

Alle Rechte beim Urheber.

Abdruck nur gegen Belegexemplar, Honorar plus 7% MwSt.

Energieskalen von Quantenfluktuationen

Als die Supraleitfähigkeit vor 20 Jahren an Kupferoxid-Keramiken erstmals bei hohen Temperaturen festgestellt wurde, erklimmte die Quantentheorie eine neue Stufe der Komplexität. Quanteneffekte wie die Quantenkritizität machten den Festkörperphysikern ihr zuvor schon schwer vermittelbares Laborleben noch schwerer. „Die Quantenkritizität verkörpert die kollektive Organisation einer großen Anzahl mikroskopischer Materieteilchen“, erklärt Elihu Abrahams von der Rutgers University. Diese Organisation kippt am kritischen Punkt, der klassisch einen Phasenübergang markiert. In der Quantentheorie fällt der kritische Punkt zusammen mit dem absoluten Nullpunkt der Temperatur. Dort ändern sich die Quanteneigenschaften der Materie radikal.

Wenn Wasser verdampft, geht es von der flüssigen Phase über in die gasförmige. Der Phasenübergang erfolgt am kritischen Punkt des Wassers. Er ist das Resultat von Temperaturänderungen. Die Ordnung der gelösten Wassermoleküle wird durch die Hitze derart gestört, dass sich die Moleküle zu einer neuen Organisation zusammenfinden. Beschrieben wird der Phasenübergang durch einen Ordnungsparameter. Beim Verdampfen von Wasser ist das die Dichte. Sie ist in der flüssigen Phase höher als in der gasförmigen. Die Teilchen mögen sich auf ein noch so großes Volumen verteilen, stets lässt sich für sie eine - wenn auch noch so kleine Dichte - angeben.

Bei Quantenphasenübergängen verhält sich das anders. Die Quanteneffekte zwingen ein Material vom einen Phasenzustand, der von einem Ordnungsparameter beherrscht wird, in einen anderen Phasenzustand ohne diese Ordnung. Beispiel für einen solchen Phasenübergang ist der Wechsel vom magnetischen in den nichtmagnetischen Zustand, den Wissenschaftler vom Max-Planck-Institut für Chemische Physik in Dresden an einer Silizium-Verbindung nahe am absoluten Nullpunkt gemessen haben. Der Übergang wird auf einer Energieskala beschrieben, die maßgeblich ist für die Quantenfluktuation des Ordnungsparameters, hier der magnetischen Feldstärke.

Die Fluktuation ergibt sich daraus, dass im Unterschied zur klassischen Thermodynamik ein Vakuum in der Quantenfeldtheorie nicht wirklich leer ist. Dort entstehen und vergehen in einem

Alle Rechte beim Urheber.

Abdruck nur gegen Belegexemplar, Honorar plus 7% MwSt.

fort Paare von Teilchen und Antiteilchen. Die Fluktuation im Vakuum wurde bisher mit einer Energieskala angegeben. Diese reicht offenbar nicht aus. „Unsere Messungen haben ergeben, dass eine zweite thermodynamische Energieskala für die Silizium-Verbindung existiert“, berichtet Philipp Gegenwart. Und der Dresdner Physiker fügt hinzu: „Die zusätzliche Energieskala geht über die Theorie der Fluktuation von Ordnungsparametern hinaus.“ Eine schlüssige Erklärung für die zweite Energieskala steht allerdings noch aus. Sie könnte darin liegen, dass sich nahe dem absoluten Nullpunkt die Verschränkung von Elektronen auflöst. Ebenso für möglich gehalten wird aber auch die Aufspaltung von Elektronen in Objekte, von denen eines die Ladung, das andere den Spin davonträgt. „Wie auch immer die Erklärung ausfallen mag, die Messergebnisse unterstreichen die weit reichende Bedeutung der Quantenfluktuationen“, sagt Gegenwart.

Eine zusätzliche Energieskala macht die Quantenfeldtheorie nicht unbedingt leichter verständlich. Schon jetzt geben Fluktuationen quantentheoretisch Anlass für die Renormierung bestehender Energieskalen: Die Energieskalen müssen angepasst werden an die beobachteten Effekte, weil sie ansonsten nicht mehr mit den bekannten physikalischen Gesetzen beschrieben werden können. Durch die Renormierung umgehen Theoretische Physiker Singularitäten, in denen physikalische Größen einen unendlichen Wert annehmen würden. Doch die Festlegung einer Energieskala bleibt nicht ohne Konsequenzen für die Theorie. Denn Naturkonstanten sind nur konstant in Bezug auf eine bestimmte Energieskala. Bei sehr hohen Energien beispielsweise nimmt die Elementarladung zu.