

Sonderdruck

aus

PHYSIKALISCHE BLÄTTER

Jahrgang 46, Heft 11, 1990

Der fraktionierte Quanten-Hall-Effekt

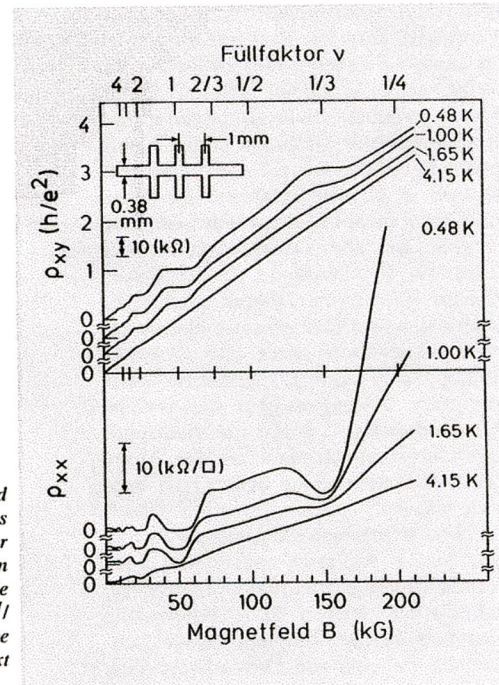
Von T. Chakraborty, Stuttgart*)

Ein zweidimensionales Elektronengas in einem hohen Magnetfeld senkrecht zur Ebene kondensiert bei sehr tiefen Temperaturen in eine neuartige Quantenflüssigkeit, in einen inkompressiblen flüssigen Zustand, bei dem die Elementaranregungen eine nicht-ganzzahlige Ladung haben. Dieser Artikel beschreibt, wie sich das Verständnis dieses Phänomens und einiger damit zusammenhängenden ungewöhnlichen Eigenschaften entwickelt hat.

1. Einleitung

Der Grundzustand eines korrelierten Elektronensystems hat die Festkörperphysiker seit den frühen Arbeiten von Wigner [1] immer wieder herausgefordert. In seiner Berechnung der Korrelationsenergie des Elektronengases zeigte Wigner, daß bei geringer Dichte die potentielle Energie über die kinetische Energie dominiert. Das Elektronensystem bildet dann einen sogenannten Wigner-Kristall. Dieser Effekt wurde bei Elektronen auf einer Oberfläche von flüssigem Helium beobachtet. Auf einer Halbleiter-Grenzfläche beträgt die Elektronendichte jedoch mehr als $10^{11}/\text{cm}^2$, d. h. sie ist viel zu hoch, als daß man die Kristallisation bei erreichbaren Temperaturen beobachten könnte. In Gegenwart eines sehr hohen Magnetfeldes senkrecht zur Ebene ist dies jedoch anders: In Feldrichtung ist die kinetische Energie durch die Lokalisierung in der dünnen Schicht stark eingeschränkt, während sie in der zweidimensionalen Ebene durch die Landau-Quantisierung [2] beschränkt wird. Damit sind die Elektronen bei sehr tiefen Temperaturen stark korreliert und befinden sich im extremen Quantenlimes, in dem ihre Wechselwirkung dominiert. Auf der Suche nach der Wigner-Kristallisation entdeckten Tsui, Störmer und Gossard [3]

Abb. 1: Der Hall-Widerstand ρ_{xy} und der Widerstand in Richtung des Stroms ρ_{xx} als Funktion des Magnetfeldes in der GaAs/Al_xGa_{1-x}As-Heterostruktur, in der der FQHE entdeckt wurde. Die Elektronendichte beträgt $n = 1,23 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$. Die Skala auf der oberen Abszisse bezeichnet den Füllfaktor, der im Text definiert ist [3].



1982 den fraktionierten¹⁾ Quanten-Hall-Effekt (FQHE), zwei Jahre nach Erscheinen der bahnbrechenden Arbeit von v. Klitzing, Dorda und Pepper [4], die die Entdeckung der ganzzahligen Quantisierung der Hall-Leitfähigkeit mitteilte.

Der FQHE wurde in GaAs/Al_xGa_{1-x}As-Heterostrukturen gemessen, in denen es zweidimensionale Elektronensysteme mit hoher Beweglichkeit gibt. Für bestimmte gebrochene Füllfaktoren ν zeigt hier die Hall-Leitfähigkeit Plateaus, außerdem wird der longitudinale Widerstand sehr klein. Hierbei ist ν ein rationaler Bruch mit ungeradem Nenner (für einen geraden Nenner wurde der fraktionierte

Quanten-Hall-Effekt erst 1987 nachgewiesen [5]).

Abb. 1 zeigt den Hall-Widerstand ρ_{xy} und den Widerstand in Richtung des Stromes ρ_{xx} als Funktion des magnetischen Feldes für einige Füllfaktoren $\nu = nh/eB$, wobei n die Ladungsdichte und B das Magnetfeld sind. Für Werte von $\nu > 1$ lassen sich die typischen Züge des ganzzahligen QHE deutlich erkennen. Im extremen Quantenlimes, d. h. bei $\nu < 1$ und bei Temperaturen kleiner als 0,48 K, gibt es ein Minimum in ρ_{xx} und ein Hall-Plateau bei $\nu = 1/3$. Bei späteren Experimenten mit Proben höherer Mobilität konnte dieser Wert auf $3 \cdot 10^{-5}$ genau nachgemessen werden; ρ_{xx} war dort kleiner als $0,1 \Omega/\square$ (ρ_{xx} wird ausgedrückt in Widerstand pro Quadrat, unabhängig von der Quadratgröße). Bei der niedrigsten Temperatur sieht man bei $\nu = 2/3$ eine schwache Struktur. Weitere Experimente mit Proben höherer Beweglichkeit ergaben Anomalien bei folgenden anderen Füllfaktoren (siehe auch Abb. 2):

¹ In diesem Beitrag wird durchgehend das Wort „fraktioniert“ verwendet. Dies ist ebenso wie die Eindeutschungen „fraktional“ bzw. „fraktionell“ vom englischen „fractional“ abgeleitet. Die korrekte deutsche Übersetzung „gebrochenzahlig“ setzt sich nicht durch; sie kollidiert zudem mit der international verbreiteten Abkürzung „FQHE“. (Anmerkung der Red.)

* Dr. Tapash Chakraborty, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Heisenbergstraße 1, D-7000 Stuttgart 80. – Gegenwärtige Anschrift: Division of Physics, National Research Council of Canada, Montreal Road, Ottawa, ON K1A 0R6, Canada.

