

# Spinonen und Holonen

- Was ist ein „Spin liquid“?
- Eigenschaften von Spinon und Holon
- Beobachtungen in Experimenten

# Was ist ein „Spin liquid“?

Drei verschiedene Definitionen:

Ein Spin liquid ist ein Zustand

- 1) ohne magnetische Fernordnung
- 2) ohne spontan gebrochene Symmetrie
- 3) der fraktionelle (Spin  $\frac{1}{2}$ ) Anregungen aufrecht erhält

# Was ist ein „Spin liquid“?

Zu Definition 1):

Ein Spin liquid ist ein Zustand ohne magnetische Fernordnung

- Präziser: Der Strukturfaktor  $S(\mathbf{q})$  divergiert nie
- Nachteil: Nach dieser Definition ist jedes 2D Heisenberg Modell ein Spin liquid

# Was ist ein „Spin liquid“?

Zu Definition 2)

Ein Spin liquid ist ein Zustand ohne spontan gebrochene Symmetrie

- schließt Néel geordnete Zustände aus
- schließt „valence-bond“ Kristalle aus

# Was ist ein „Spin liquid“?

Zu Definition 3):

Ein Spin liquid ist ein Zustand, der fraktionelle (Spin  $\frac{1}{2}$ )

Anregungen aufrecht erhält

Fraktionierung:

- Quantengrundzustand stark korrelierter Elektronen Systeme, die „Quasiteilchen“ Anregungen zulassen, die fraktionierte Quantenzahlen tragen
- In magnetischen Systemen:  
Ein Spinon ist eine neutrale Spin- $\frac{1}{2}$  Anregung
- Spinonen können nur von Paaren in einem endlichen System erschaffen werden

# Was ist ein „Spin liquid“?

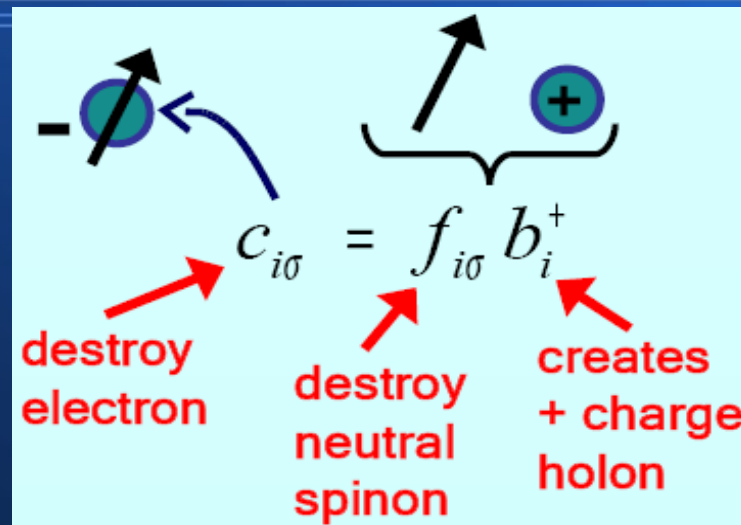
Fraktionierung tritt auf:

- In 1D Elektronen Systemen: Quantendrähten (quantum wires) (Experiment Uni Cambridge + Birmingham), carbon nanotubes
- In 2D: Elektronen in sehr starken Magnetfeldern: Fraktionierter Quanten Hall Effekt
- In 2D und 3D ohne starkes magnetisches Feld: möglich

# Eigenschaften von Spinon und Holon

- Spinon und Holon elementare Anregung einer eindimensionalen Elektronenflüssigkeit
- Spinon:
  - trägt den Spin der Elektronen, aber keine Ladung
  - Fermion
- Holon:
  - hat Ladung  $e$ , aber keinen Spin
  - kann in Analogie zur Bose-Einstein Kondensation makroskopische Quantenwelle aufbauen
  - können sich nur paarweise bewegen
  - Boson

# Eigenschaften von Spinon und Holon



Der mikroskopische Hamiltonian kann so mit einem gleichen, unabhängigen Hamiltonian für Holonen und Spinonen und einen Störungsterm ausgedrückt werden.

Beispiel: Drei-Band Hubbard Hamiltonian für HT SL:

$$H = H_{dd} + H_{pd} + H_{band} + H_{ex} \Rightarrow H = H_{eff} + H'$$

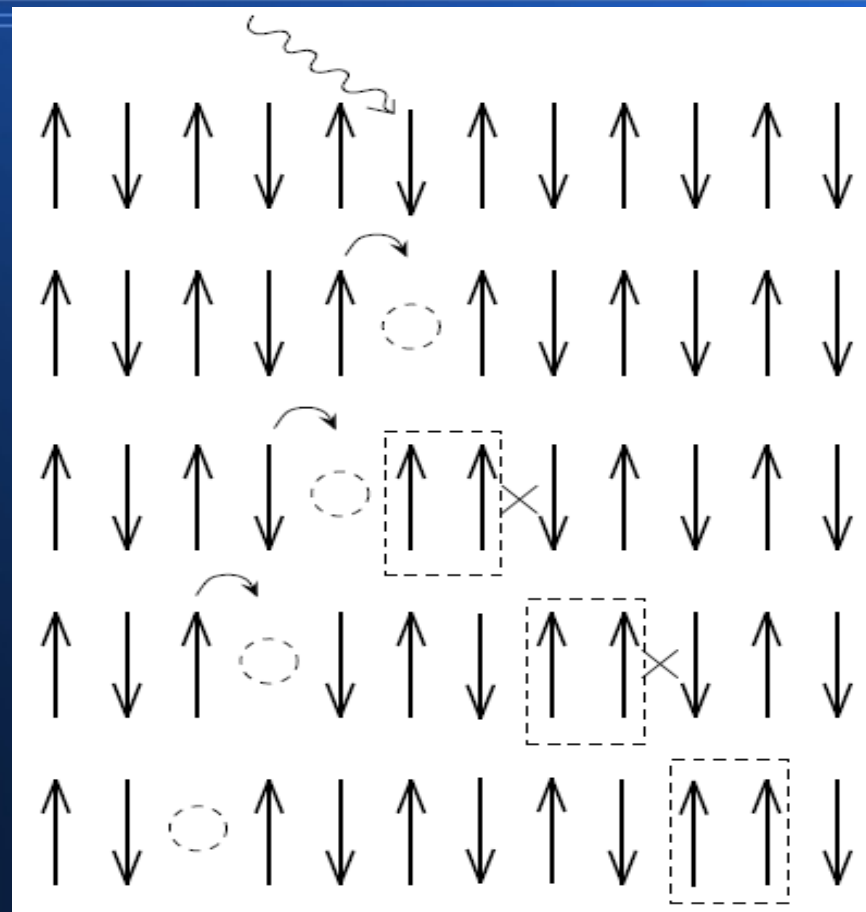
$$H_{eff} = H_{spinon} + H_{holon}; H': \text{Störung}$$



# Eigenschaften von Spinon und Holon

- Tatsächlich zerfallen Elektronen in 1D nicht in zwei neue Teilchen
  - aber wegen Wechselwirkung gibt es keine unabhängige Bewegung bei tiefen  $T$
  - Bewegung in komplex aufgebauter Wolke anderer Elektronen  
=> effektiv bewegen sich Spin und Ladung unabhängig voneinander

# Eigenschaften von Spinon und Holon



Holon (Kreis) und Spinon (Rechteck) bewegen sich unabhängig auf einer anti-ferromagnetischen Kette

# Beobachtungen in Experimenten

- „Lückenlose“ Natur der Spinon-Anregungen relevant für Erklärung der Experimente
- z.B. Beobachtung eines linearen Beitrags zur spezifischen Wärme bei niedrigen  $T$  für ein Material mit einem Spin liquid Verhalten im Grundzustand
- Linearer Beitrag für ein Metall zu erwarten, es handelt sich aber um ein Isolator  
=> Vermutung, dass dieses Verhalten von einer Spinon Fermi-Oberfläche stammt

# Quellen

- 2D quantum magnetism and spin liquids  
G. Misguich – HFM school. ICTP Trieste, August 2007
- Festkörperphysik II Studienjahr 2009/10 TU Wien  
Silke Bühler-Paschen, Peter Mohn
- Thermodynamic properties of a spin- $\frac{1}{2}$  spin-liquid state in a  $\kappa$ -type organic salt  
Satoshi Yamashita et al. April 2008 Nature Publishing Group
- Supraleitung Grundlagen und Anwendungen  
Werner Buckel und Reinhold Kleiner, 6. Auflage 2004
- Quantum Order  
Catherine Callin, McMaster University, CIAR Summer School 2003
- Spinons and holons for the one-dimensional three-band Hubbard models of high-temperature superconductors  
Jamil Tahir-Kheli und William A. Goddard III  
Proc. Natl. Acad. Sci. USA Vol 90, November 1993