Úloha 26

Studium záření gama

Zadání:

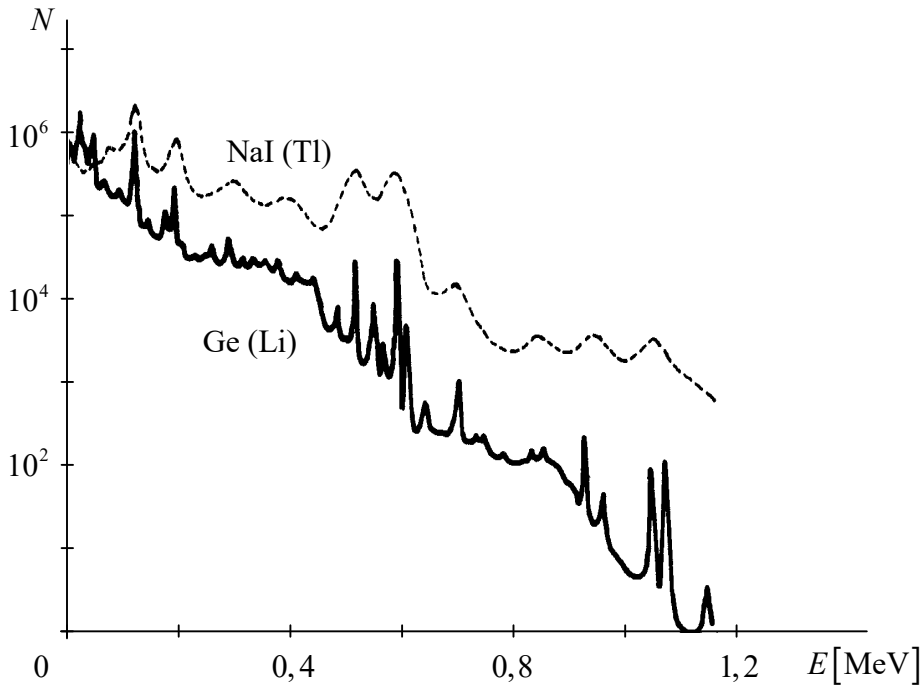
1) Proměřte energetická spektra záření gama různých radionuklidů ($^{137}_{55}\mathrm{Cs}$, $^{60}_{27}\mathrm{Co}$).
2) Pomocí změřených spekter proveďte energetickou kalibraci spektrometru.
3) Proměřte spektrum záření gama pozadí v laboratoři a určete podle energie jeden z přítomných prvků.
4) Stanovte 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

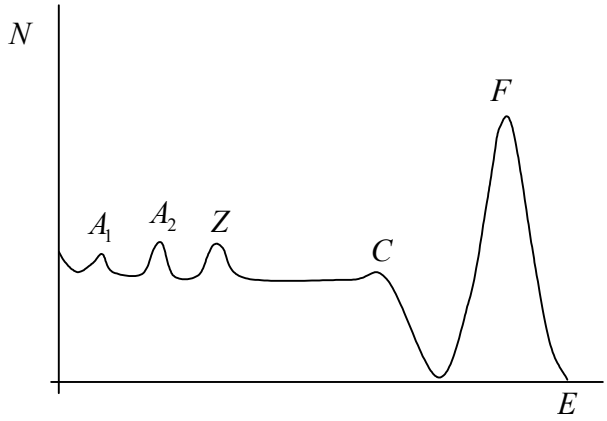
Energetické spektrum záření gama je čárové a skutečná šířka spektrálních čar je dána dobou života vzbuzeného stavu, a proto naměřená šířka píků je způsobená měřící aparaturou a použitým detektorem. Obecně lze říci, že v případě záření gama činí energetické šířky spektrálních čar řádově $10^{-2}\,\mathrm{eV}$.

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



Obr. 1 Ukázka spektra gama záření

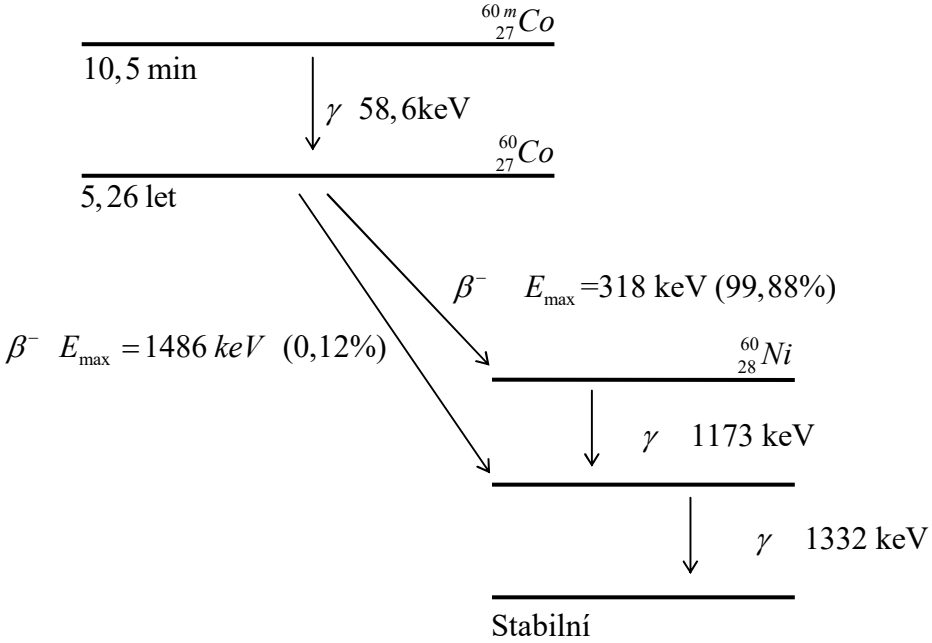
Záření gama neionizuje prostředí detektoru přímo, ale prostřednictvím sekundárních elektronů. V důsledku toho má energetické spektrum i u monoenergetického zářiče gama poměrně složitý tvar (obr. 2). Toto spektrum má spojité amplitudové rozdělení (přístrojová čára).

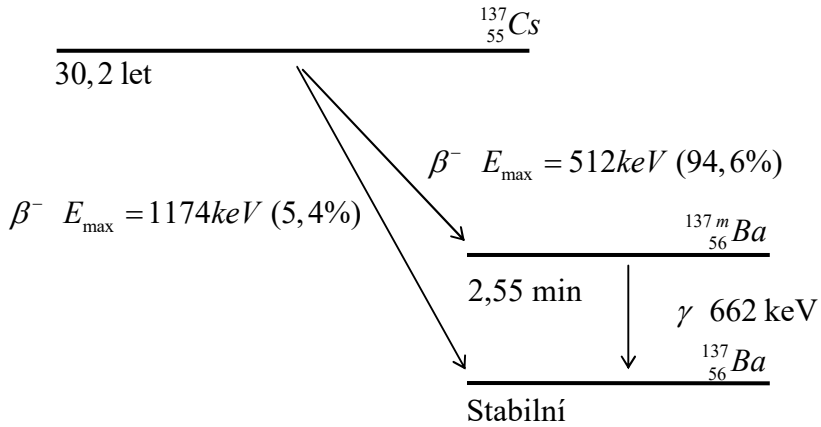


Obr. 2 Energetické spektrum monoenergetického zářiče gama

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 $1,02\ \mathrm{MeV}$, 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 $511\ \mathrm{keV}$ 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 $\left(E_\gamma - 1,02\right)\ \mathrm{MeV}$ a $\left(E_\gamma - 0,511\right)\ \mathrm{MeV}$, které se nazývají pík dvojitého A_1 a jednoduchého A_2 úniku. Závěrem lze říci, že přístrojová čára silně závisí na použitém detektoru.

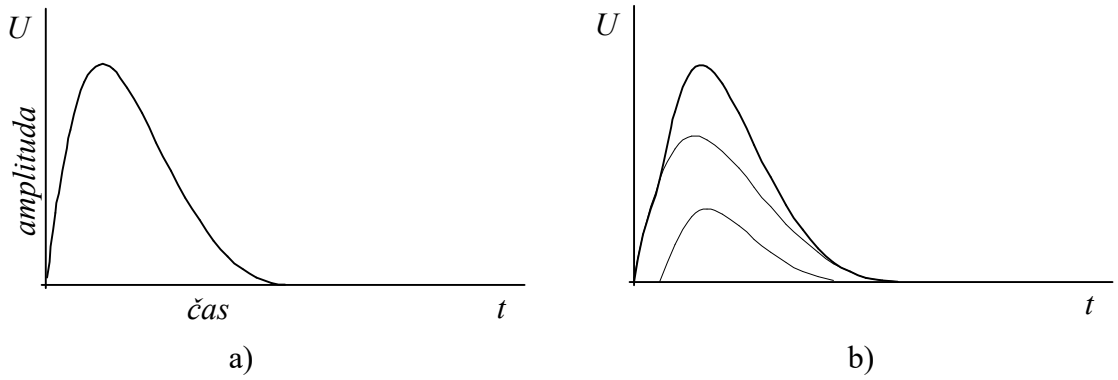
Rozpadová schémata použitých zářičů



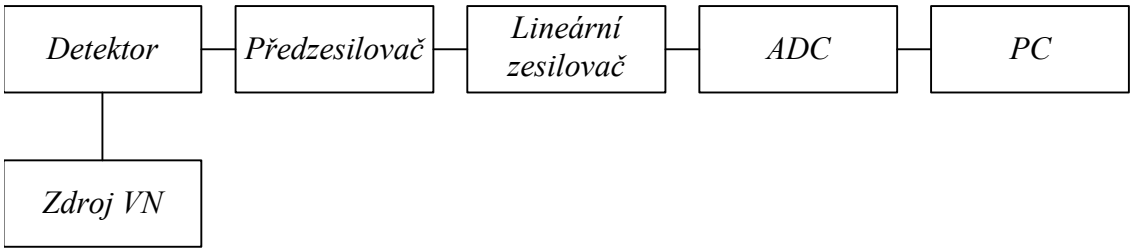


Spektrometrická aparatura

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 analyzátorem (ADC) a zobrazeny v počítači.

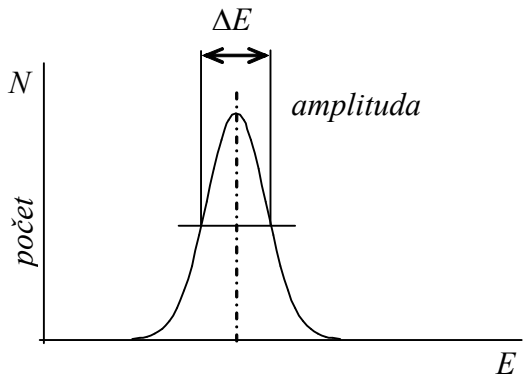


Obr. 3 Časové průběhy impulsů



Obr. 4 Blokové schéma spektrometrické aparatury

Obr. 5 Měřící zařízení



Obr. 6 Parametry píku

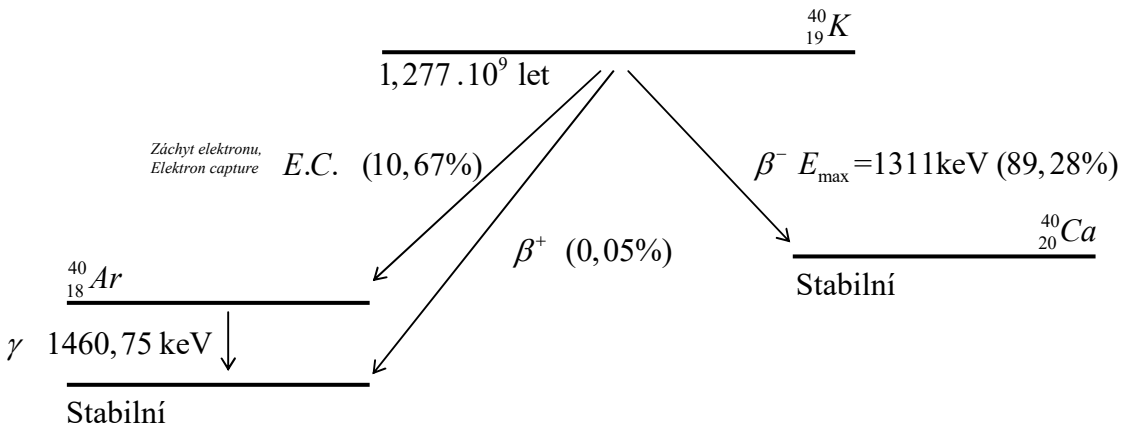
Velmi důležitou charakteristikou spektrometru je energetické rozlišení. Šířka píku ΔE, měřená v polovině výšky maxima, charakterizuje míru **energetického rozlišení** P detektoru a nazývá se **pološířka** (FWHM = full width at half maximum). **Energetické rozlišení** P detektoru pak určíme podle vztah

$$P = \frac{\Delta E}{E} \tag{1}$$

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 $1,277 . 10^9$ 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 $^{14}_{6}C$. V těle člověka o hmotnosti 70 kg každou sekundu proběhne asi 4 400 přeměn $^{40}_{19}K$.



- Přeměna $^{40}_{19}K$ na $^{40}_{18}Ar$ se využívá v datování hornin a je založená na předpokladu, že v hornině se v době jejího vzniku žádný argon nenacházel. Změřením obsahu radiogenního $^{40}_{18}Ar$ tak lze stanovit stáří materiálu.

- Přeměna β^- provázena emisí elektronů $^{0}_{-1}e$ a lehkou neutrální částicí antineutrino $\bar{\nu}$ z jádra. Lze ji popsat schématem:

$$^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}\mathrm{Y} + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu}\,.$$

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

$$^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{A}_{Z-1}\mathrm{Y} + {}^{0}_{+1}e + \nu\,.$$

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

$$^{A}_{Z}\mathrm{X} + {}^{0}_{-1}e \rightarrow {}^{A}_{Z-1}\mathrm{Y} + \nu\,.$$

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 $^{137}_{55}\mathrm{Cs}$, $^{60}_{27}\mathrm{Co}$. Energie příslušející maximu píku úplného pohlcení odpovídá energii vysílaných fotonů, a proto problém určení energie fotonů spočívá v co nejpřesnějším určení polohy tohoto píku. Pro určení poloh maxim píků úplného

pohlcení je třeba nejdříve pod daným píkem proložit pozadí a pak teprve proložit pík 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 přepočet pološířky z kanálů na energii použijeme kalibrační vztah, ale musíme si uvědomit, že pološířka je vlastně ΔE a tedy platí

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

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

5) Všechna spektra vykreslíme do grafů.

6) **Data je nutné si odnést v elektronické podobě. Přineste si flash disk.**