

Quantenkritikalität

Michaela Altmeyer

06.07.2011

Gliederung

Klassische Phasenübergänge

Kritisches Verhalten

Quantenphasenübergänge

Quantenkritische Region

Experimenteller Nachweis

Erklärungsversuche

(Mögliche) Anwendungen

Klassische Phasenübergänge

durch thermische Anregungen

- 1.Ordnung:
 - Koexistenz am Phasenübergang (Eis-Wasser bei 0°C)
 - latente Wärme
- 2.Ordnung:
 - kontinuierlich (Eisen: ferromagnetisch-paramagnetisch bei $T_c = 770^{\circ}\text{C}$)
 - keine latente Wärme oder Phasenkoexistenz
 - Übergangspunkt ist kritischer Punkt

Kritisches Verhalten

nur bei Phasenübergängen 2. Ordnung

- Korrelationslänge ξ : Maß für Ausdehnung der Fluktuationen

$$\xi \propto t^{-\nu} \quad \text{mit} \quad t = \frac{T - T_c}{T_c} \quad (1)$$

⇒ divergiert am kritischen Punkt

- Korrelationszeit τ_c : Zeitskala für den Zerfall einer Fluktuation

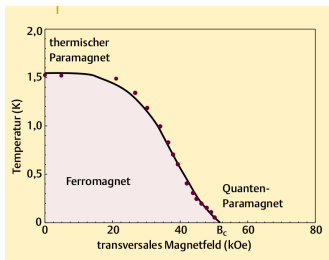
$$\tau_c \propto t^{-\nu z} \quad (2)$$

⇒ ebenfalls divergent am kritischen Punkt

- Effektive Elektronenmassen streben gegen unendlich durch Streuung an Fluktuationen
- Wegen unendlicher Korrelationslänge am kritischen Punkt ergeben sich Klassen von Phasenübergängen (unabhängig von mikroskopischen Details) mit identischen kritischen Exponenten

Quantenphasenübergänge

- bei Temperatur $T = 0K$
- Heisenbergsches Unschärfepnzip
- Quantenfluktuationen

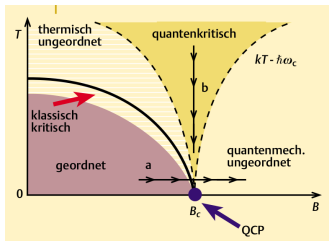


Beispiel: $LiHoF_4$

- ferromagnetisch unterhalb von $T_c \approx 1,5K$
- Magnetfeld senkrecht zur Spinausrichtung
- Überlagerung von up- und down-Zustand (Klassisch: zeitliche Mittelung)

Weitere Quantenphasenübergänge durch Druckveränderung oder Dotierung

Quantenkritische Region



- oberhalb des kritischen Punktes

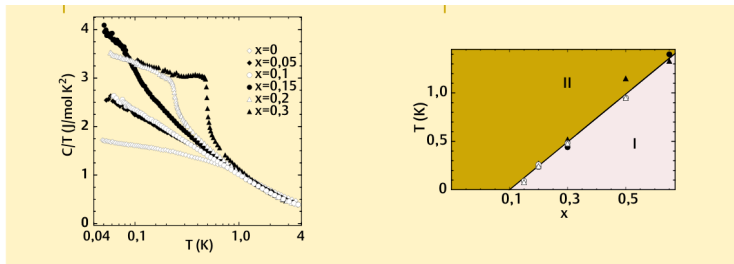
$$\hbar\omega_c < k_B T \quad (3)$$

⇒ thermische Fluktuationen überwiegen

- ABER: Bereich wird durch thermische Anregungen des quantenkritischen Grundzustands charakterisiert!
 ⇒ Divergenz der Ordnungsparameterfluktuationen bei absinkender Temperatur

Experimenteller Nachweis

Spezifische Wärme von $CeCu_{6-x}Au_x$



- Dotierung mit Goldatomen: Paramagnet zu Antiferromagnet
- kritische Konzentration bei $x_c = 0,1$
- quantenkritischer Bereich

$$C/T \propto -\log T \quad (4)$$

- sonst Fermiflüssigkeit mit

$$C/T = const. \quad (5)$$

Erklärungsversuche

- Erweitern der Theorie der Phasenübergänge um eine Zeitkomponente (eher unwahrscheinlich)
- Statt Fermi-Flüssigkeit neues Modell: Luttinger Liquid (Eigentlich nur für 1D)
Aufbrechen der Elektronen in Spin- und Ladungskomponente mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten

(Mögliche) Anwendungen

- Hochtemperatursupraleitung (zeigt in normalleitender Phase Nicht-Fermi-Flüssigkeitsverhalten)
- Katalysator für Übergänge in neue stabile Phasen (Aprupte Änderungen des spezifischen Widerstands oder der Form des Materials, um kritischen Punkt zu vermeiden)
⇒ völlig neue Materialklassen

Quellen

- **Thomas Vojta:** *Von Ordnung zu Unordnung durch Quantenfluktuationen*; Physik in unserer Zeit; 2001; Nr.1
- **Matthias Vojta:** *Quantenphasenübergänge - Schmelzen am Temperaturnullpunkt*; Physik Journal 1 (2002) Nr.3
- **Piers Coleman und Andrew J. Schofield:** *Quantum criticality*; Nature (2005); VOL 433
- **Subir Sachdev:** *Quantum magnetism and criticality*; Nature (2008); VOL 4
- **Subir Sachdev:** *Quantum criticality: Competing ground states in low dimensions*; Science (2000); VOL 288
- **Igor A Zaliznyak:** *A glimpse of a luttinger liquid*; Nature (2005); VOL 4