

Experimentálne metódy

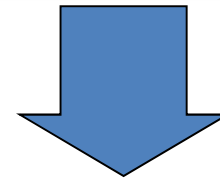
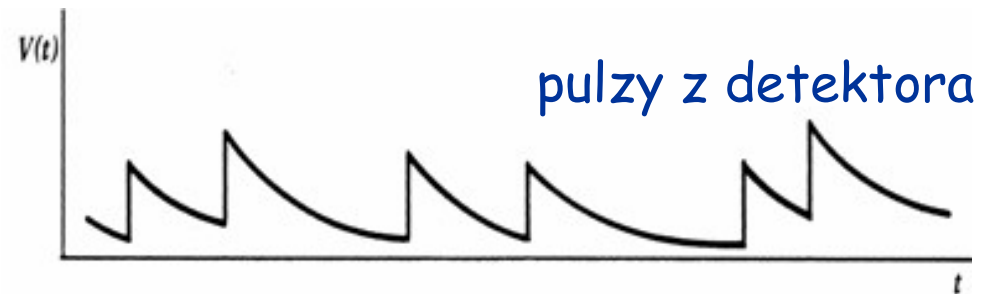
Marcel MiGLiERiNi

1. Gama spektrometria

- princípy spektrometrie
- základné komponenty meracej trasy
 - predzosilňovač, zosilňovač
 - tvarovač
 - jednokanálový a mnohokanálový analyzátor
- γ spektrometria

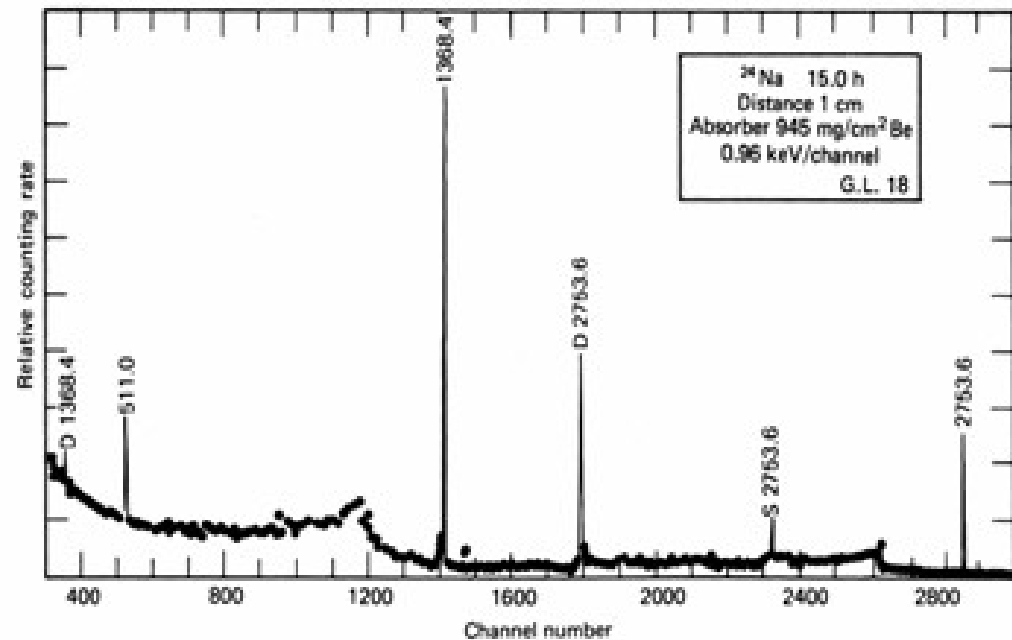
Princíp spektrometrie

- detektor
 - identifikácia ionizujúceho žiarenia
 - elektronický výstupný signál



spektrum energií

- analógový signál z detektora (náboj) je:
 - prenesený
 - zosilnený
 - tvarovaný
 - konvertovaný na binárny údaj, ktorý je priamo úmerný pôvodnému náboju
 - uschovaný



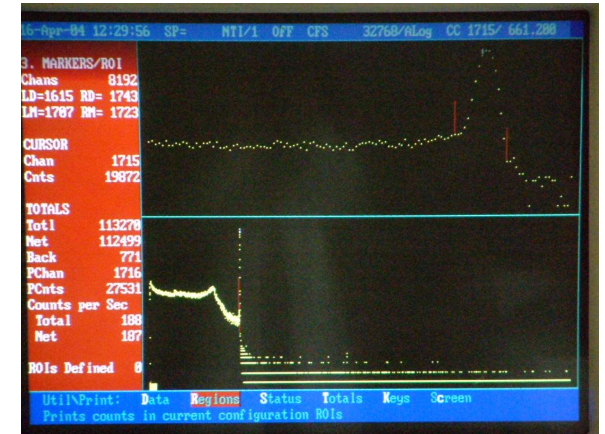
Detektory pre spektrometriu

- scintilačné
 - používané v minulosti
 - vysoká účinnosť
 - veľmi rozšírené
 - nové materiály s lepším energetickým rozlíšením
- polovodičové
 - vyvinuté neskôr
 - vysoké energetické rozlíšenie
 - nižšia účinnosť
- HPGe
 - najlepšie energetické rozlíšenie
 - NaI(Tl) $R \sim 10\%$ pre 0.662 MeV
 - HPGe $R \sim 0.2\%$ pre 0.662 MeV
 - používané v súčasnosti pre spektrometrické účely

$$R = \frac{\Delta E}{E_0} \cdot 100 \quad (\%)$$

ΔE – FWHM
 E_0 – vzťažná energia
 R – energetické rozlíšenie

Bloková schéma spektrometra



Predzosilňovač

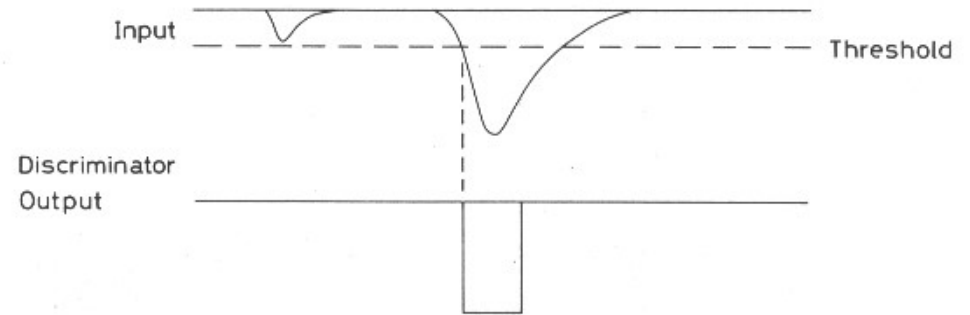
- hlavná úloha
 - zosilnenie slabého signálu detektora (mV) na jeho prenos cez káble
- **neuskutočňuje** sa tvarovanie pulzu
- doba zániku pulzu je dosť dlhá (50-100 μ s), čiže náboj z detektora môže byť úplne zozbieraný
- impedančné prispôsobenie
 - vysoká impedancia na strane detektora na minimalizáciu nabíjania
 - nízka impedancia na výstupe
- umiestnený čo **najbližšie** k detektoru
 - minimalizácia kapacitnej záťaže detektora
 - vstupná kapacita má veľký vplyv na pomer signál/šum predzosilňovača

Zosilňovač

- plní nasledovné úlohy:
 - lineárne **zosilnenie** intenzity pulzu na $U = 1-10\text{ V}$
 - zlepšenie pomeru signál/šum – **integrácia**
 - **tvarovanie** pulzu (pile-up = navrstvenie)
- tvarovanie pulzu
 - nízky pomer signál/šum pre výstup z detektora/predzosilňovača
 - najlepší pomer signál/šum sa dá získať z Gaussovho alebo trojuholíkového tvaru pulzu
 - doba tvarovaného pulzu je pár μs (výstupný pulz z predzosilňovača trvá $50-100\ \mu\text{s}$)
 - výber doby trvania tvarovaného pulzu závisí na početnosti

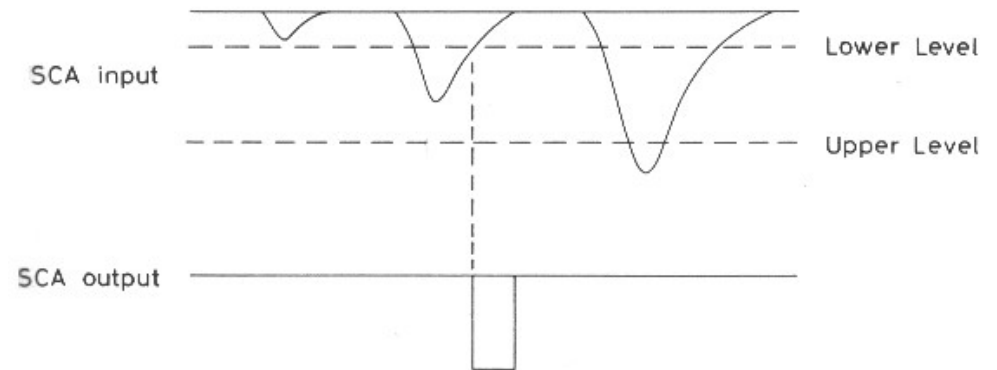
Diskriminátor

- diskriminátor
 - vymedzenie úrovne registrácie



- jednokanálový analyzátor (SCA)
 - triedi vstupné signály podľa výšky pulzu
 - LLD, ULD → okno

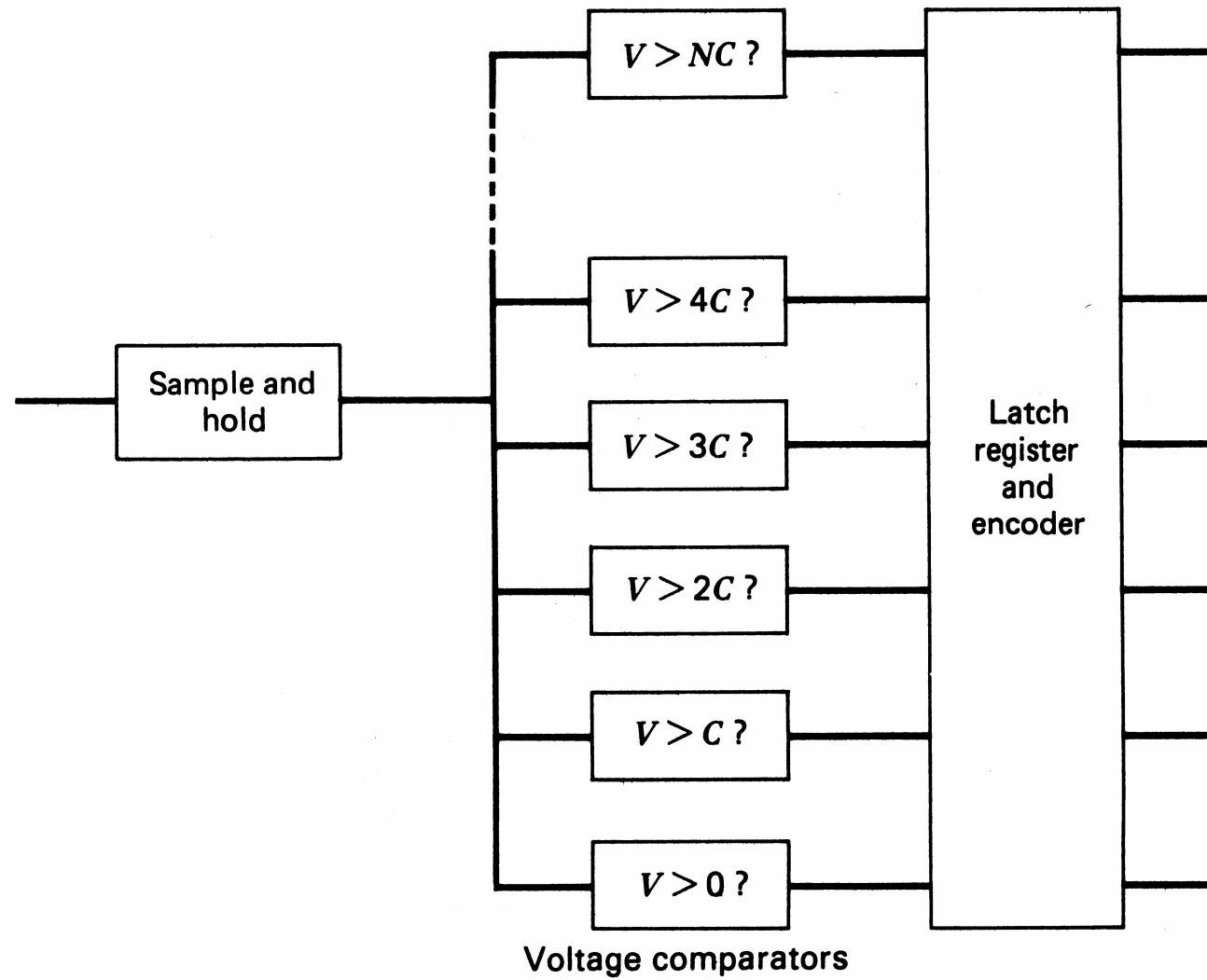
- mód prevádzky
 - normálny (alebo diferenciálny)
 - okno: $ULD = LLD + DE$
 - integrálny



Mnohokanálový analyzátor

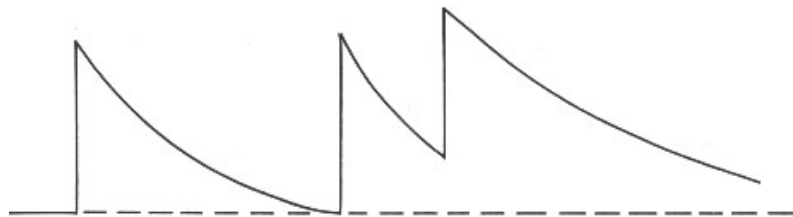
- MCA je zvyčajne karta v PC
- charakteristiky
 - počet kanálov
 - kapacita kanála (max. početnosť)
 - softvér
 - najdôležitejšou časťou je analóg-digitálny prevodník (ADC)
- typy ADC :
 - Wilkinsonov
 - s postupnou aproximáciou
 - rýchly

Rýchly ADC



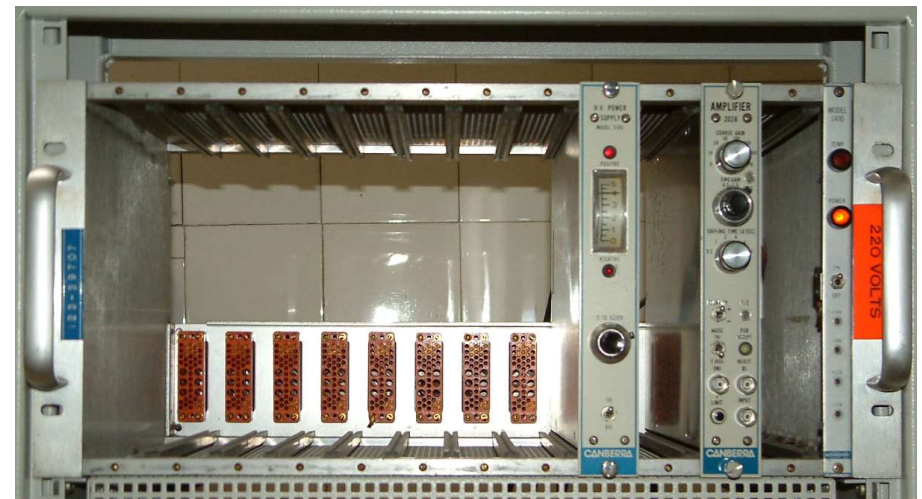
Mŕtva doba

- čas potrebný pre elektronické obvody na spracovanie pulzu
- najviac času spotrebuje ADC
- veľmi vysoká mŕtva doba vedie k efektom navrstvenia pulzov (pile-up), čo následne spôsobuje spektrálny posun a horšie rozlíšenie



Inštrumentálne štandardy

- jadrová elektronika je vyrábaná vo forme štandardných modulov (blokov)
- tie sa umiestňujú do držiakov nazývaných „bin“
- medzinárodné štandardy: NIM a CAMAC (zastaralý)
- **NIM** = Nuclear Instrument Module
- **CAMAC** = Computer Automated Measurement and Control



Ciele gama spektrometrie

- stanovenie energie gama čiar



kvalitatívna analýza

- meranie intenzít gama čiar (plochy čiary)



kvantitatívna analýza

Použitie gama spektrometrie

- neutrónová aktivačná analýza
- dozimetrické účely
- ochrana životného prostredia
- analýza zložiek chladiwa primárneho okruhu JE
- detekcia celistvosti pokrytia palivového článku
- merania emisií rádioaktívnych vzácnych plynov
- detekcia celistvosti parového generátora

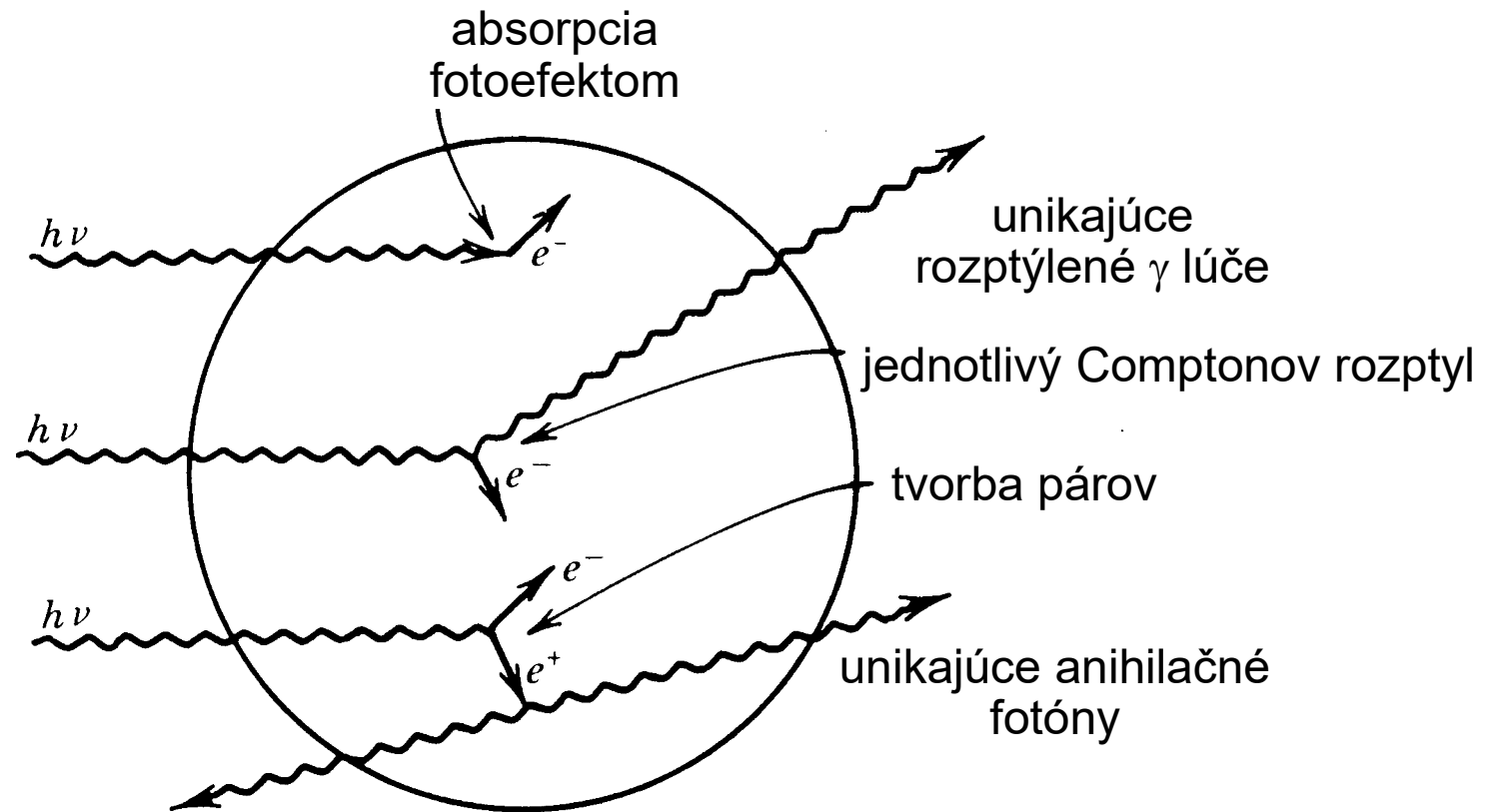
Interakcia γ žiarenia s detektorom

- podľa mechanizmu interakcie
 - fotoelektrický jav
 - Comptonov rozptyl
 - produkcia párov
- pravdepodobnosť interakcie
 - energia γ žiarenia
 - materiál detektora – závislosť od Z (atómové číslo)
- podľa veľkosti detektora
 - malé detektory
 - veľmi veľké detektory
 - detektory stredných veľkostí

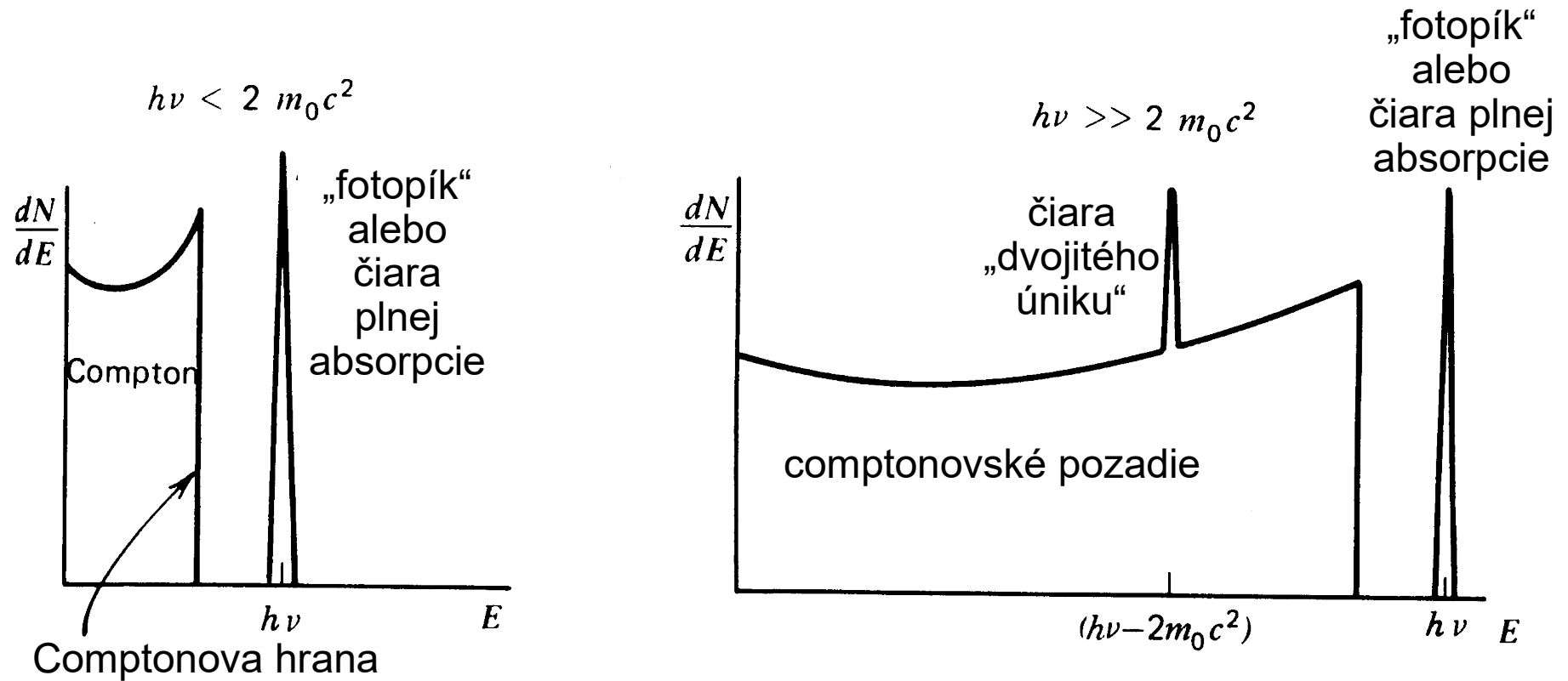
Malé detektory

- malý detektor = rozmery menšie ako 1 až 2 cm
- môže sa objaviť len jeden Comptonov rozptyl
- sekundárne žiarenie z anihilácie pozitronov vytvorených produkciou párov uniká

Interakcie v malých detektoroch



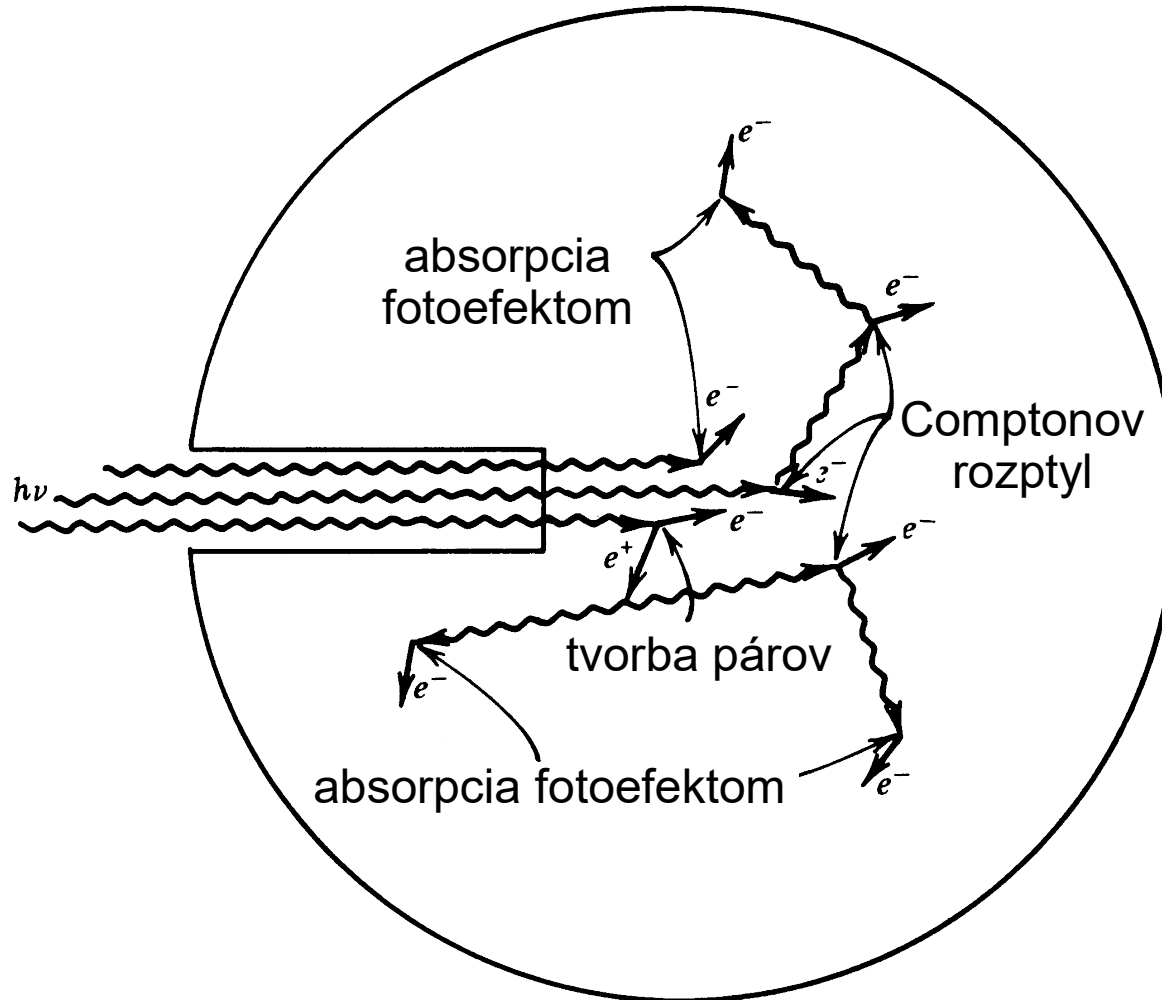
γ spektrum z malých detektorov



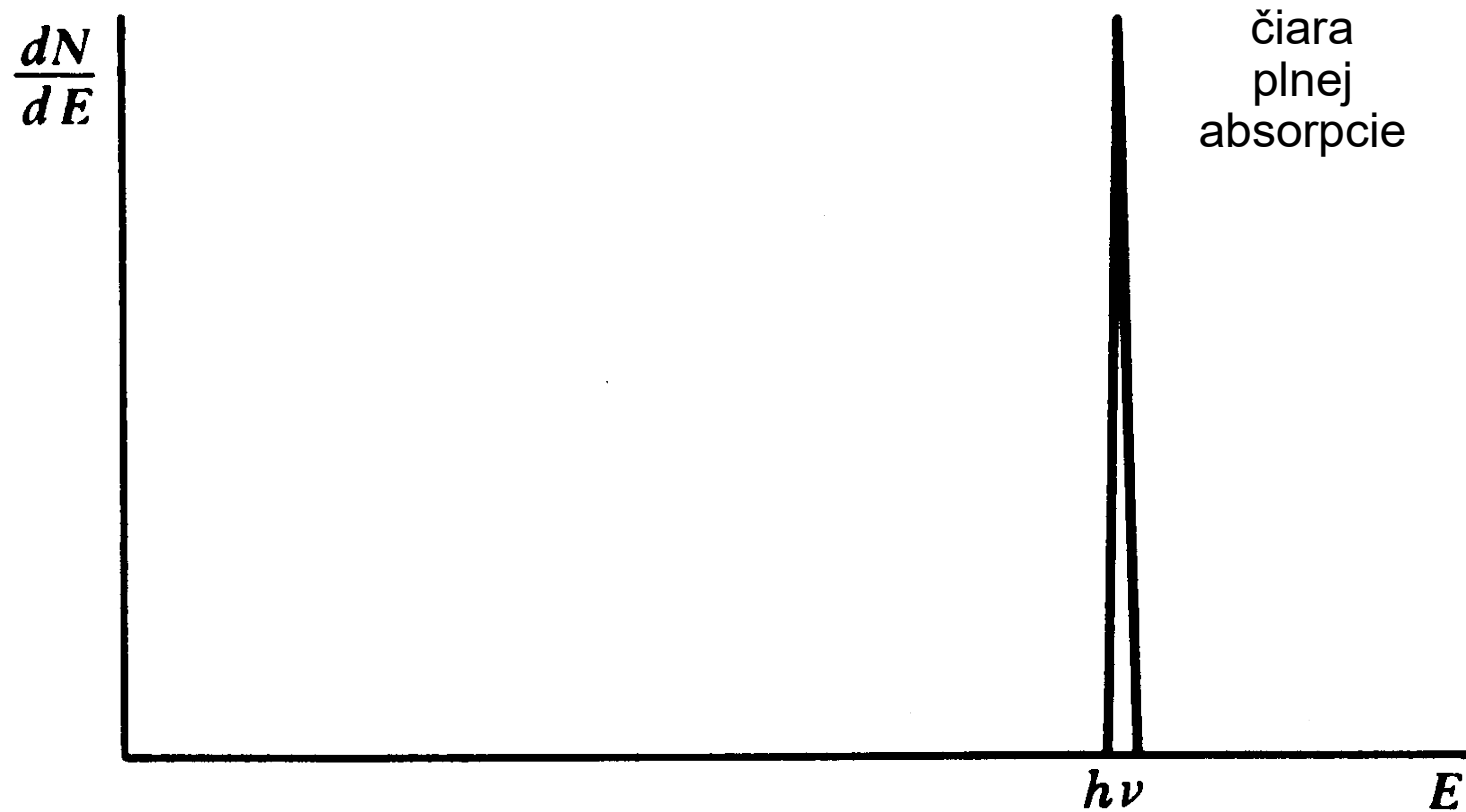
Veľmi veľké detektory

- všetky druhy γ žiarenia sú absorbované v detektore
- keďže čas potrebný na uskutočnenie všetkých procesov je rádovo nanosekundy, celá odozva detektora je taká istá, ako by bola vyvolaná absorpciou dopadajúceho fotónu fotoefektom v jednom kroku

Interakcie vo veľmi veľkých detektoroch



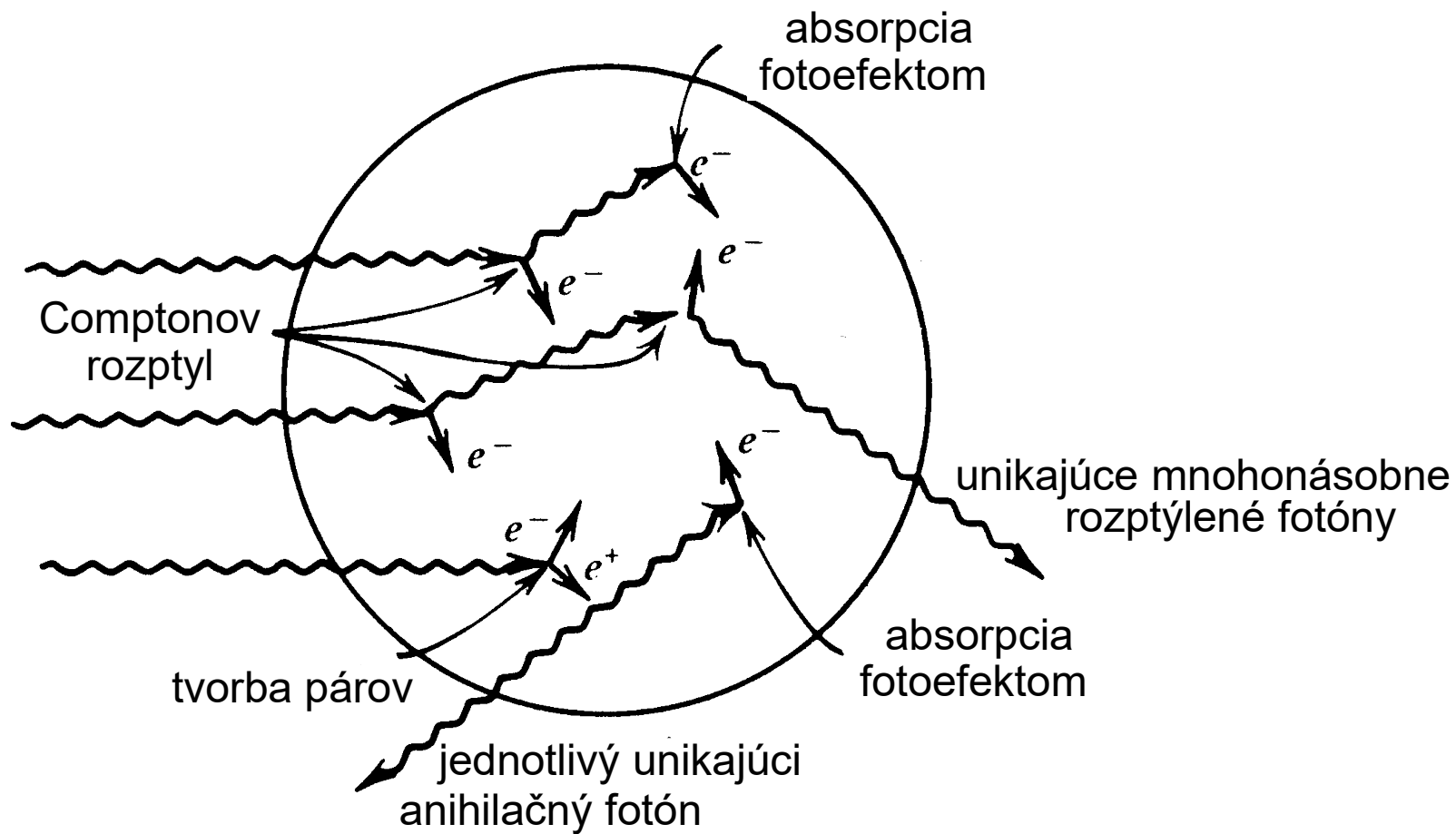
γ spektrum z veľmi veľkých detektorov



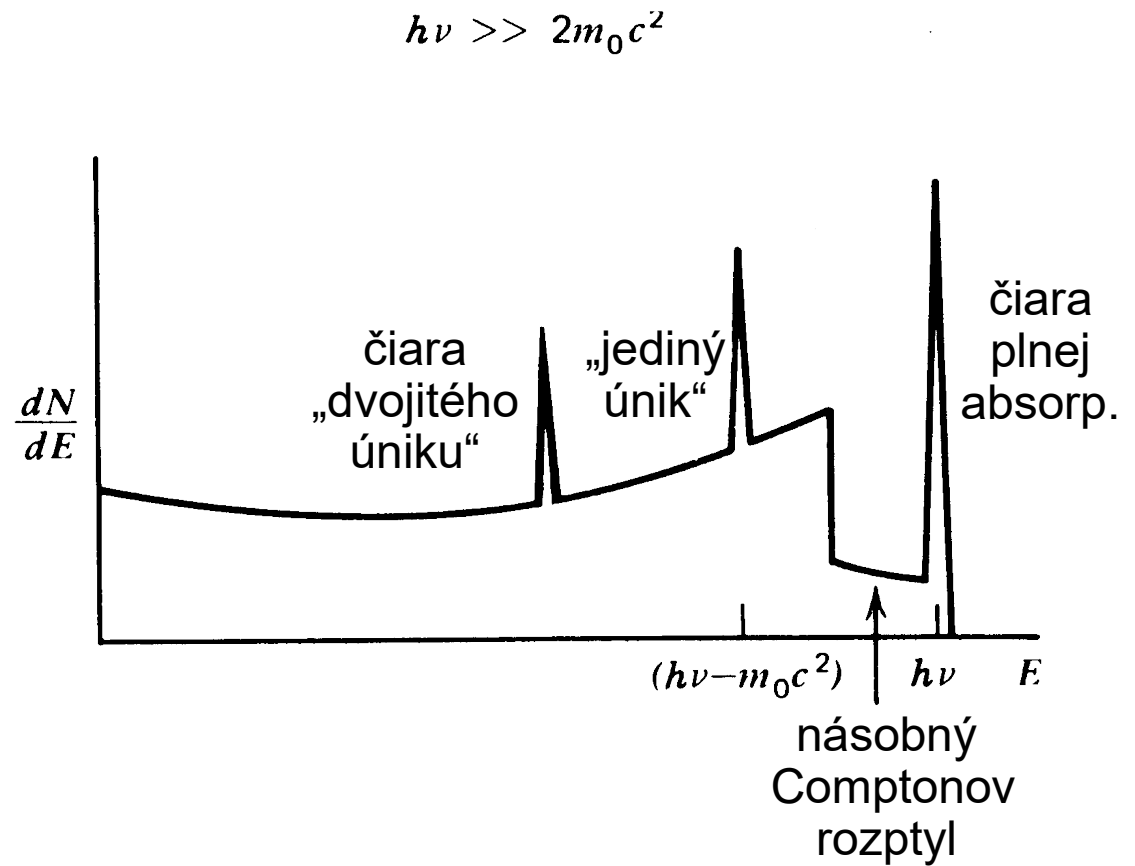
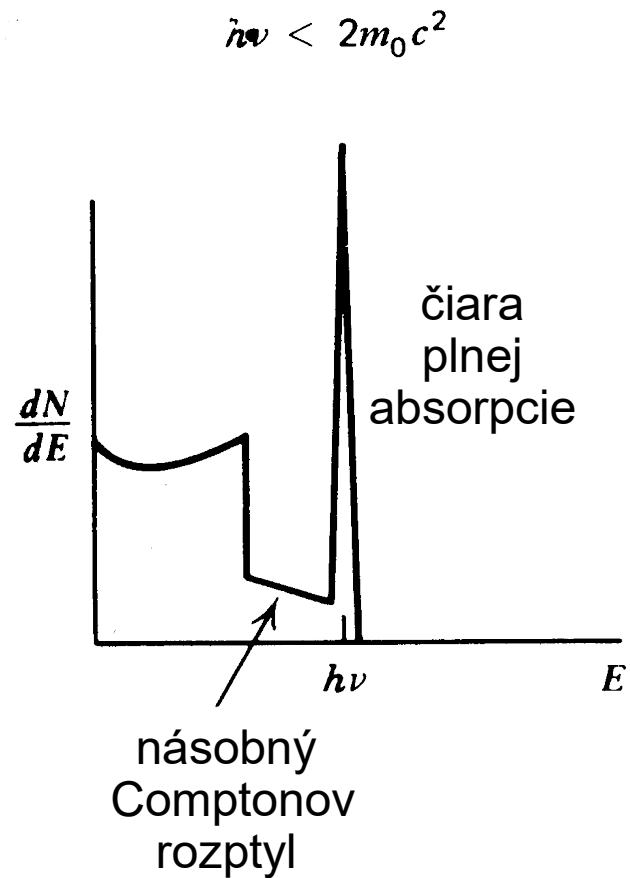
Detektory stredných veľkostí

- reálne detektory sú medzi týmito dvoma extrémami
- sekundárne γ žiarenie je čiastočne absorbované
- objavujú sa čiary jednofotónového úniku
- fotofrakcia = pomer plochy pod čiarou plnej absorpcie (fotopík) k ploche pod čiarou celkovej odozvy

Interakcie v detektoroch stredných veľkostí

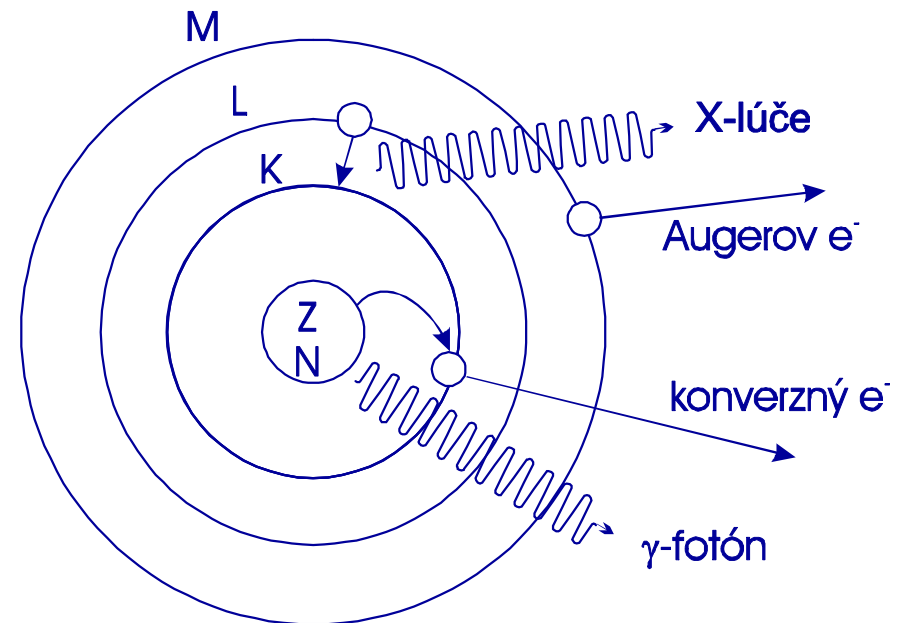


γ spektrum z detektorov stredných veľkostí

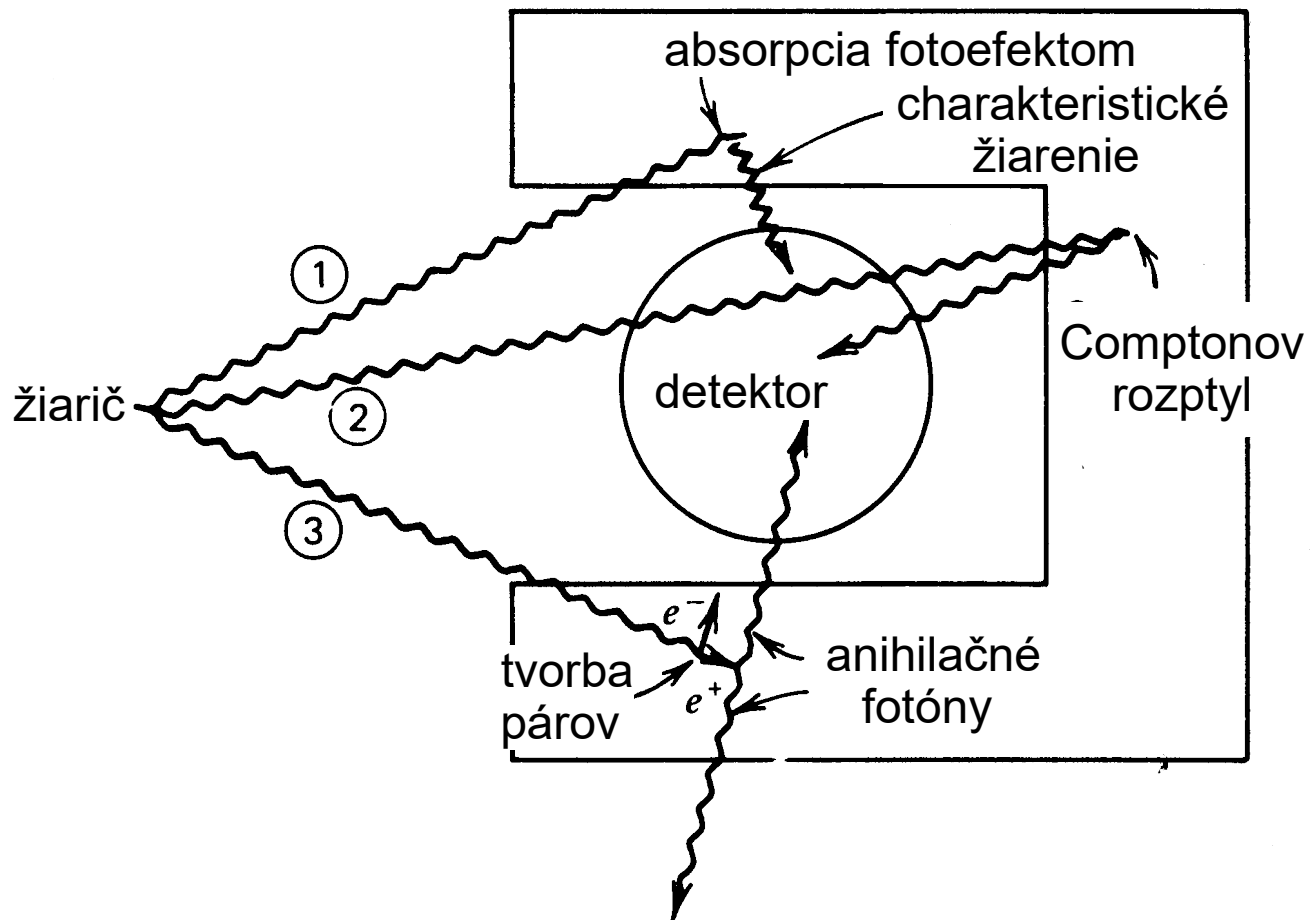


Nežiaduce efekty

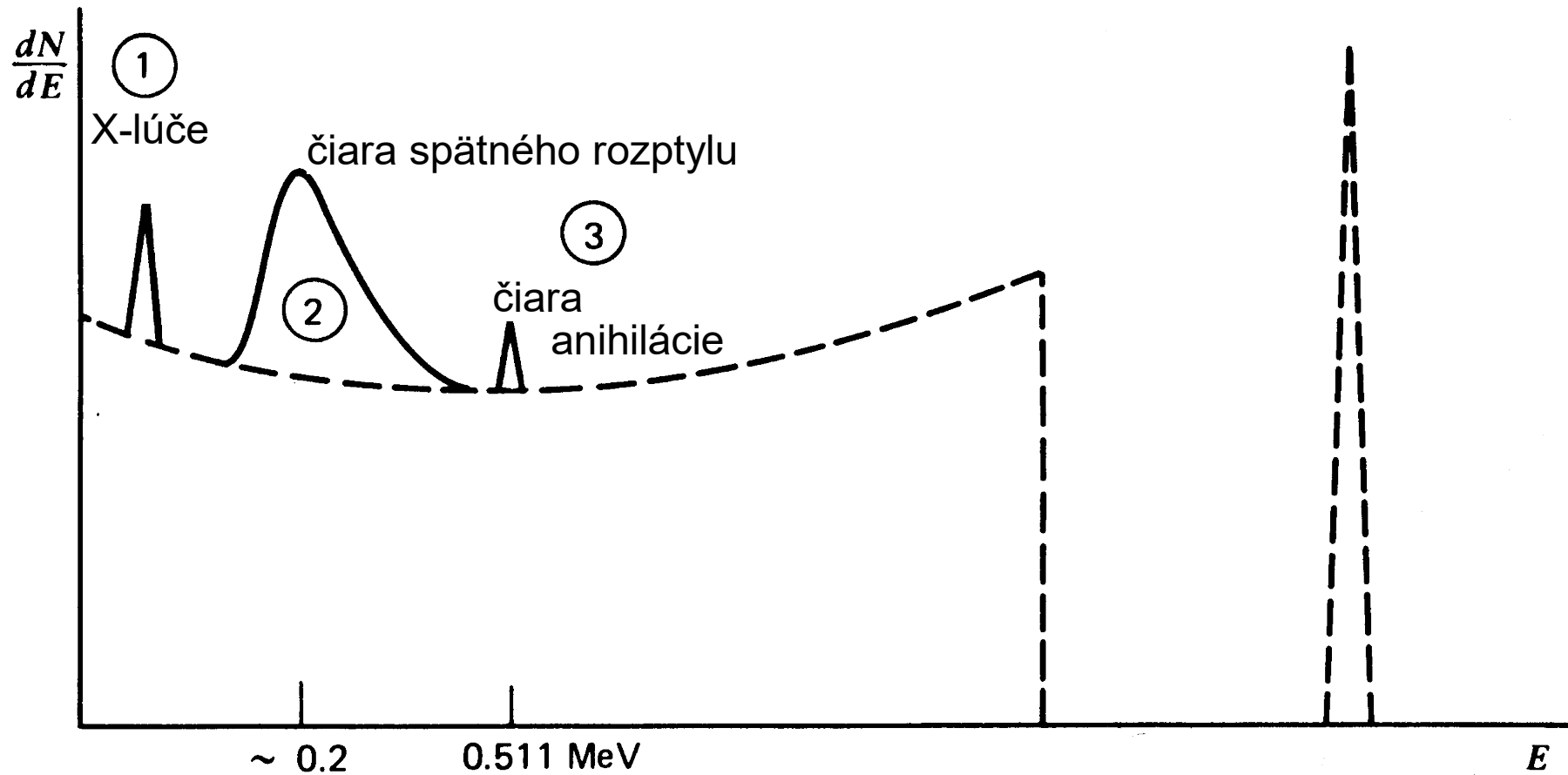
- únik sekundárnych elektrónov
- vznik brzdného žiarenia (Bremsstrahlung)
- vznik charakteristického žiarenia X
- sekundárne žiarenie vytvorené v blízkosti zdroja
 - anihilačné žiarenie
 - brzdné žiarenie
- sumárne efekty
- efekty z okolitých materiálov



Efekty z okolitých materiálov

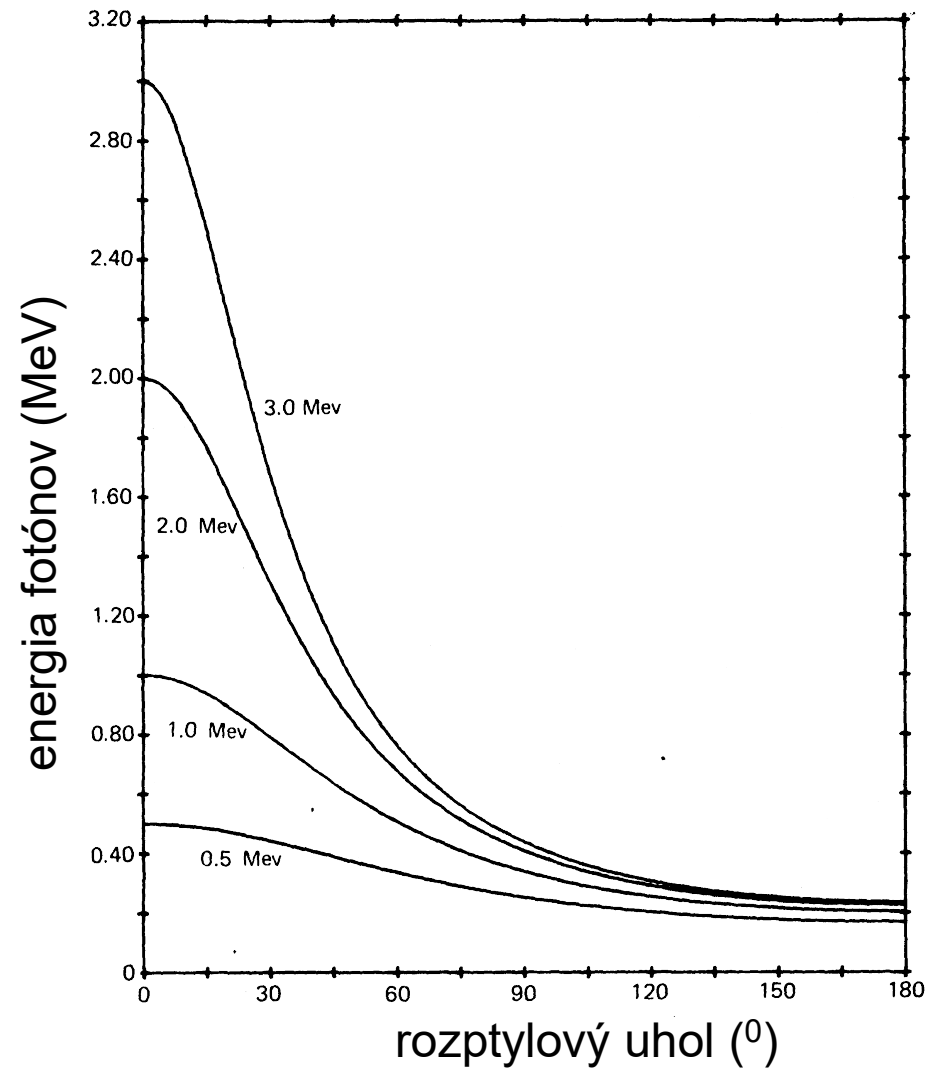


Príspevok okolitých materiálov ku γ spektru

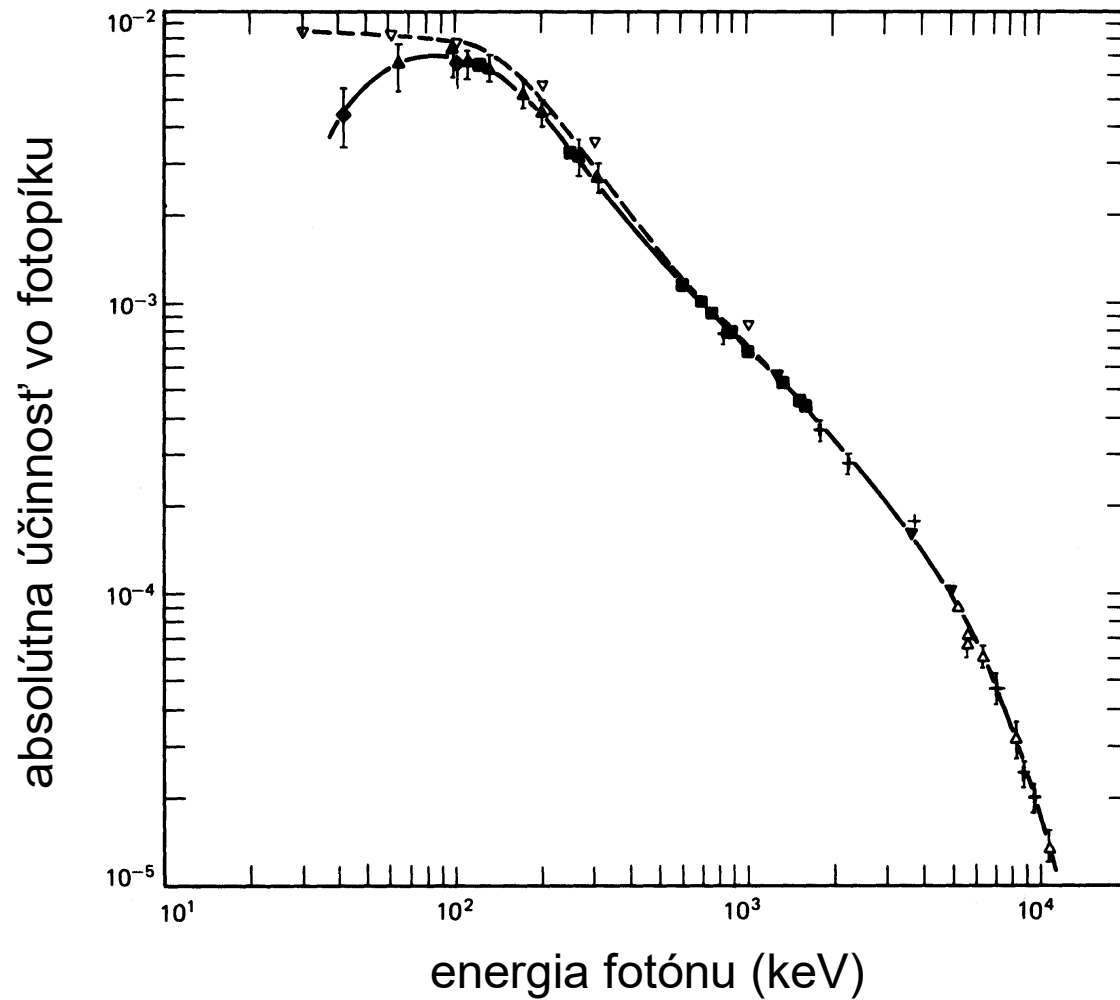


Čiara spätného rozptylu a Comptonov rozptyl

- energia comptonovských fotónov ako funkcia rozptylového uhla



Absolútna účinnosť



Meranie

- aktivita žiariča

$$A = \frac{N}{t \eta k_{\gamma}}$$

A – aktivita rádionuklidu

N – plocha pod čiarou

t – doba merania

η – účinnosť detektora

k_{γ} – pravdepodobnosť γ prechodu

- detekčný limit

$$LD = \frac{a + b\sqrt{B}}{t \eta k_{\gamma}}$$

LD – minimálna merateľná aktivita

a, b – konštanty

B – pozadie pre danú energiu

t – doba merania pozadia

η – účinnosť detektora

k_{γ} – pravdepodobnosť γ prechodu

Metódy na zníženie detekčného limitu

- zníženie príspevku od pozadia
 - pasívna metóda – **tienenie**
 - aktívna metóda - potlačenie Comptonovho rozptylu
- zvýšenie doby merania
- zvýšenie účinnosti detektora
 - studnicový typ detektora
 - Marinelliho geometria

