

Úloha 26

Studium záření gama

Zadání:

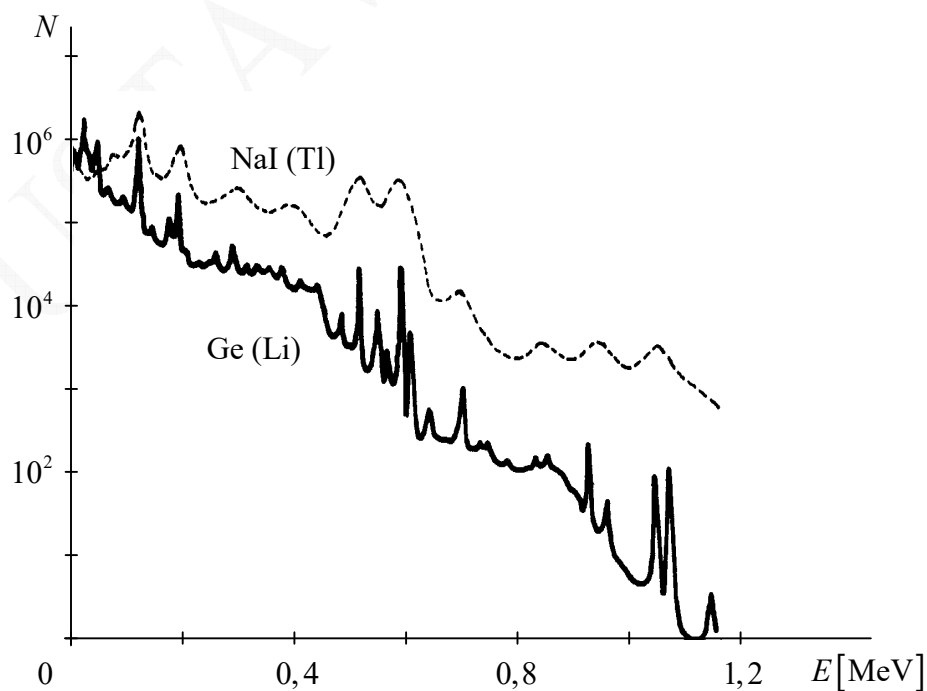
- 1) Proměřte energetická spektra záření gama různých radionuklidů ($^{137}_{55}\text{Cs}$, $^{60}_{27}\text{Co}$).
- 2) Pomocí změřených spekter proveďte energetickou kalibraci spektrometru.
- 3) Proměřte spektrum záření gama pozadí v laboratoři a určete podle energie jeden z přítomných prvků.
- 4) Stanovte pološířky jednotlivých kalibračních píků a energetická rozlišení spektrometru pro všechny kalibrační energie. Všechna spektra vykreslete do grafů. (Data je možné si odnést v elektronické podobě.)

Teorie

Spektrometrie záření gama

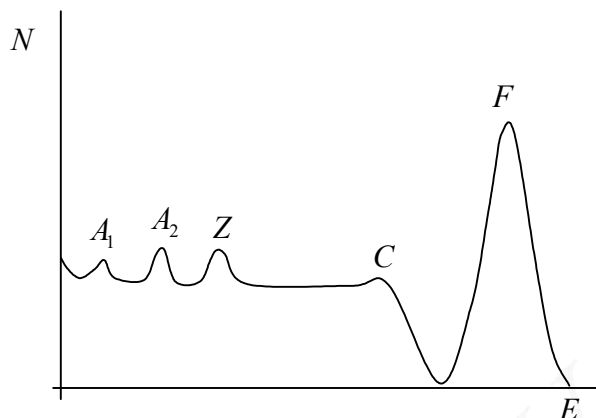
Energetické spektrum záření gama je čárové a skutečná šířka spektrálních čar je dána dobou života vzbuzeného stavu, a proto naměřená šířka píků je způsobena měřicí aparaturou a použitým detektorem. Obecně lze říci, že v případě záření gama činí energetické šířky spektrálních čar řádově 10^{-2} eV.

Tvar energetického spektra záření gama tedy silně závisí na použité měřicí aparatuře a detektoru. Na obr. 27.14 je znázorněno spektrum záření gama z $^{166\text{m}}\text{Ho}$, které bylo měřeno scintilačním detektorem NaI(Tl) a polovodičovým detektorem Ge(Li).



Obr. 1 Ukázka spektra gama záření

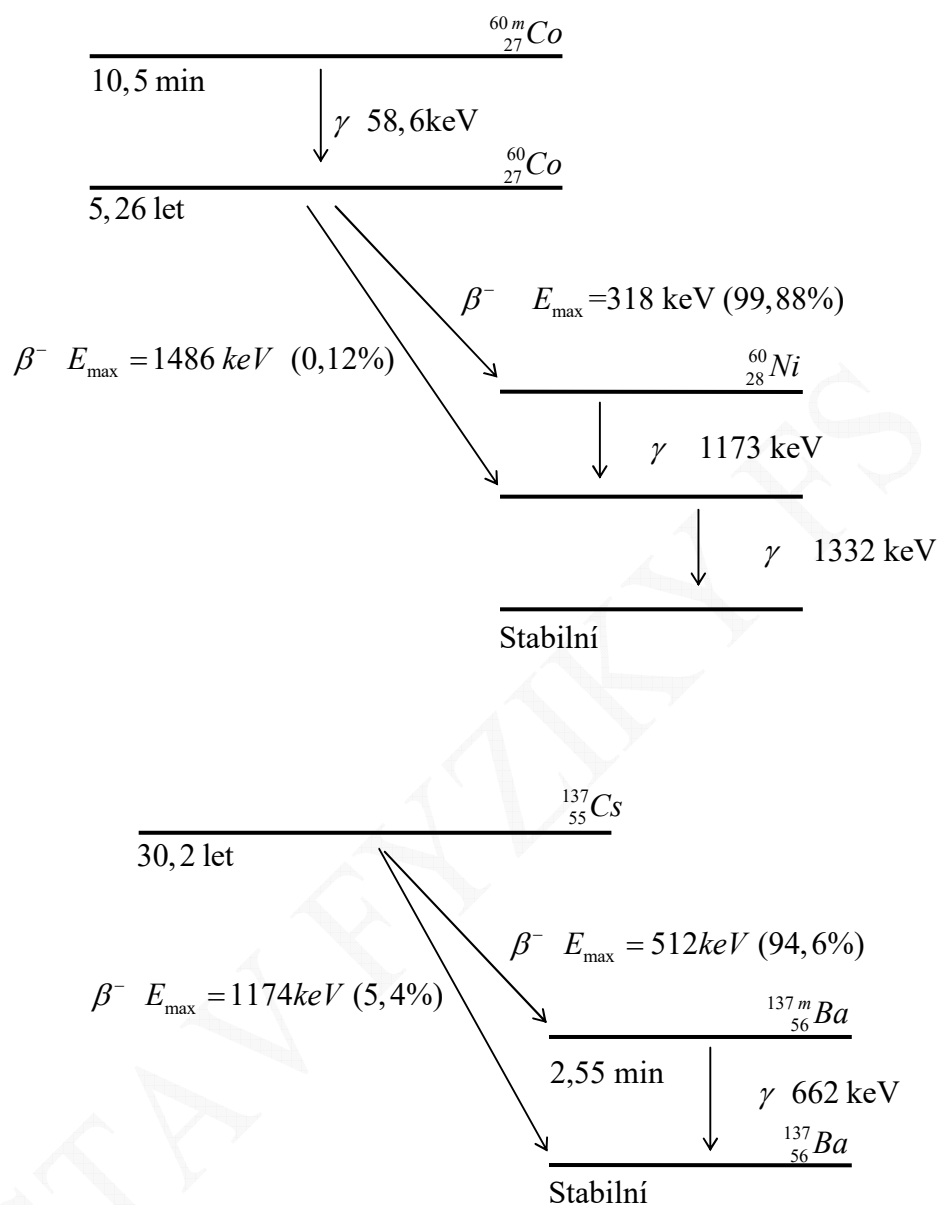
Záření gama neionizuje prostředí detektoru přímo, ale prostřednictvím sekundárních elektronů. V důsledku toho má energetické spektrum i u monoenergetického zářiče gama poměrně složitý tvar (obr. 2). Toto spektrum má spojitě amplitudové rozdělení (přístrojová čára).



Obr. 2 Energetické spektrum monoenergetického zářiče gama

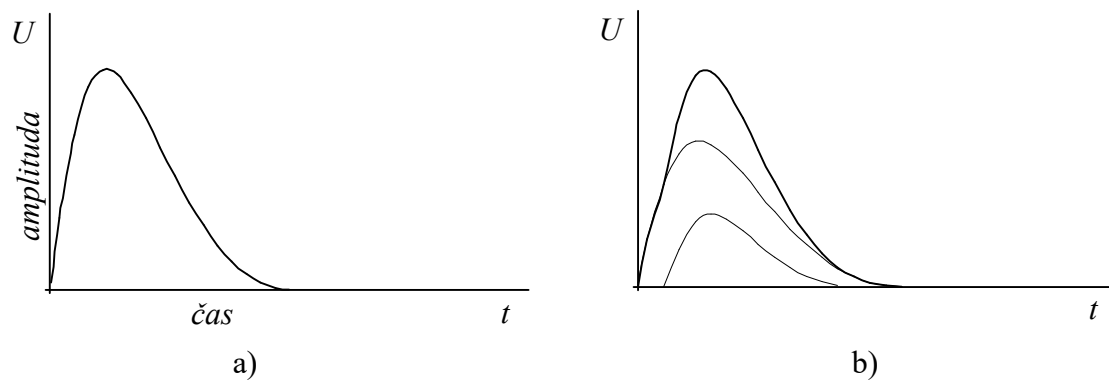
Na konci tohoto spektra se nachází pík (F) úplného pohlcení (fotopík). Odpovídá úplnému pohlcení energie fotonu v detektoru, kdy fotony (i mnohonásobně rozptýlené) jsou nakonec absorbovány prostřednictvím fotoelektrického jevu. Pík úplného pohlcení lze dostatečně přesně aproximovat Gaussovým rozdělením. Spojité spektrum v oblasti nižších energií pochází od fotonů rozptýlených v detektoru v důsledku Comptonova rozptylu, kdy rozptýlený foton detektor opustil. Toto Comptonovo kontinuum končí před píkem úplného pohlcení poměrně ostrou hranicí C (Comptonova hrana). Tato hranice má původ v rozptylu fotonů v detektoru pod nejpravděpodobnějším úhlem (pro každý foton s danou energií existuje úhel, pod kterým se nejpravděpodobněji rozptýlí). Nesymetrické maximum na počátku Comptonova kontinua se nazývá pík zpětného rozptylu Z . Je způsoben registrací záření gama, které je rozptýleno pod velkými úhly vzhledem ke směru šíření (okolo 180°). V případě, že monoenergetické spektrum záření gama má vyšší energii než $1,02 \text{ MeV}$, což je hranice pro možnost vzniku párů pozitron-elektron, se analýza přístrojového spektra dále komplikuje. Vzniklý pozitron může anihilovat za vzniku dvou fotonů (pro jednoduchost nebudeme uvažovat vícefotonovou anihilaci). Každý anihilační foton má energii 511 keV a tyto dva fotony se mohou absorbovat v prostředí detektoru nebo z něho uniknout, popřípadě jeden anihiluje a druhý unikne. První případ přispívá do fotopíku. Druhé dva případy však způsobí vznik dalších dvou poměrně symetrických píků s energiemi $(E_\gamma - 1,02) \text{ MeV}$ a $(E_\gamma - 0,511) \text{ MeV}$, které se nazývají pík dvojitýho A_1 a jednoduchého A_2 úniku. Závěrem lze říci, že přístrojová čára silně závisí na použitém detektoru.

Rozpadová schémata použitých zářičů

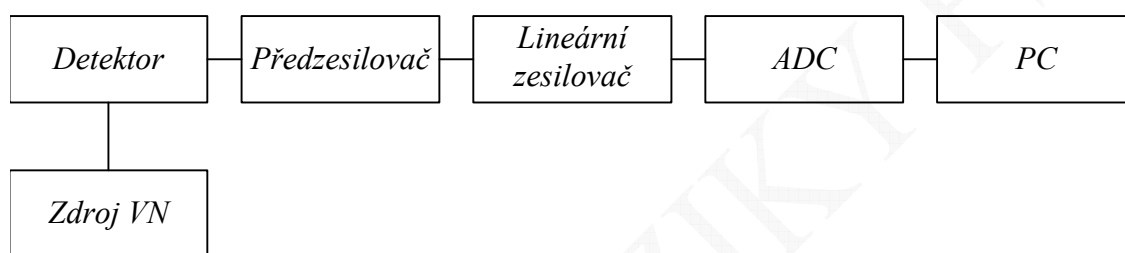


Spektrometrická aparatura

Základní blokové schéma spektrometrické aparatury je na obr. 3. Proudové impulsy z detektoru obr. 2 jsou paralelně zapojeným odporem převedeny na napěťové. Tyto napěťové impulsy jsou přivedeny do předzesilovače, kde jsou upraveny a zesíleny pro lineární zesilovač. Po zesílení jsou signály zpracovány vícekanálovým amplitudovým analyzátozem (ADC) a zobrazeny v počítači.



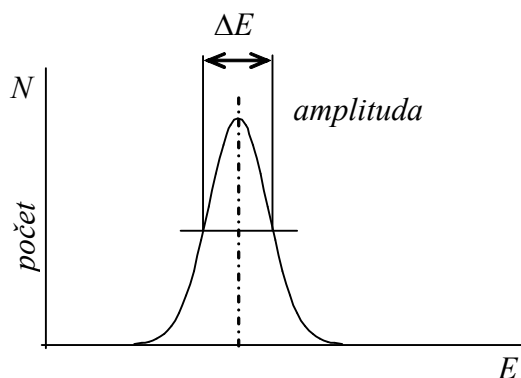
Obr. 3 Časové průběhy impulsů



Obr. 4 Blokové schéma spektrometrické aparatury



Obr. 5 Měřící zařízení



Obr. 6 Parametry píku

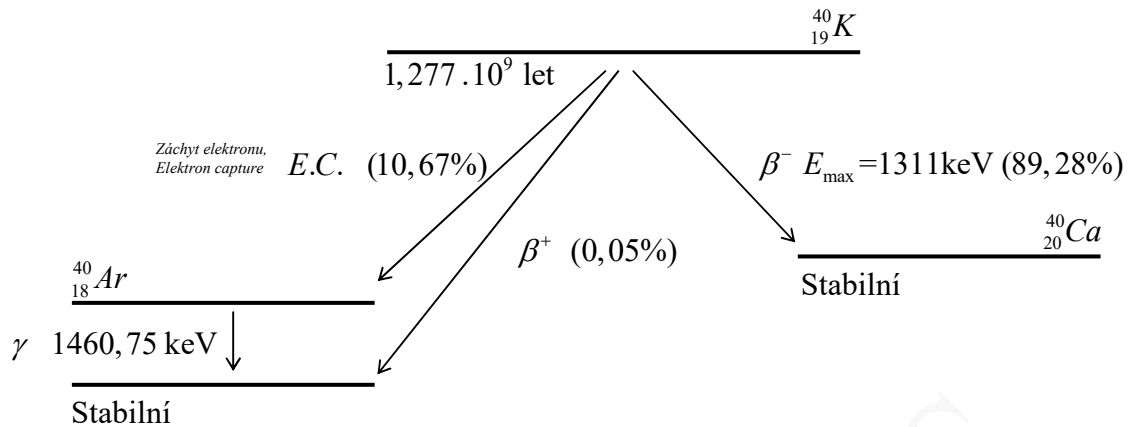
Velmi důležitou charakteristikou spektrometru je energetické rozlišení. Šířka píku ΔE , měřená v polovině výšky maxima, charakterizuje míru **energetického rozlišení** P detektoru a nazývá se **pološířka** (FWHM = full width at half maximum). **Energetické rozlišení** P detektoru pak určíme podle vztah

$$P = \frac{\Delta E}{E} \quad (1)$$

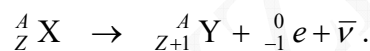
Energetické rozlišení P se obvykle vyjadřuje v procentech. Určíme pološířku jednotlivých píků jak v kanálech, tak v keV a také rozlišení pro všechny použité kalibrační energie.

Poznámky:

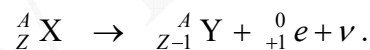
- Draslík (${}_{19}K$) má 25 známých izotopů. V přírodě se vyskytují stabilní ${}^{39}_{19}K$ a ${}^{41}_{19}K$ a také ${}^{40}_{19}K$ s poločasem přeměny $1,277 \cdot 10^9$ let. Ostatní izotopy mají poločas kratší než 1 den, většinou kratší než 1 minuta. Přírodní radioizotop ${}^{40}_{19}K$ se přeměňuje z 10,72 % záchytem elektronu nebo β^+ přeměnou na stabilní ${}^{40}_{18}Ar$ a z 89,28 % přeměnou β^- na ${}^{40}_{20}Ca$. Draslík ${}^{40}_{19}K$ je největším zdrojem radioaktivity v lidském těle, významnější než ${}^{14}_6C$. V těle člověka o hmotnosti 70 kg každou sekundu proběhne asi 4 400 přeměn ${}^{40}_{19}K$.



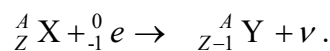
- Přeměna ${}^{40}_{19}\text{K}$ na ${}^{40}_{18}\text{Ar}$ se využívá v datování hornin a je založená na předpokladu, že v hornině se v době jejího vzniku žádný argon nenacházel. Změřením obsahu radiogenního ${}^{40}_{18}\text{Ar}$ tak lze stanovit stáří materiálu.
- Přeměna β^- provázena emisí elektronů ${}_{-1}^0e$ a lehkou neutrální částicí antineutrino $\bar{\nu}$ z jádra. Lze ji popsat schématem:



- Přeměna β^+ provázeno emisí pozitronů ${}_{+1}^0e$ a lehkou neutrální částicí neutrino ν z jádra. Lze ji popsat schématem:



- Záchyt elektronu (Electron capture) je typem přeměny β . Jedná se o proces, kdy jádro zachytí elektron ze slupky K a dojde k vyzáření neutrino. Lze ho popsat schématem:



Měření

- 1) Nejprve provedeme energetickou kalibraci našeho spektrometru. K provedení energetické kalibrace spektrometru je třeba vybrat takové známé hodnoty energie fotonů, které by pokryly co největší interval kanálů i energií. Výsledkem kalibrace je kalibrační křivka. Pro většinu spektrometrů je kalibrační křivka přímkou, která nemusí procházet počátkem. V našem případě použijeme pro energetickou kalibraci radioaktivní zářiče ${}^{137}_{55}\text{Cs}$, ${}^{60}_{27}\text{Co}$. Energie příslušející maximu píku úplného pohlcení odpovídá energii vysílaných fotonů, a proto problém určení energie fotonů spočívá v co nejpresnějším určení polohy tohoto píku. Pro určení poloh maxim píků úplného

pohlcení je třeba nejdříve pod daným píkem proložit pozadí a pak teprve proložit píkem Gaussovou křivkou.

- 2) Poté provedeme energetickou kalibraci spektrometru, což je přiřazení hodnoty energie registrovaných fotonů pořadovému číslu kanálu. Použijeme lineární regresi, kdy na osu x vyneseme polohy píků v kanálech k a na osu y energie E vyzařovaných fotonů v keV získaných z přeměnových schémat. Získaná závislost má pak tvar $E = a.k + b$.
- 3) Proměříme spektrum záření gama pozadí v laboratoři. Určíme polohu neznámého píku ve spektru v kanálech a podle předchozí energetické kalibrace i jeho energii v keV. Určíme podle energie tento přítomný prvek. Vzhledem k nízké aktivitě tohoto prvku, použijeme co nejdelší čas měření, ideálně 40-60 minut.
- 4) Stanovíme pološířky jednotlivých kalibračních píků a energetická rozlišení spektrometru pro všechny kalibrační energie. Pro přepočítání pološířky z kanálů na energii použijeme kalibrační vztah, ale musíme si uvědomit, že pološířka je vlastně ΔE a tedy platí

$$E_1 = a.k_1 + b,$$

$$E_2 = a.k_2 + b,$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = a.k_1 + b - a.k_2 + b = a.(k_2 - k_1) = a\Delta k,$$

$$\Delta E = a\Delta k$$

- 5) Všechna spektra vykreslíme do grafů.
- 6) **Data je nutné si odnést v elektronické podobě. Přineste si flash disk.**