

POROVNANIE MÖSSBAUEROVÝCH SPEKTRIER NAMERANÝCH ABSORPČNŮ A ROZPTYLOVOU METÓDOU

JŮLIIUS CIRÁK*, JOZEF LIPKA*, MIKULÁŠ PREJSA*, Bratislava

Absorpčnou a rozptylovou metódou sme namerali Mössbauerove spektrum ^{57}Fe pri teplote 300 °K. Namerané výsledky sme porovnali s hodnotami z literatúry. Hlavnými prednosťami tejto metódy je jednoduchosť geometrie merania, väčšie počítanosti a jednoduchšie vyhodnocovanie nameraného spektra.

1. ÚVOD

Bezdrázovú jadrovú γ -rezonanciu možno pozorovať dvoma spôsobmi: meraním rezonančného rozptylu — rozptylová metóda — alebo meraním zmenšenia intenzity gama žiarenia v dôsledku rezonančnej absorpcie — absorpčná metóda.

Účinné prierezy rozptylu σ_s a absorpcie σ_a pre gama žiarenie s energiou E a vlnovou dĺžkou $2\pi\lambda$ môžeme v prípade tenkých absorbátov bezprostredne vypočítať pomocou vzťahov [1]:

$$\sigma_s(E) = \sigma_0 \frac{T^2}{4(E - E_r)^2 + T^2} \quad (1)$$

$$\sigma_a(E) = \sigma_0 \frac{T T_r}{4(E - E_r)^2 + T^2} \quad (2)$$

kde T je celková šírka absorpčnej čiary, T_r — celková radičná šírka emisnej čiary, E_r — rezonančná energia, σ_0 — maximálny účinný prierez rezonancie určený vzťahom

$$\sigma_0 = 2\pi^2 \lambda^2 \frac{2I_{ex} + 1}{2I_g + 1} \cdot T_r \quad (3)$$

* Katedra jadrovej fyziky a techniky Elektrotechnickej fakulty SVŠT, BRATISLAVA, Vazovova 1/b.

I_{ex} — spin jadra vo vzbudenom stave, I_g — spin jadra v základnom stave. V prípade jadrových prechodov, využívaných v bezdrázovej γ -rezonancii, dvoma konkurujúcimi procesmi sú emisia γ -kvánt a vnútorná konverzia. V dôsledku toho vzťah medzi celkovou a radičnou čiarou určuje rovnica [2]

$$\frac{T_r}{T} = \frac{1}{1 + \alpha} \quad (4)$$

kde α je celkový koeficient vnútornej konverzie.

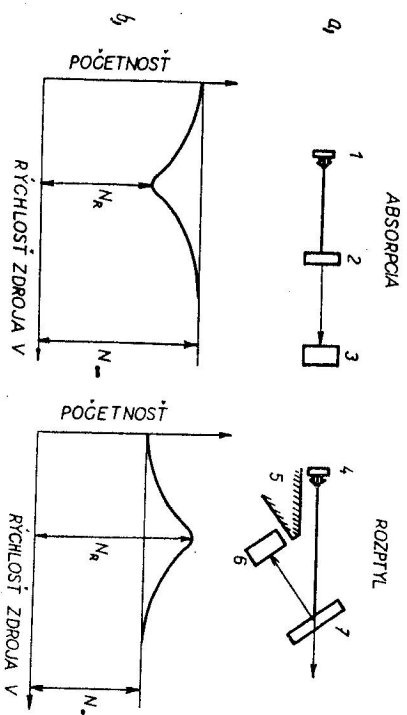
Pri aplikácii Mössbauerovho efektu bola väčšina experimentov uskutočnená absorpčnou metódou. Hlavnými prednosťami tejto metódy je jednoduchosť geometrie merania, väčšie počítanosti a jednoduchšie vyhodnocovanie nameraného spektra.

Merania rozptylovou metódou mali doteraz väčšinou špeciálne zameranie, ako napr. určenie časti γ -kvánt vyžiarovaných bez spätného odrazu, štúdiu Rayleighovho rozptylu, registrácia konverzných elektrónov a pod.

Pri porovnávaní predností absorpčnej a rozptylovej metódy dôležitým faktorom je hodnota samého efektu. Hodnota efektu (obr. 1) ϵ je definovaná:

$$\epsilon = \frac{|N_\infty - N_r|}{N_\infty} \quad (5)$$

kde N_∞ je zaregistrovaný počet impulzov mimo rezonancie a N_r je príslušný počet impulzov v rezonancii.



Obr. 1. a: Schematické znázornenie geometrického usporiadania experimentu pre absorpčnú a rozptylovú metódu. 1, 4 — zdroj, 2 — rezonančný absorbátor, 3, 6 — detektor, 5 — tienenie, 7 — rezonančný rozptylovák; b: absorpčné a rozptylové Mössbauerove spektrum.

V dobre postavenom experimente s rozptyľovou metódou možno dosiahnuť podstatne väčšiu hodnotu efektu ako pri absorpčnej metóde. Počet impulzov, potrebných na dosiahnutie požadovanej relatívnej štatistickej chyby, je nepriamoúmerný štvoru hodnoty efektu. Preto pre danú presnosť pri rozptyľovej metóde je potrebný podstatne menší počet impulzov v porovnaní s absorpčnou metódou.

Ďalšou výhodou rozptyľovej metódy, okrem pomerne veľkej hodnoty efektu, je možnosť využitia vyšších energetických prechodov (~ 150 keV). Časť γ -kvánt vyžiarených bez spätného odrazu (bez straty energie) s rastúcou energiou rýchlo klesá. V oblasti väčších energií hodnota efektu je taká malá, že sa absorpčnou metódou nedá prakticky namerať.

Absorpčná metóda si zo skúmanej vzorky nevyhnutne vyžaduje vyhotovenie tenkých absorbátorov. Ak vyhotovenie takéhoto absorbátora by mohlo spôsobiť porušenie pôvodnej štruktúry, vyžaduje sa použitie hrubých vzoriek. V takomto prípade na nameranie Mössbauerovho efektu možno použiť len rozptyľovú metódu.

Početnosť rozptyľovej metódy je v porovnaní s absorpčnou metódou oveľa menšia. Preto nevýhodou experimentov s rozptyľovou metódou je potreba použitia veľmi intenzívnych zdrojov, ako aj vysoké požiadavky na geometriu experimentálneho zariadenia.

Vychádzajúc z predností, ktoré rozptyľová metóda nesporne má, realizovali sme merania Mössbauerovho efektu využitím tejto metódy a porovnali sme ich výsledky s výsledkami nameranými absorpčnou metódou.

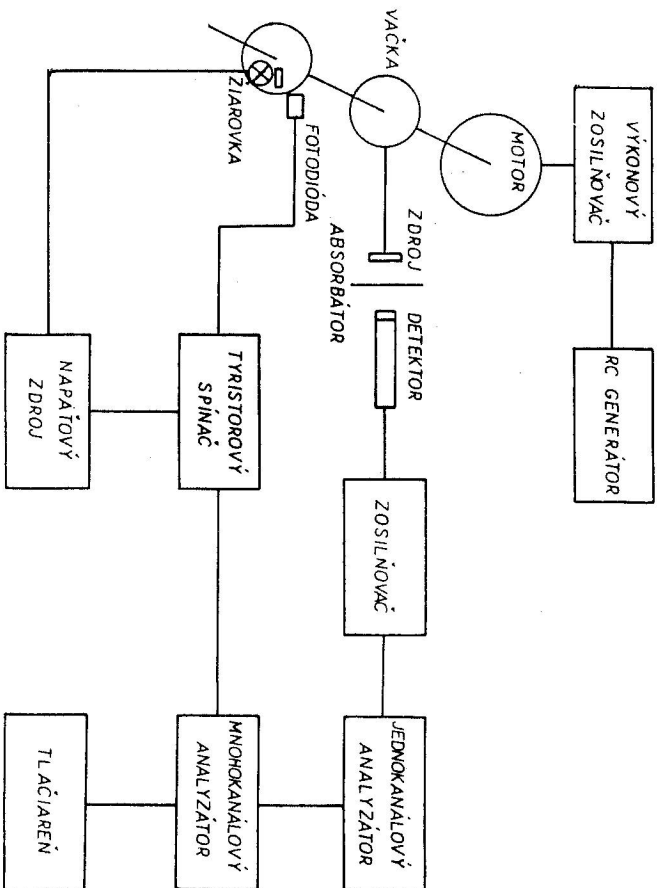
II. EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY

Absorpčné spektrum sme merali pri teplote 300°K pre $14,4$ keV γ -žiarenie zo zdroja Co^{57} zabudovaného v mriežke platiny. Vzhľadná hľadina $14,4$ keV pre Fe^{57} má tieto parametre [3]: Počas rozpadu $\tau_{1/2} = 9,77 \times 10^{-8}$ s; koeficient vnútornej konverzie $\alpha = 9,00$; $I_{\text{ex}} = 3/2$; $I_{\text{g}} = 1/2$; $\Gamma = 4,6697 \times 10^{-12}$ keV alebo $\Gamma = 0,09713$ mm/s.

Ako absorbátor sme použili fólie z nehrdzavejúcej ocele o hrúbke 25 μm . Na obr. 2 je schematické znázornenie experimentálneho zariadenia. Uvedené zariadenie umožňuje meranie spektra pohybov zdroja s konštantným zrychlením.

Z obr. 3, ktorý predstavuje namerané absorpčné spektrum, vidíme, že hodnota efektu [vzťah (5)] je $28,6\%$ a šírka čiary $I_{\text{exp}} = 0,495$ mm/s.

Výroba zdroja, ktorý sme pri meraní použili pre I_{exp} , udáva hodnotu $0,28$ mm/s. Preto sme skúmali príčiny takmer dvojnásobne väčšej hodnoty šírky čiary, nameranej pri našich experimentoch. Doplňujúce merania ukázali,



Obr. 2. Bloková schéma Mössbauerovho spektrometra.

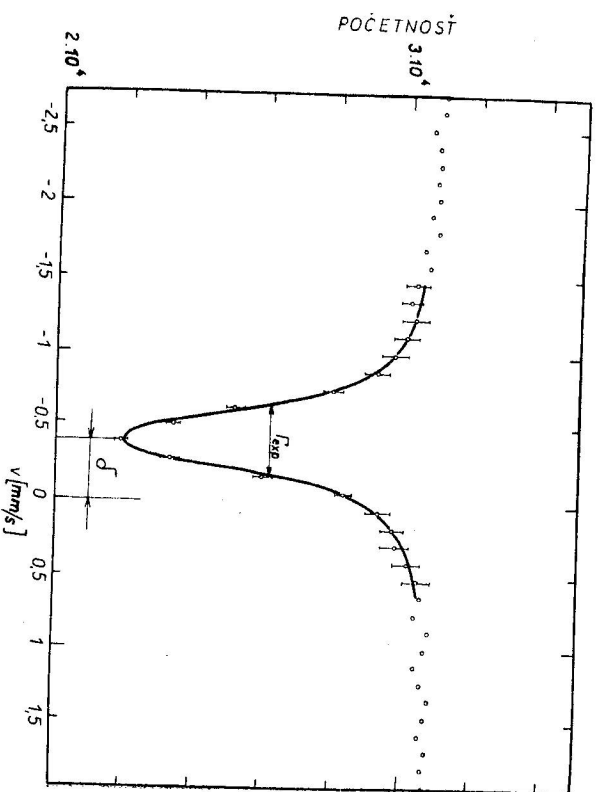
že rozšírenie experimentálnej čiary spôsobuje samo pohybové zariadenie, v ktorom sme pre pohyb zdroja použili štvordielnu váčku. Polohy odpovedajúce nulovým rýchlostiam v jednotlivých častiach váčky sú navzájom posunuté, čo spôsobuje $48,2\%$ -né rozšírenie čiary. Z toho vyplýva, že skutočná hodnota I_{exp} sa bude rovnáť $0,334 \pm 0,033$ mm/s.

Z nameraného spektra sme ďalej určili izomérny posun nášho zdroja vzhľadom na nehrdzavejúcu ocel ako absorbátor

$$\delta = (-0,412 \pm 0,058) \text{ mm/s.}$$

Pre tú istú dvojicu zdroj-absorbátor v práci [4] je udaná hodnota $\delta = -0,42$ mm/s.

Z teórie izoméneho posunu je známe, že experimentálne nameraná hodnota posunu, ak má byť nezávislá od spôsobu určenia, je platná iba pre daný zdroj a absorbátor. Preto sa na porovnávanie experimentálnych hodnôt izoméneho posunu odporúča vyjadriť δ vzhľadom na určitý štandard. Pre Fe^{57} sa ako štandard používa ferokyanid sodný $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [5]. Pretože



Obr. 3. Absorpčné Mössbauerove spektrum.

takýto štandard na pracovisku k dispozícii nemáme, nemohli sme namerať izomérny posun nášho zdroja vzhľadom na štandard.

Z nameranej šírky čiary T_{exp} a ostatných známych parametrov sme určili Lamb-Mössbauerov faktor pre absorbátor f' , ktorý určuje časť γ -kvánt absorbovaných bez spätného odrazu. Veľičiny T_{exp} , T a f' sú navzájom spojené vzťahom [6]

$$T_{exp} = 2T(1,00 + 0,135f), \quad (6)$$

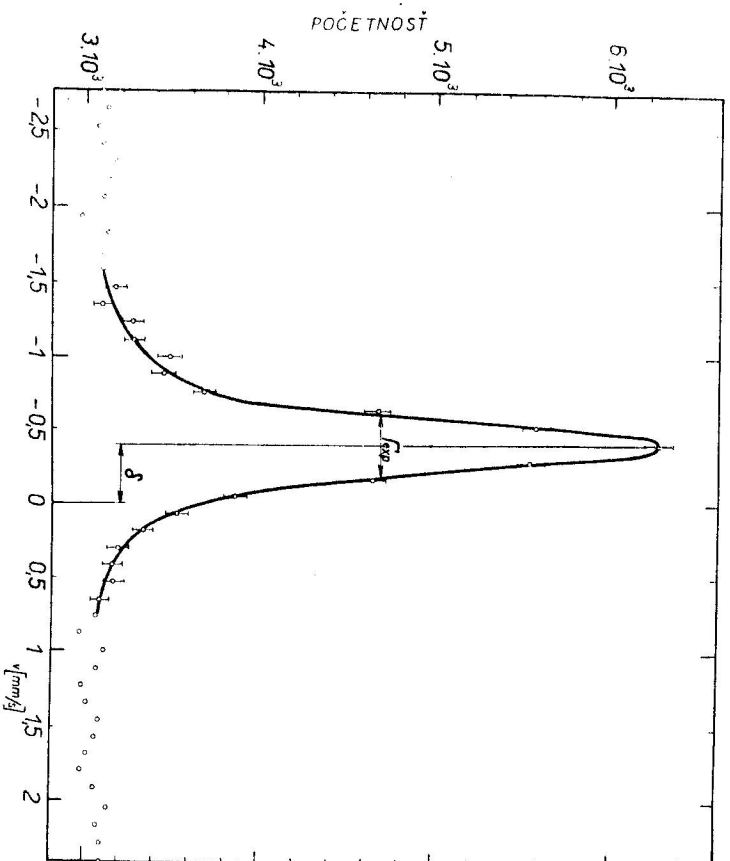
kde t je efektívna hrúbka absorbátora.

$$t = n f' \sigma_0, \quad (7)$$

prídom n je počet atómov Fe^{57} na 1 cm^2 v absorbátore. Pomocou týchto vzťahov pre f' dostávame hodnotu $0,878 \pm 0,008$. V práci [4] je pre ten istý prípad uvedená hodnota 0,86.

V prípade rozptylovej metódy detektor neregistruje priame γ -žiarenie, ale iba žiarenie od rozptyľovača (obr. 1). Rozptylené žiarenie pozostáva z Mössbauerovej, Rayleighovej a Comptonovej zložky.

Energia γ -kvánt odpovedajúca Comptonovej zložke je pri vhodnom uhle rozptyľu v porovnaní s pôvodnou energiou oveľa menšia. Preto možno túto zložku diskriminovať amplifikačným analyzátorom.



Obr. 4. Rozptyľové Mössbauerove spektrum.

Na druhej strane γ -žiarenia odpovedajúce Rayleighovej zložke nemožno oddeliť od rezonančne rozptylených γ -kvánt, pretože ich energia sa v obidvoch prípadoch rovná energii pôvodného žiarenia. Z toho dôvodu Rayleighova zložka značne zvyšuje pozadie, čo nepriaznivo vplyva na merania s malými hodnotami efektu.

Meranie rozptyľovom metódou sme urobili pri uhle rozptyľu 90° s tým istým zdrojom a absorbátorom ako v prípade absorpčnej metódy.

Na obr. 4 je znázornené rozptyľové spektrum, kde hodnota efektu je definovaná vzťahom (5) $\epsilon = 102 \%$. Pri počiatočných meraniach sme touto metódou dosahovali hodnotu efektu len 30 %. Postupným vylepšovaním geometrie, najmä úpravou kolimátora a vhodným výberom rozptyľového uhla, hodnota efektu sa zvýšila až nad 100 %.

Izomérny posun určený z rozptyľového spektra $\delta = -0,408 \pm 0,058 \text{ mm/s}$ a korigovaná šírka čiary $T_{exp} = 0,284 \pm 0,033 \text{ mm/s}$. T_{exp} udané výrobcom zdroja je $0,28 \text{ mm/s}$. Porovnaním týchto výsledkov s výsledkami určenými

z absorpčného spektra vidíme, že v rámci chýb sa obidve metódy dajú rovnako dobre použiť na určenie izoméneho posunu a experimentálnej šírky čiary. Naproti tomu experimentálne výsledky poukazujú na výhodu použitia rozptylovej metódy pre aplikácie merania aj v prípade nízkych energií prechodu, a to pri malých hodnotách efektu a najmä pri skúmaní hrubých vzoriek, keď absorpčnú metódu nemôžeme použiť.

LITERATURA

- [1] Breit G., Wigner E., Phys. Rev. 49 (1936), 519.
 - [2] Фрауэнфельдер Г., *Эффект Мессбауера*. Москва 1964.
 - [3] Muir A. H., *Mössbauer Effect Data Index*, 1958—1965, 24.
 - [4] Kerler W., Neuwirth W., *The Mössbauer Effect*. Proceedings of the 2nd International Conference, France 1961, 90.
 - [5] Груверман И., *Экспериментальная техника Мессбауера*. Москва 1967.
 - [6] Heberle J., *Nuclear Instruments and Methods* 58 (1968), 90.
- Došlo 14. 4. 1970

THE MEASUREMENTS OF THE MOSSBAUER SPECTRA BY RESONANT ABSORPTION AND RESONANT SCATTERING

JadusCirák, Jozef Lipka, Mikuláš Prejša

Summary

The Mössbauer resonant absorption and resonant scattering of 14.4 keV Fe^{57} gamma rays at 300 °K has been measured. In each case a Dopplershift curve was measured to find the effective width, chemical shift and value of the peak resonance. The values of the peak resonance in resonant scattering were over 100 per cent in resonant absorption about 30 per cent only.