

Nukleare Festkörperphysik: Experimente mit Mesonen (Zusammenfassung)

Schwink, Christoph

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1986 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.115-116



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

9.5.1986 in Braunschweig

Nukleare Festkörperphysik: Experimente mit Mesonen

(Zusammenfassung)

Von **Christoph Schwink**

Nach einem kurzen Überblick über die heute wichtigsten Zweige der nuklearen Festkörperphysik [1] (Neutronenstreuung, Kernmagnetische Resonanz, Mößbauer-effekt) werden als Beispiele des neuen Gebiets der Experimente mit Mesonen die Myonenspin-Relaxation und die Pionen-Gitterführung näher behandelt.

Zunächst wird die Erzeugung der Mesonen dargestellt. Protonen von etwa 600 MeV lösen beim Auftreffen auf ein Target (C oder Be) eine Kettenreaktion aus, bei der (neben Neutronen) Pionen entstehen. Die Pionen zerfallen mit einer Halbwertszeit von $\tau_\pi = 26$ ns in Myonen und Neutrinos, positive (negative) Myonen ihrerseits mit einer Halbwertszeit von $\tau_\mu = 2,2$ μ s in Positronen (Elektronen) und Neutrinos.

Für die Experimente mit Myonen [2] ist von entscheidender Bedeutung, daß ihr Zerfall unter Verletzung der Parität anisotrop erfolgt. Die Positronen werden dabei bevorzugt in Richtung der jeweiligen Spinorientierung des Myons ausgesandt. Das ermöglicht es, die Depolarisierung von spinpolarisierten Myonen in einer Probe zu messen.

Die wichtigste Wechselwirkung, die zu einer Depolarisierung des Myons führt, ist die mit magnetischen Feldern. Ein konstantes äußeres Feld B, das senkrecht zum Myonenspin ist, verursacht in einer sonst unmagnetischen Probe eine Präzession der Myonen mit der Frequenz $\omega_\mu = \gamma_\mu \cdot B$ ($\gamma_\mu =$ gyromagnetisches Verhältnis) und läßt einen in Richtung ϑ_0 aufgestellten Zähler eine Positronenzerfallsrate $N(t)$ messen, die das Produkt aus dem Zerfallsgesetz und der anisotropen Zerfallsverteilung ist:

$$N(t) = N_0 \exp(-t/\tau_\mu) \cdot (1 + A \cos(\omega_\mu t + \vartheta_0)).$$

Ist die „Asymmetrie“ A nicht konstant, sondern selbst eine Funktion der Zeit, $A(t) = A_{\text{exp}} \cdot G(t)$, so besagt das, daß in der Probe neben dem äußeren Feld noch innere, lokale Magnetfelder existieren, die eine Depolarisierung der Myonen hervorrufen, die durch die Funktion G(t) beschrieben wird ($0 \leq G(t) \leq 1$).

Ursachen einer derartigen Depolarisierung sind:

- 1) das Vorliegen einer Verteilung innerer Felder, und
- 2) Fluktuationen dieser inneren Felder.

Über beide Ursachen läßt sich mit Hilfe von „Relaxationsfunktionen“ G(t), gemessen mit und ohne äußere Magnetfelder, viel aus den Myonenexperimenten lernen.

Als Beispiel für den ersten Fall werden Versuche an den ferromagnetischen Metallen Kobalt und Nickel besprochen [3]. Sie liefern zum einen die Aussage, daß das innere Feld B_μ am Ort der Myonen, der ein Zwischengitterplatz ist, bei Zimmertemperatur in Nickel parallel zur Sättigungsmagnetisierung, in Kobalt antiparallel dazu orientiert ist.

Zum anderen gibt in Kobalt die weitergehende Untersuchung der Temperaturabhängigkeit von $B_{\mu} = B_{\mu}(T)$ Auskünfte über die Vorgänge, die sich magnetisch bei Annäherung und bei Durchschreitung des Phasenübergangs von der hexagonalen zur kubisch flächenzentrierten Phase bei $T = 690$ K abspielen.

Als Beispiel dafür, daß auch zeitliche Veränderungen der inneren Felder sich im Myonensignal deutlich widerspiegeln, wird die Diffusion der Myonen in Eisen mit einigen Leerstellen vorgestellt (siehe [1]). Hier ist es die Bewegung der Myonen selbst, die dazu führt, daß das Myon bis zu seinem Zerfall verschiedene Magnetfelder spürt, je nachdem, ob es sich auf Zwischengitterplätzen im Eisen oder in einer Leerstelle, in der es schließlich eingefangen wird, befindet. Das Experiment liefert einen Wert für diese Diffusionszeit.

Beispielhaft für ein Festkörperexperiment mit Pionen wird schließlich die sog. Gitterführung beschrieben [4]: Pionen werden in einem Einkristall auf (zunächst unbekanntem) Zwischengitterplätzen eingefangen. Bei ihrem Zerfall ist die Emission der Myonen entlang dichtgepackter Richtungen blockiert, entlang „offener“ Gitterrichtungen aber begünstigt. Damit kann der Zwischengitterplatz ermittelt werden, für Tantal wird er so als Tetraederplatz identifiziert.

Zusammenfassende Literatur:

- [1] G. Schatz, A. Weidinger: Nukleare Festkörperphysik, Teubner Studienbücher Physik, 1985.
- [2] A. Schenck: Muon Spin Rotation Spectroscopy, Adam Hilger Ltd., 1985.
- [3] A. P. Denison, H. Graf, W. Kündig, P. F. Meier: Helv. Phys. Acta **52** (1979), 460.
- [4] Arbeitsbericht 82/P1 des MPI für Metallforschung, Institut für Physik (Direktor: Prof. Dr. A. Seeger), 1982.