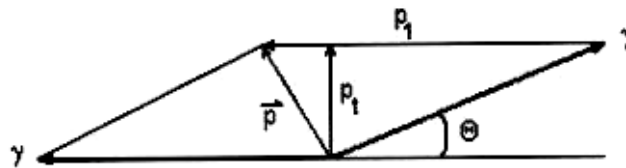


38. Detekcia procesu anihilácie pozitronov pomocou metódy uhlovej korelácie

1. Všeobecná časť

Pozitronová anihilačná spektroskopia (PAS) sa využíva na skúmanie stavu elektrónov v materiáloch. PAS patrí medzi nedeštruktívne meracie metódy, neovplyvňuje vlastnosti skúmanej látky, čo umožňuje jej použitie v kombinácii s ďalšími meracími metódami pri použití tej istej vzorky. Princíp PAS je založený na anihilácii elektrón–pozitronového páru pri úniku najčastejšie dvoch anihilačných fotónov s energiou 511 keV pod uhlom 180° . V našom prípade princíp uhlovej korelácie využíva práve túto skutočnosť. Pomocou metódy uhlovej korelácie sa podarilo získať priamu informáciu o tvare Fermiho plochy. Proces anihilácie, premena hmoty na žiarenie (anihilačné fotóny) dodržiava základné zákony zachovania:

- energie,
- momentu hybnosti,
- elektrického náboja,
- uhlového momentu,
- parity.



Obr. 38.1: Vektorový diagram anihilačných fotónov.

Metóda uhlovej korelácie je založená na princípe zákona zachovania momentu hybnosti v procese anihilácie (obr. 38.1). Rozdelenie momentov páru elektrón–pozitron sa zachováva aj v anihilačnom žiarení. Vplyv nenulového momentu hybnosti ťažiska sústavy pred anihiláciou sa premietne jednak do smeru registrácie anihilačných fotónov (os z), spôsobí Dopplerove rozšírenie a posunutie o ΔE , a na kolmú zložku (os x, y), spôsobí odklon dvojice anihilačných fotónov od uhla 180° o uhol Θ . ΔE spôsobí zvýšenie energie jedného z anihilačných fotónov v smere pohybu (os z). Sumáciou energií dostatočne veľkého počtu

anihilácií je možné dospieť k Dopplerovmu rozšíreniu spektra 511 keV anihilačnej čiary o ΔE nameranej na energeticky citlivom spektrometri:

$$\Delta E = \frac{p_z c}{2} \quad (38.1)$$

kde ΔE je zmena energie, p_z je moment hybnosti v smere osi z a c je rýchlosť svetla.

Vplyv momentu hybnosti na zvyšné dve priestorové súradnice (osi x, y) sa prejaví na odklone anihilačných fotónov od kolinearit o priestorový uhol Θ spôsobený momentom elektrónov:

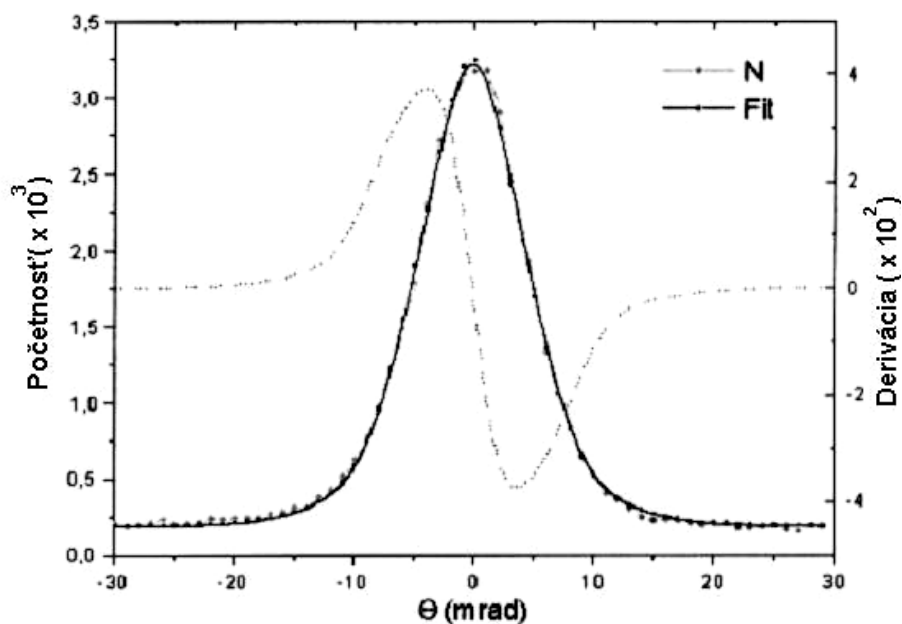
$$\Theta_{x,y} = \frac{p_{x,y}}{m_0 c} \quad (38.2)$$

kde Θ je priestorový uhol, $p_{x,y}$ je moment hybnosti, m_0 je pokojová hmotnosť elektrónu.

Tento odklon je možné merať na $\gamma - \gamma$ koincidenčnom uhlovom korelačnom spektrometri pre jednu alebo dve priestorové súradnice.

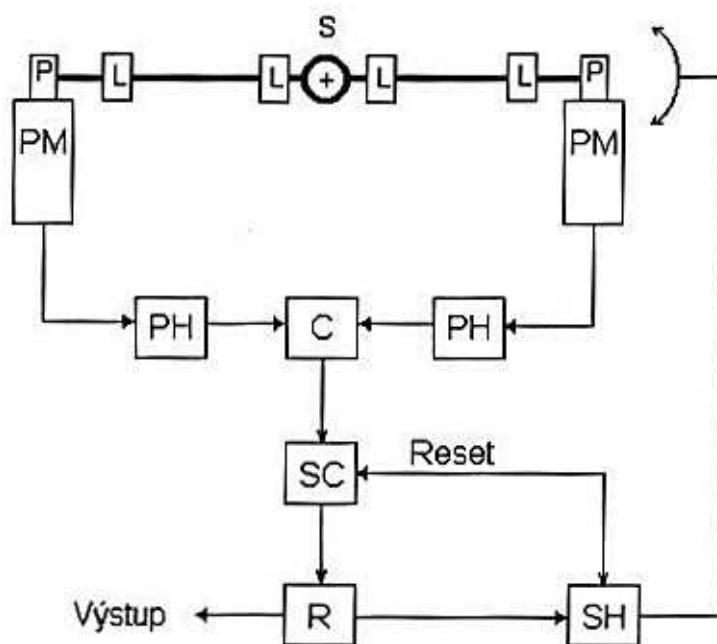
2. Zadanie a postup merania

Cieľom úlohy je oboznámiť sa s princípom PAS na aparátúre uhlovej korelácie, zmerať uhlovú korelačnú krivku na predložených vzorkách materiálov.



Obr. 38.2: Príklad uhlovej korelačnej krivky.

Princíp metódy uhlovej korelácie spočíva v meraní závislosti počtu anihilačných fotónov N od uhlovej odchýlky Θ . Výstup získaný z merania sa nazýva uhlová korelačná krivka. Uhlové korelačné spektrum, pre kovy s voľnými vodivostnými elektrónmi, predstavuje superpozíciu troch kriviek (parabola, dve gaussove krivky). Parabola (kvadratické rozloženie) reprezentuje anihiláciu na voľných elektrónoch, čo vyjadruje kvadratickú závislosť energie elektrónov vo vodivostnom pásme atómu. Gaussova krivka reprezentuje anihiláciu na viazaných elektrónoch. Ďalším príspevkom do superpozície je gaussova krivka spôsobená priestorovou rozlišovacou schopnosťou aparátúry. Príklad uhlovej korelačnej krivky je znázornený na obr. 38.2.



Obr. 38.3: Schéma meracieho systému uhloveho korelačného spektrometra.

Zjednodušená bloková schéma meracej aparátúry uhlovej korelácie je znázornená na obr. 38.3. a skladá sa z nasledujúci častí:

- pozitronový zdroj a vzorka umiestnená v tieniacom kryte (S),
- štrbina (L)
- dva scintilačné detektory (P),
- dva fotonásobiče (PM)
- dva jednokanálové analyzátory (PH),
- koincidenčný člen (C),
- počítadlo koincidiencií (SC),
- zapisovač (R)
- automatický posuvný uhlový mechanizmus, krokový motor (SH).

Počas merania je jeden detektor fixovaný v stabilnej polohe a druhý je vychýľovaný z priameho smeru o zvolený uhol, pričom sa pri každej pozícii detektorov meria počet koincidií N dvojice anihilačných fotónov za jednotku času. Z nameranej korelačnej krivky $N = f(\Theta)$ môžeme získať informáciu o rozdelení hybností elektrónov v materiáloch.

Celý systém je pomerne pomalý a časovo náročný, avšak medzi jeho hlavné prednosti patrí vysoká citlivosť čo do energetického rozloženia elektrónov v materiáli, finančná nenáročnosť (odhliadnuc od ceny pozitronového zdroja) a pomerne jednoduchá obsluha. Zdrojom pozitronov, podobne ako u metódy merania doby života pozitronov, je najčastejšie izotop sodíka ^{22}Na .

3. Literatúra

- [1] Cirák, J. a kol.: Jadrovo-fyzikálne metódy a zariadenia, Návody na laboratórne cvičenia, Bratislava, STU, 2001.
- [2] Domonkoš, P.: Diplomová práca, 2001.
- [3] Bartík, P.: Diplomová práca, 1998.