

## Relaxationskalorimetrie an Spineis

Peter Strehlow

Physikalisch-Technische Bundesanstalt,  
Institut Berlin



Aus der kalorimetrisch bestimmten Entropie einer Substanz lassen sich Einblicke in ihre atomare Struktur gewinnen. So stellt Paulings Modell der Protonenkonfiguration in Wassereis mit der charakteristischen Eigenschaft einer Nullpunktsentropie ein Paradigma für geometrisch frustrierte Systeme dar. Die Ausrichtung von ferromagnetisch wechselwirkenden Ising-Spins im Pyrochlor-Gitter ist völlig analog zu der lokalen Protonenanordnung im Wassereis. In Anlehnung an Pauling bezeichnet man diese geometrisch frustrierten Magnete als Spineis. Die aufgrund der hohen Entartung des Grundzustandes resultierende magnetische Nullpunktsentropie sollte den Paulingschen Wert  $R/2 \times \ln(3/2)$  pro Spin annehmen.

Zur Bestimmung der spezifischen Wärme und Nullpunktsentropie von Spineis wurde ein Relaxationskalorimeter in einem  $^3\text{He}$ -Kryostaten mit 2,5 K-Pulsrohrkühlung und supraleitendem Magnetspuleneinsatz verwendet. Dabei wurden Relaxationsmessungen an einkristallinem  $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  in einem Temperaturbereich von 0,28 K bis 30 K und in Magnetfeldern in (110)-Kristallrichtung bis zu 1,5 Tesla durchgeführt. Die Auswertung der im Relaxationskalorimeter gemessenen Temperaturprofile erfordert jedoch die Lösung eines geeigneten thermodynamischen Feldgleichungssystems, das im Wesentlichen auf dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik und der Materialgleichung für die innere Energie (kalorische Zustandsgleichung) basiert. In geometrisch frustrierten Magneten hängt die innere Energie nicht wie in einem thermodynamisch einfachen Festkörper nur von den momentanen Werten der Zustandsvariablen ab, sondern wird durch ihre gesamte Geschichte bestimmt. Insbesondere setzt sich die innere Energie von Spineis aus den Anteilen der Gitterschwingungen (Phononen) und der magnetischen Anregungszustände zusammen. Letztere werden als lineares Funktional der Temperaturgeschichte dargestellt. Damit ergeben sich linearisierte Feldgleichungen in Form von Funktionalgleichungen, die den homogenen Prozess der thermischen Relaxation von Spineis in einem Relaxationskalorimeter beschreiben.

Mittels Laplace-Transformation lassen sich die Funktionalgleichungen in algebraische Gleichungen überführen, die die Laplace-Transformierte der gemessenen Temperaturprofile mit dem Integralkern des Funktionals für die magnetische Energiedichte im Bildbereich in Relation setzt. Mit der Bestimmung des Integralkerns im Bildbereich ergeben sich neben der spezifischen Wärme zusätzliche Informationen über die Verteilung der magnetischen Anregungszustände sowie ihrer Dynamik.

Auf Grundlage der beobachteten Temperatur- und Feldabhängigkeit der magnetischen Anregungszustände lassen sich diese als thermisch aktivierte Monopol-Antimonopol-Defekte interpretieren.