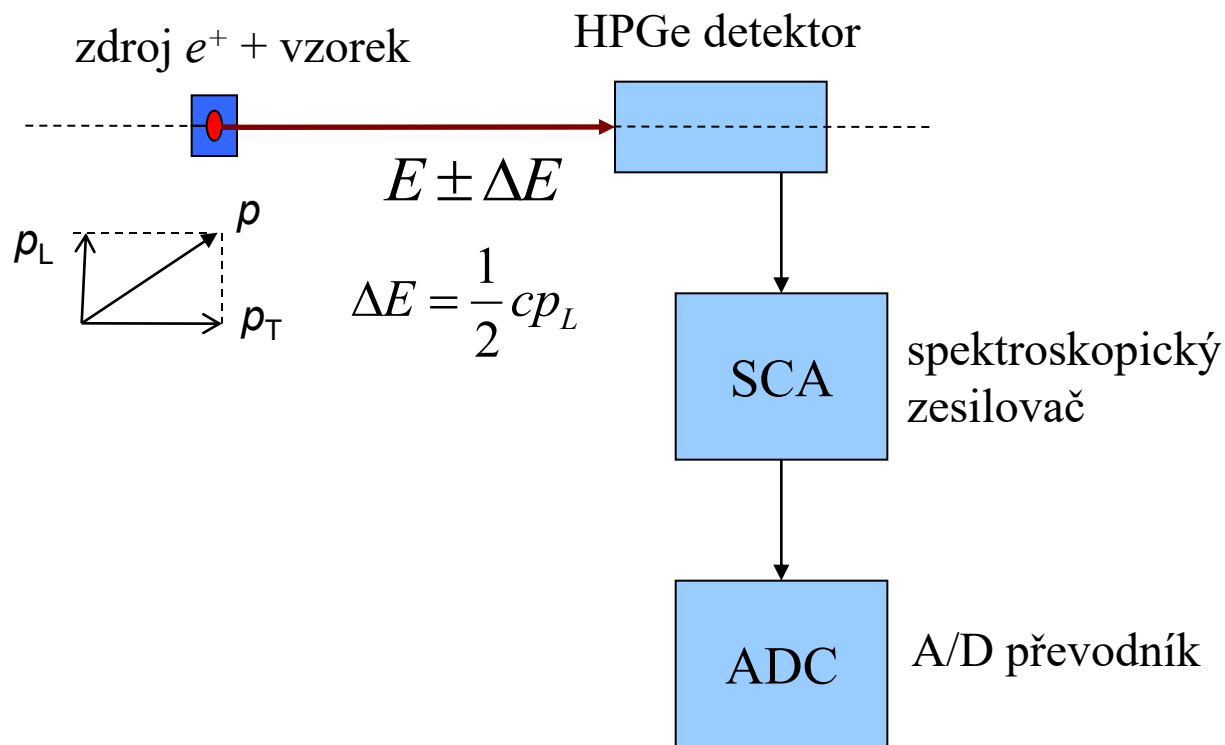
long slit geometrie



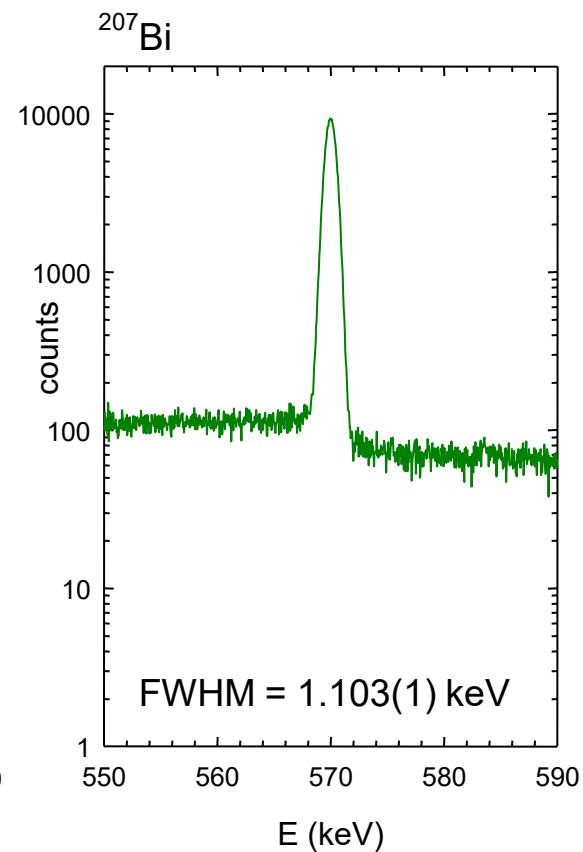
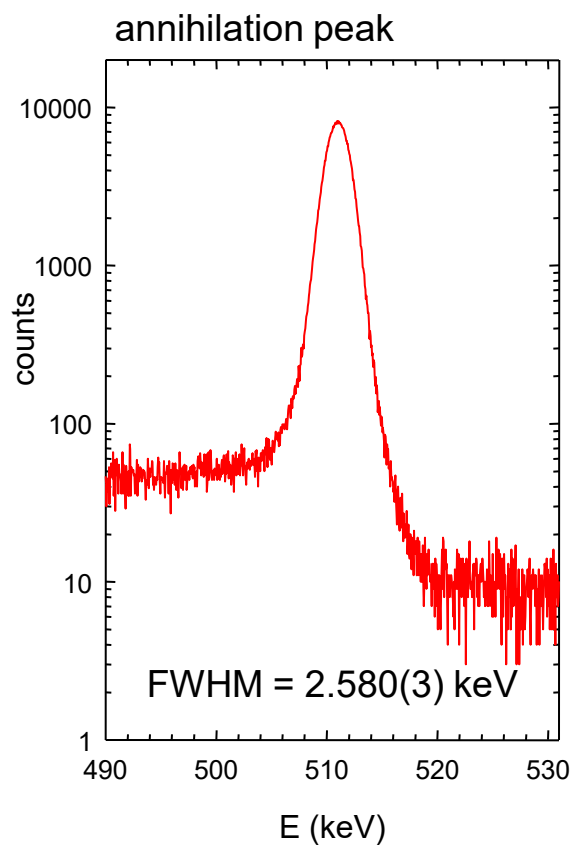
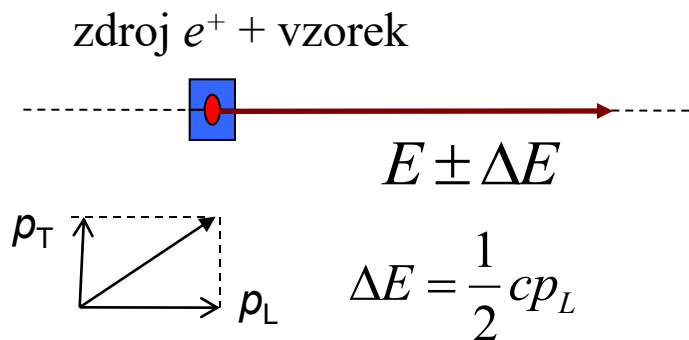
Měření doby úhlových korelací (ACAR)



Měření Dopplerovského rozšíření



Měření Dopplerovského rozšíření (DB)



Srovnání rozlišení DB × ACAR

- ACAR

$$\theta = \frac{p_T}{m_e c}$$

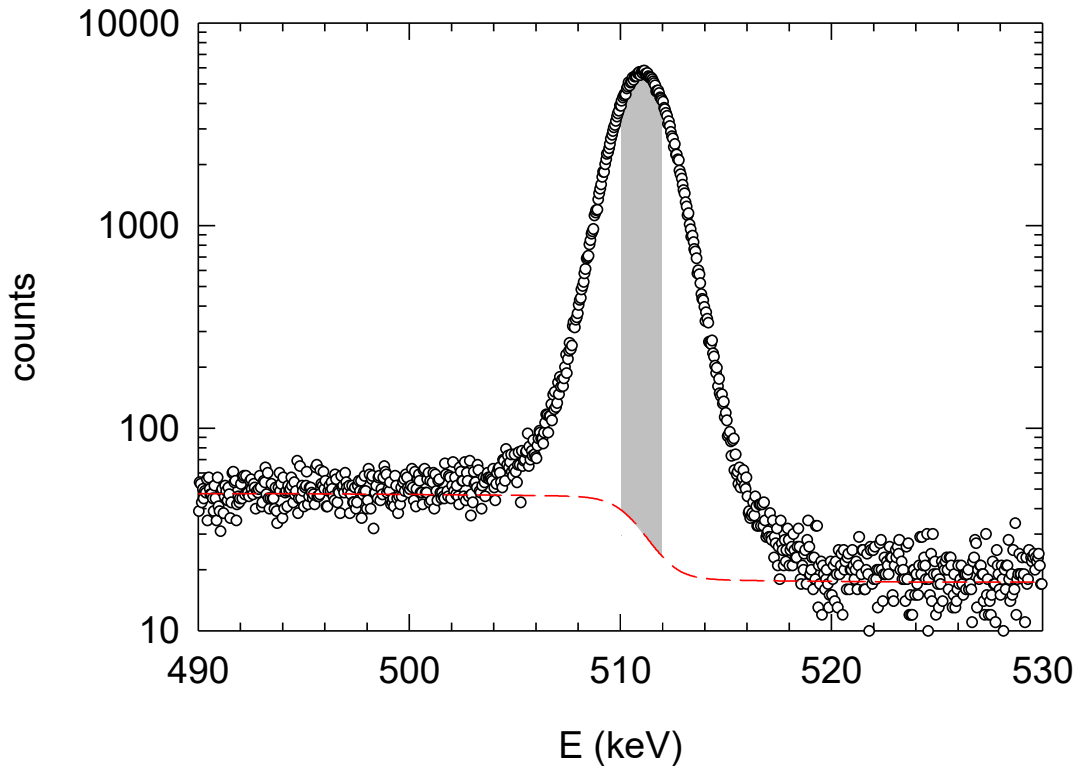
- neurčitost úhlu $\sigma_\theta \approx 1 \text{ mrad} \longrightarrow \sigma_{p_T} \approx \sigma_\theta \frac{m_e c^2}{c} \approx 0.5 \frac{\text{keV}}{c}$

- DB

$$\Delta E = \frac{1}{2} p_L c$$

- neurčitost úhlu $\sigma_{\Delta E} \approx 1 \text{ keV} \longrightarrow \sigma_{p_L} \approx \frac{2\sigma_{\Delta E}}{c} \approx 2 \frac{\text{keV}}{c}$

Měření Dopplerovského rozšíření – tvarové parametry



- S - míra podílu anihilací e^+ s valenčními e^- (malé ΔE)
- nárůst koncentrace defektů \rightarrow nárůst S parametru

- S parametr

$$S = A_{centr} / A_{tot}$$

$$S = \eta_B S_B + \sum_i \eta_{D_i} S_{D_i}$$

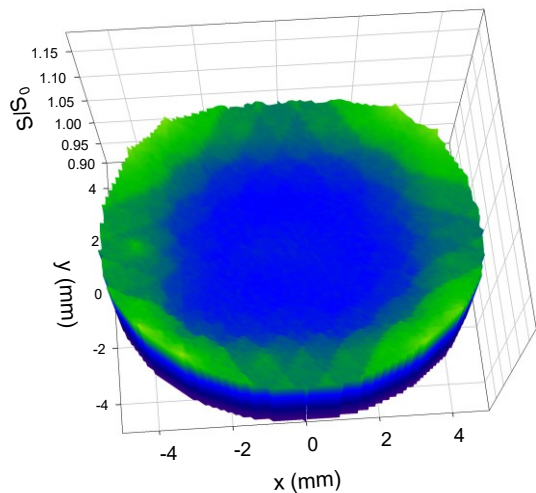
volné e^+

e^+ zachycené
v defektech

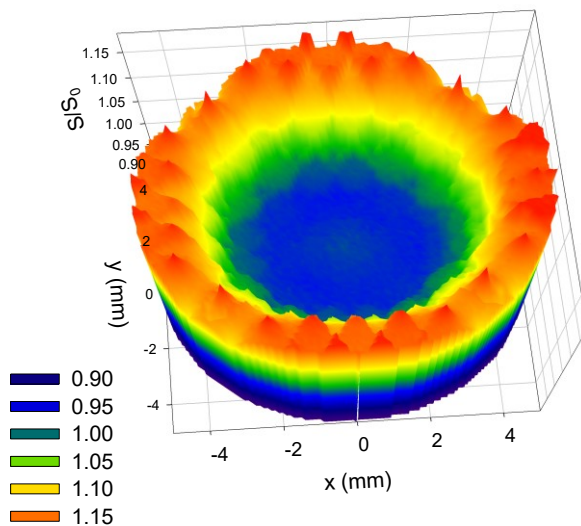
- referenční vzorek: $S_0 \approx 0.5$
- normalizace: S / S_0

Měření Dopplerovského rozšíření – tvarové parametry

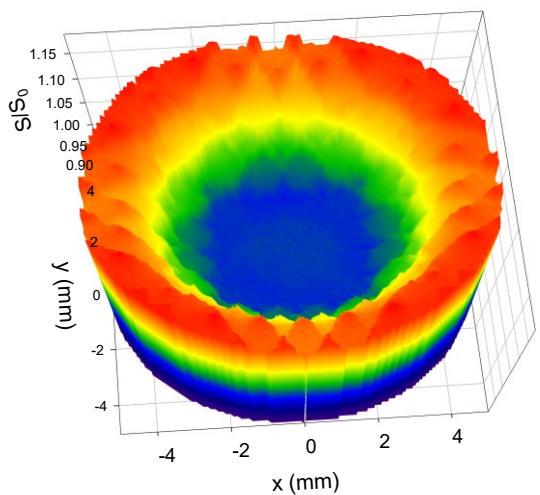
1 HPT revolution



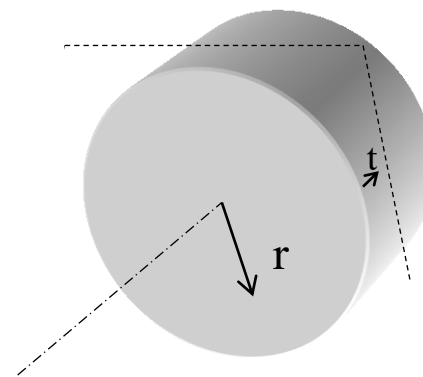
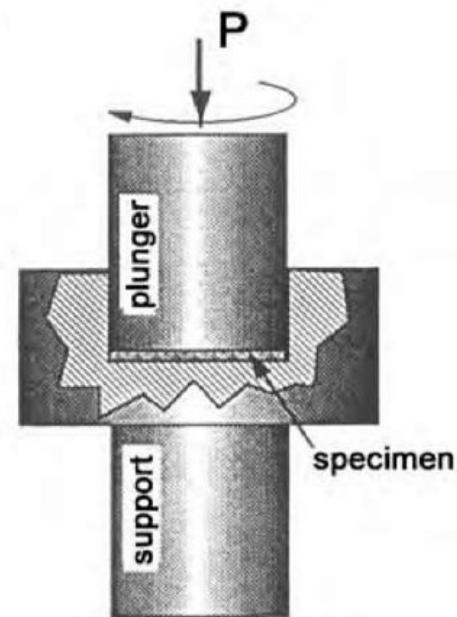
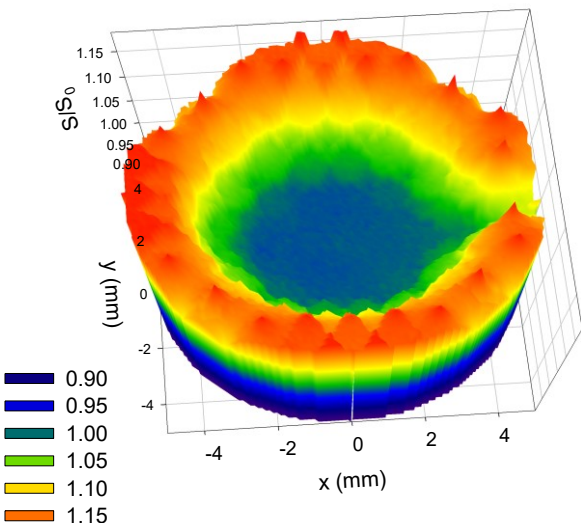
3 HPT revolutions



15 HPT revolutions

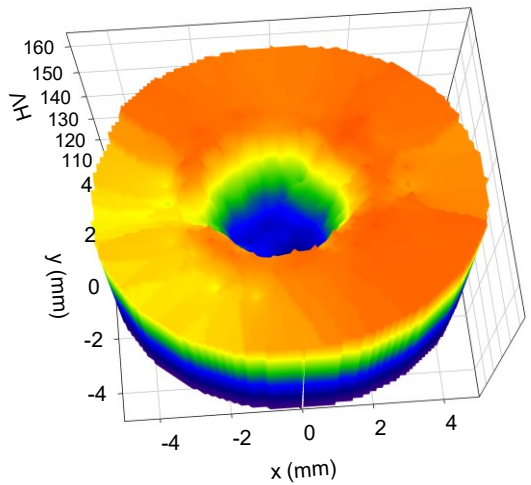


25 HPT revolutions

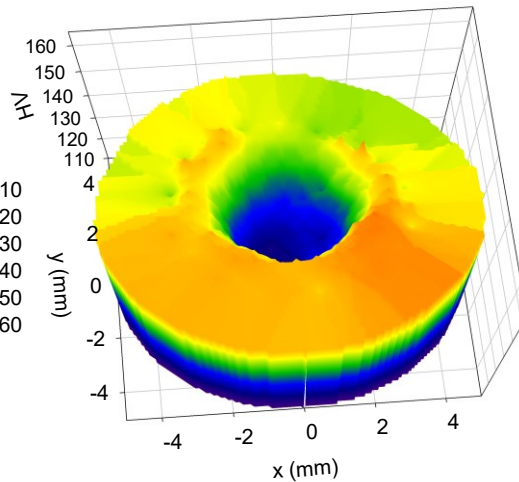


Srovnání s mikrotvrdostí

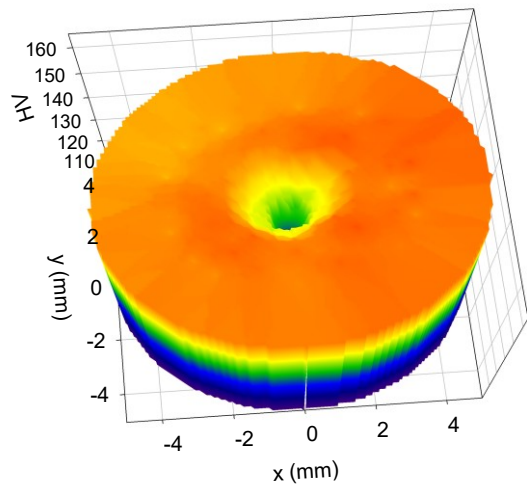
1 HPT revolution



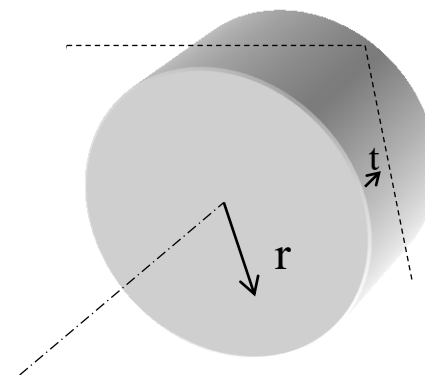
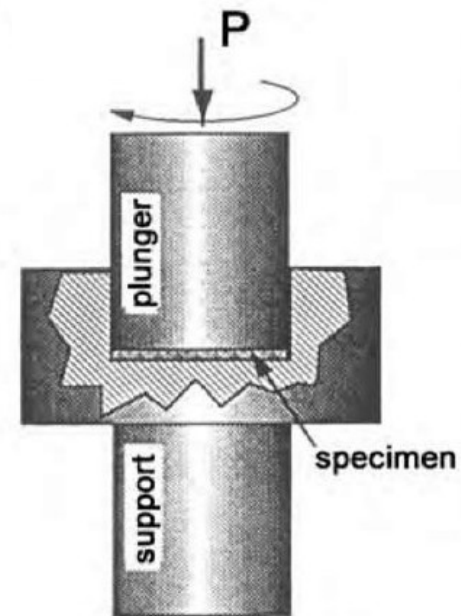
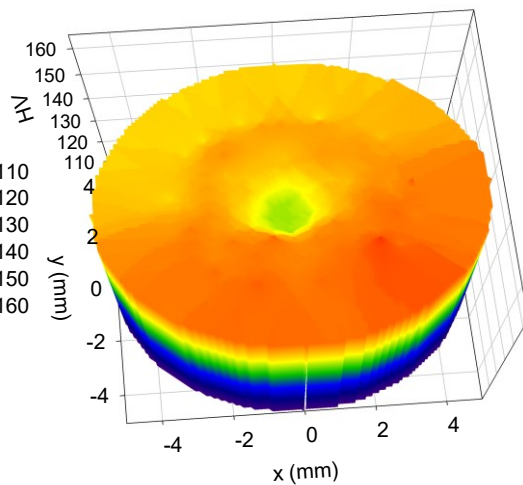
3 HPT revolutions



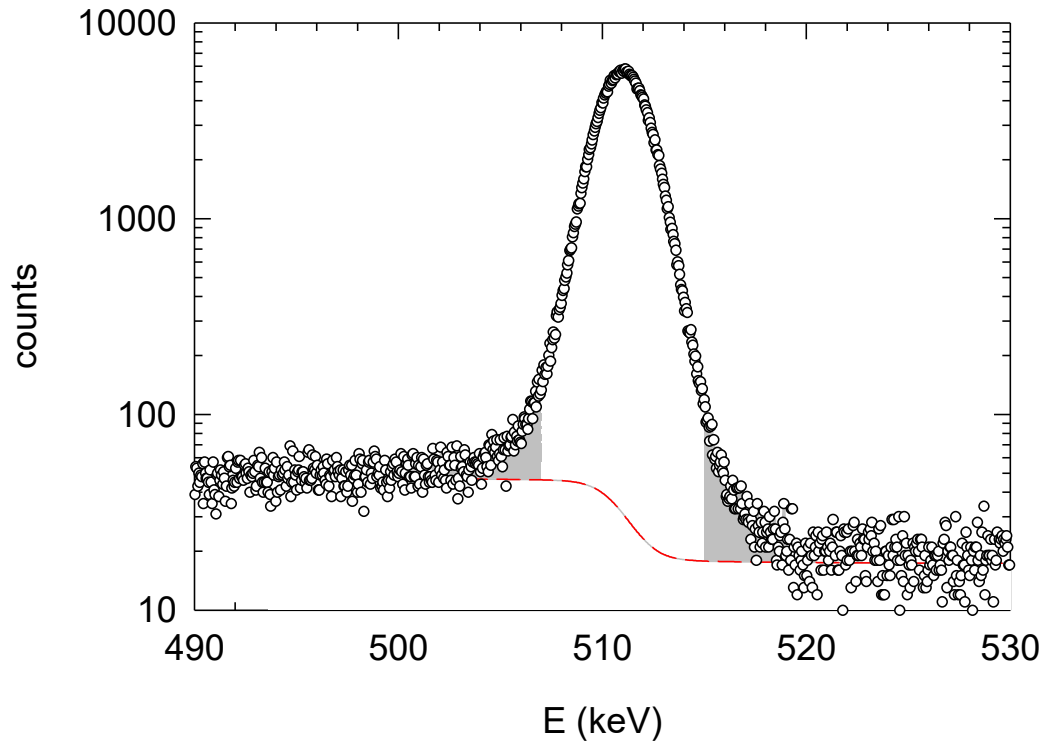
15 HPT revolutions



25 HPT revolutions



Měření Dopplerovského rozšíření – tvarové parametry



- W - míra podílu anihilací e^+ s core e^- (velké ΔE)
- nárůst koncentrace defektů \rightarrow pokles W parametru

- W parametr

$$W = A_{wings} / A_{tot}$$

$$W = \eta_B W_B + \sum_i \eta_{D_i} W_{D_i}$$

volné e^+

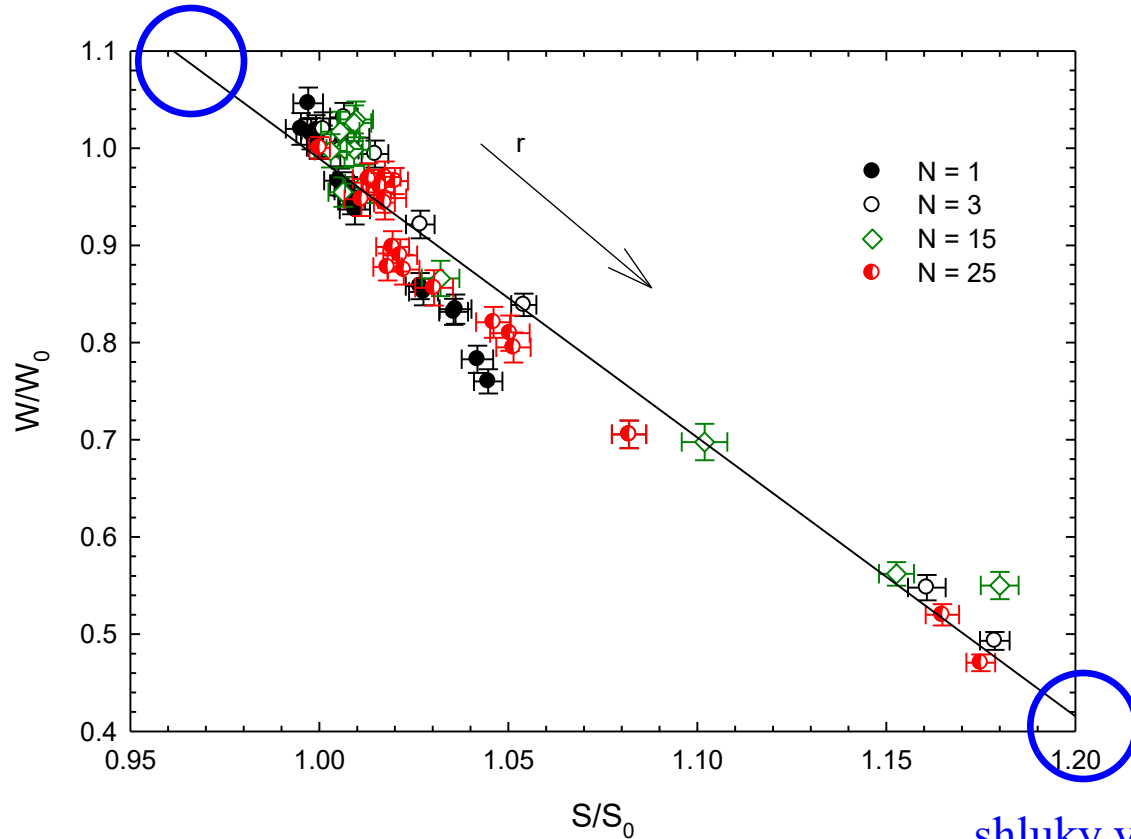
e^+ zachycené
v defektech

- referenční vzorek: $W_0 \approx 0.03$
- normalizace: W / W_0

Měření Dopplerovského rozšíření – S - W plot

dislokace

HPT Cu



- saturovaný záchyt

- dva typy defektů:

- dislokace

- shluky vakancí

$$S = (1 - \eta_{cl}) S_{disl} + \eta_{cl} S_{cl}$$

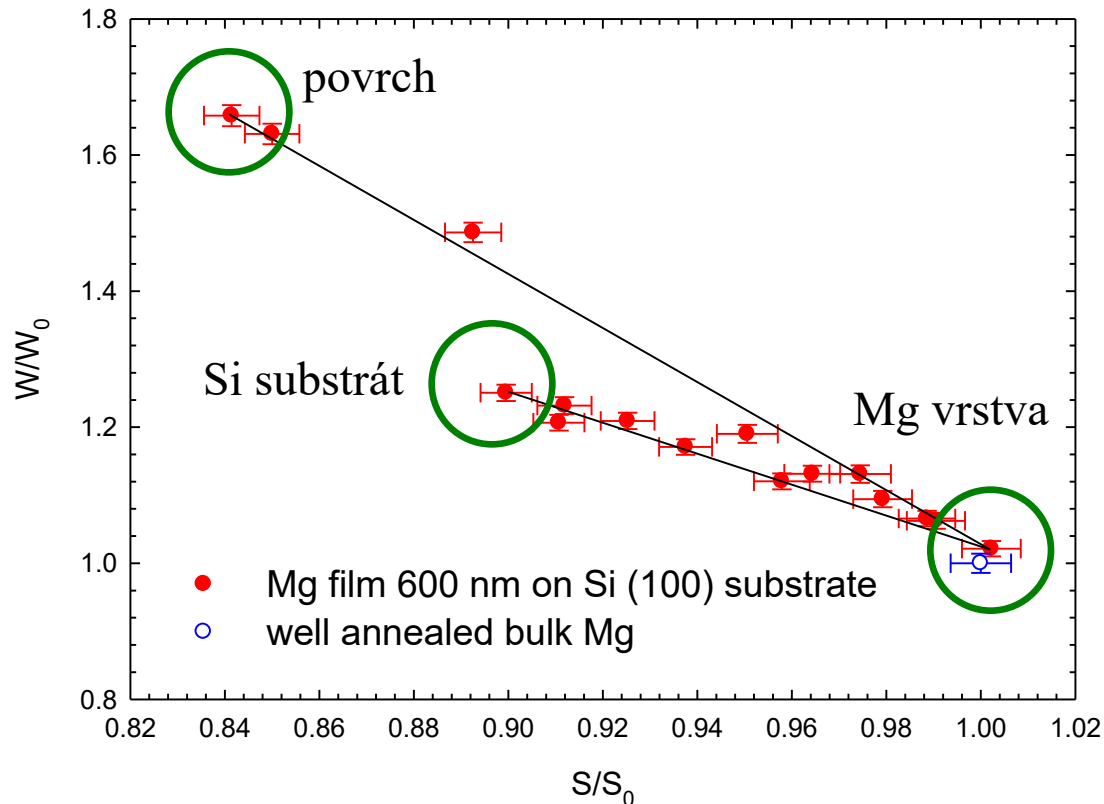
$$W = (1 - \eta_{cl}) W_{disl} + \eta_{cl} W_{cl}$$

shluky vakancí

$$R \equiv \frac{S - S_d}{W - W_d} = \text{konst}$$

Měření Dopplerovského rozšíření – S - W plot

Mg film (600 nm) na Si (100) substrátu



- M – počet vrstev
- N_l – počet typů defektů v l -té vrstvě

$$\eta_{surf}(E) + \sum_{l=1}^M F_l(E) = 1$$

$$\eta_{B,l} + \sum_{i=1}^{N_l} \eta_{D,i,l} = 1$$

$$S(E) = \eta_{surf}(E)S_{surf} + \sum_{l=1}^M F_l(E) \left(\eta_{B,l}S_{B,l} + \sum_{i=1}^{N_l} \eta_{D,i,l}S_{D,i,l} \right)$$

