

SUMAČNĚ-KOINCIDENČNÍ SPEKTROMETR SE DVĚMA $1,0'' \times 1,5''$ NaI(Tl) KRYSYALY

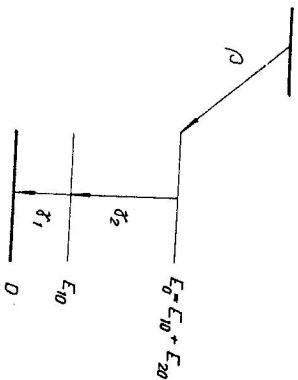
FRANTIŠEK SEVERA, Bratislava

Obsahem práce je upřesnění výpočtu maxima úplné absorpce a účinnosti sumačně-koincidenčního spektrometru, provedeného A. M. Hoogenboomem a popis jednoduchého sumačně-koincidenčního zařízení, postaveného z komerčních přístrojů k ověření provedených výpočtů.

ÚVOD

Pro analýzu kaskádních přechodů navrhl A. M. Hoogenboom nový typ spektrometru, jehož funkce je založena na t. zv. sumačním principu [1]. V literatuře je popsána celá řada modifikací a zdokonalení původního uspořádání [2-9].

Zjednodušená analýza sumačně-koincidenčního spektra zdroje s rozpadovým schematem podle obr. 1 byla provedena již A. M. Hoogenboomem [1].



Obr. 1. Předpokládané rozpadové schema.

UPŘESNĚNÍ VÝPOČTU TVARU MAXIMA ÚPLNĚ ABSORPCE A ÚČINNOSTI SUMAČNĚ-KOINCIDENČNÍHO SPEKTROMETRU

Hoogenboom předpokládá gaussovské rozdělení amplitud impulsů $f_i = f(E_i)$ v příku úplné absorpce γ_i ($i = 1, 2$). Přitom funkce f_i jsou normovány k fotoúčinnosti ϵ_i , zahrnujícím prostorový úhel jednotlivých sond pro

detekci γ_i . Dále zavádí další gaussovskou funkci $f(E_1 + E_2)$, kterou nazývá sumačním kanálem a o níž předpokládá, že je normována ke T_S (ekvivalentní energetická šířka diskriminační diference). Pro amplitudovou distribuci $f_S(E_1)$ přechodu γ_1 v sumačním spektru pak udává vztah

$$f_S(E_1) = f(E_1) \int f(E_2) f(E_1 + E_2) dE_2 \quad (1)$$

odkud účinnost sumačně-koincidenčního spektrometru pro přechod γ_1

$$\epsilon_{1S} = \int f_S(E_1) dE_1 = 2\epsilon_1\epsilon_2 T_S (T_1^2 + T_2^2 + T_S^2)^{-1/2} \left(\frac{\ln 2}{\pi} \right)^{1/2} \quad (2)$$

kde T_i jsou rozlišení sond pro přechody γ_i .

Vztah (1) udává pravděpodobnost registrace γ_1 v sumačním spektru jako impulsu o amplitudě E_1 . Podle sumačního principu [1] je však tato pravděpodobnost rovna pravděpodobnosti, že se tento impuls v prvním kanále vyskytuje a současně má ve druhém kanále takový *protějšek*, že výsledný sumační impuls splňuje podmínku diferenciální diskriminace

$$(E_1 + E_2) \in \langle (E_{10} + E_{20}) \pm T_S/2 \rangle. \quad (3)$$

Vyjádřeno matematicky to znamená, že

$$\begin{aligned} f_S(E_1) &= f(E_1) \int_{E_{10}-E_1-T_S/2}^{E_{10}-E_1+T_S/2} w(E_2) dE_2 = \\ &= f(E_1) \int_{E_{10}-E_1-T_S/2}^{E_{10}-E_1+T_S/2} f(E_2) dE_2 \end{aligned} \quad (3a)$$

(kde funkce $w(E_2)$ nabývá hodnot 0 nebo 1 podle toho, je-li splněna podmínka diferenciální diskriminace (3) nebo ne). Odtud pak již je zřejmé, že

$$\int w(E_2) dE_2 = T_S.$$

Ovšem rozdělení impulsů v sumačním kanále je

$$f(E_S) = \int f(E_S - E) f(E) dE$$

kde ovšem E_S není rovno přímo součtu E_1 a E_2 jako *určitých hodnot* ale *všech možných hodnot* E_1 a E_2 pro něž platí $E_1 + E_2 = E_S$. Je tedy nesprávné nazývat sumačním kanálem funkci $f(E_1 + E_2)$.

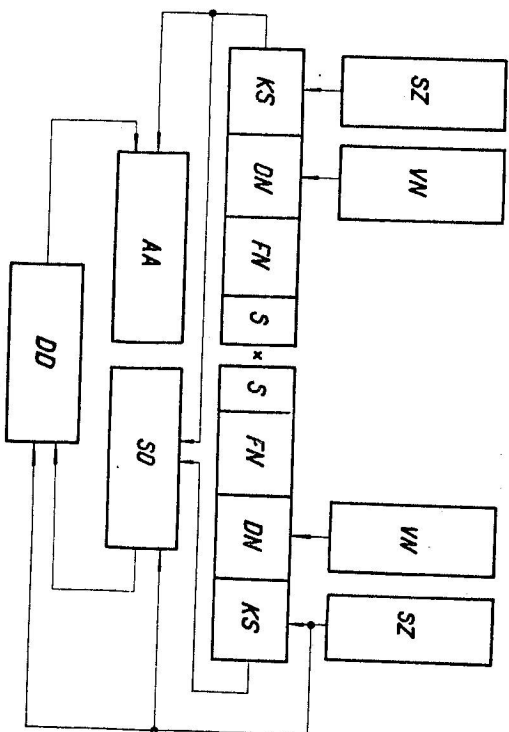
Účinnost ϵ_{1S} je pak možné vypočítat na základě vztahu

$$\epsilon_{1S} = \int f_S(E_1) dE_1 \quad (4)$$

kam za f_{1S} dosadíme vztah (3a). Tento integrál nemá však jednoduché analytické vyjádření a je třeba jej řešit numericky.

JEDNODUCHÉ SUMAČNĚ-KOINCIDENČNÍ ZAŘÍZENÍ

Blockové schéma je uvedeno na obr. 2. Obě sondy jsou typu NKG 202 s krystaly $1,0'' \times 1,5''$ NaI(Tl) (TESLA Přemýšlení) a fotonásobiči 61 PK 414 (VÚ VET) upravené pro koincidenční spektrometrickou práci. Zdroje vysokého napětí, stabilizované napájecí zdroje a diferenciální amplitudový analyzátor jsou vesměs standardní přístroje TESLA Liberec. Sumační obvod byl zhotoven na našem ústavu podle schématu na obr. 3. Amplitudová analyza impulzů prvního kanálu byla prováděna na amplitudovém analyzátoru SF-400 DM fy VICTOREEN s vlastním bránovacím obvodem.



Obr. 2. Blockové schéma sumačně-koincidenčního spektrometru. SZ — stabilizovaný zdroj napětí; VN — zdroj vysokého napětí; KS — katodový sledovač; FN — fotonásobič; AA — amplitudový analyzátor; SO — sumační obvod; DD — diferenciální diskriminátor; DN — dělič napětí; S — seřizovač.

Geometrický faktor činní

$$\omega_{\gamma} = 0,373 \cdot 4\pi$$

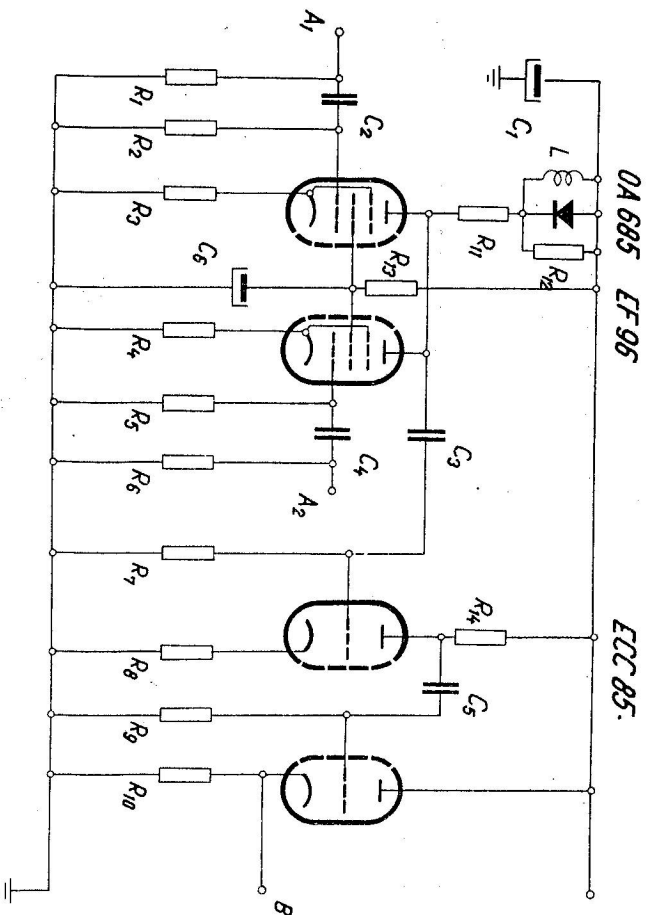
příčinná vzdálenost kryystalu byla volena minimální a byla dána rozměry pouzdra etanolu seCO .

Na tomto místě bych chtěl zdůraznit některé problémy, jimž je nutno při stavbě spektrometru tohoto typu věnovat zvýšenou pozornost.

1. Je mimořádně důležité dosáhnout optimálního energetického rozlišení obou sond, neboť se zlepšením rozlišení se při daném uspořádání u tohoto typu spektrometru zvyšuje jeho účinnost.

2. Pro správnou funkci spektrometru je nezbytná časová synchronizace impulzů prvního a bránovacího (sumačního) kanálu.

3. Za nejobtížnější a nejdůležitější problém považují vyřešení stability dolní hladiny diskriminátoru s šifky diskriminační difference.



Obr. 3. Schéma sumačního obvodu. $R_1 = 4k$; $R_2 = 1M$; $R_3 = 500$; $R_4 = 500$; $R_5 = 1M$; $R_6 = 2k$; $R_7 = 1M$; $R_8 = 2k5$; $R_9 = 1M$; $R_{10} = 4k$; $R_{11} = 2k5$; $R_{12} = 10k$; $R_{13} = 25k$; $R_{14} = 2k5$; $C_1 = 8 F$; $C_2 = 250$; $C_3 = 500 pF$; $C_4 = 250 pF$; $C_5 = 1000 pF$; $C_6 = 8M$; $L = 20 H$.

V uvedeném případě bylo dosaženo rozlišení 8,6 % pro 662 keV přechod ^{137}Cs a časová synchronizace byla řešena zpožděným vstupem analyzátoru. Provedená měření byla vesměs krátkodobá, takže nevyžadovala příliš vysokou stabilitu.

SROVNÁNÍ EXPERIMENTÁLNÍCH A TEORETICKÝCH VÝSLEDKŮ

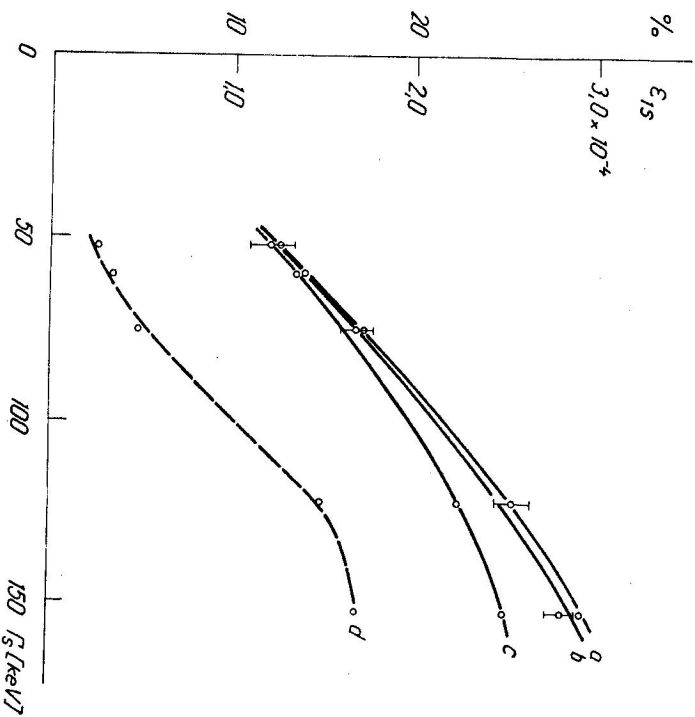
Účelem provedených měření bylo zjistit účinnost spektrometru eIS pro různé hodnoty I_S . Pro tento účel byl zvolen isotop seCO neboť jeho rozpadové schéma se shoduje s předpokládaným modelem (obr. 1), což umožňuje porovnat experimentální a teoretické výsledky.

Výsledky měření účinnosti ϵ_{1s} pro různé hodnoty T_s včetně hodnot, vypočtených podle vztahů (2) a (4), jsou graficky znázorněny na obr. 4. Z těchto výsledků je zřejmé, že vztah (4) pro účinnost ϵ_{1s} vysvětluje poněkud přesněji experimentální průběh závislosti ϵ_{1s} na šířce T_s než původní vztah (2). Náhorně je to vidět na tomtež obrázku, kde křivka c znázorňuje relativní odchylku experimentálních hodnot od vztahu (2) v procentech. Je zřejmé, že tato odchylka je v prakticky používané oblasti T_s systematická a nelineární.

ZHODNOCENÍ A ZÁVĚR

Pro velmi malé hodnoty T_s se vztahy (2) a (4) téměř neliší. V prakticky používaném rozmezí

$$T_s \in < T_1, 2(T_1^2 + T_2^2) >$$



Obr. 4. Účinnost sumárního spektrometru v závislosti na šířce difference T_s diskriminátora. a — vypočteno podle vztahu (4); b — experimentální hodnoty; c — vypočteno podle vztahu (2); d — relativní odchylka b a c v %.

se však účinnosti ϵ_{1s} vypočtené podle vztahu (2) příliš odlišují od experimentálních hodnot. Pro informativní zhodnocení jsou tedy Hoogenboomovy vztahy pro svou analyticitu velmi užitečné, pro přesnější vyjádření zejména při kalibraci nebo řešení některých sporných problémů ve spektru je lépe užít vztahu (4). Analogicky platí podobné vztahy pro $f_s(E_2)$ a ϵ_{2s} . Ze vztahu (3a) je také možné určit rozlišení, výpočet je však dosti komplikovaný.

V případě obojího zdroje je nutné zavést korekce na vliv úhlových korelací, Comptonovských gamma kvant vyšších energií a přechodu o energii celé kaskády.*

LITERATURA

- [1] Hoogenboom A. M., Nucl. Instr. 3 (1958), 57.
- [2] Kantele J., Nucl. Instr. Meth. 17 (1962), 33.
- [3] Kantele J., Fink R. W., Nucl. Instr. Meth. 15 (1962), 69.
- [4] Kantele J., Fink R. W., Nucl. Instr. Meth. 13 (1961), 141.
- [5] Vanderleem J. C., Nucl. Instr. Meth. 12 (1961), 362.
- [6] Peele R. W., Lone T. A., Rev. Sci. Instr. 31 (1960), 205.
- [7] Engelkemeier D., Rev. Sci. Instr. 27 (1956), 589.
- [8] Блинов В. А., и другие, Атом. Энерг. 19 (1965), 342.
- [9] Sieghbahn K., *Alpha-, Beta-, Gamma-Ray Spectroscopy*. North Holland Publishing Co., Amsterdam 1965.

Došlo 9. 8. 1967

Fyzikální ústav SAV,
Brazilslava

SUM-COINCIDENCE SPECTROMETER WITH $1.0'' \times 1.5''$ NaI (TI) CRYSTALS

František Severa

SUMMARY

Revised Hoogenboom's equations for efficiency and resolution of sum-coincidence spectrometer are presented. Description of a simple sum-coincidence spectrometer and comparison of both theoretical and experimental results are given.

* Děkuji RNDr. Kesslerovi DrSc za umožnění této práce, Ing. Šachovi OSc, od něhož vyšel k této práci podnět, za stálý zájem a řadu užitečných diskusí, p. Mungyrovovi za mnohé rady v elektronických problémech a p. Valentovi za zhotovení sumárního obvodu.