

# Wärmesupraleitung - Physik oder Farce?

**Jochen Gemmer**

Universität Osnabrück

Antrittsvorlesung, 08.04, 2010

# Worum geht es?

Googlefight

Results on Google :

thermal  
superconductivity

402000 results

easterbunny

5920000 results

thermal superconductivity

easterbunny

Make a fight



## ENCENEMENT 2.0

er Andrieu  
sez votre site  
obtenir une  
ure visibilité  
s moteurs de  
cherche

ablication  
nce.com



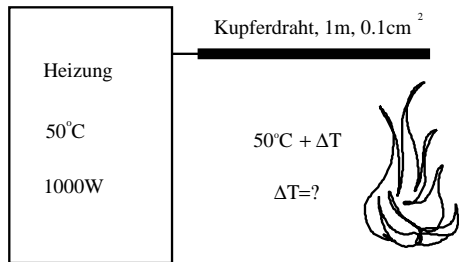
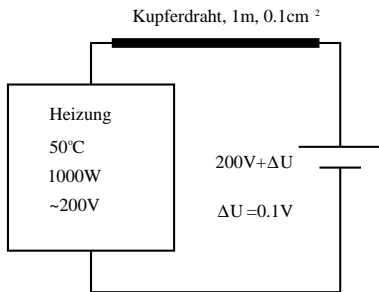
# Warum verlegen wir keine "Wärmekabel"?

elektrischer Energietransport:

$$\sigma(\text{Ladung}) = 5.8 \cdot 10^7 \text{ A/Vm}$$

thermischer Energietransport:

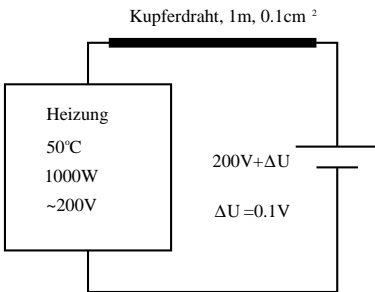
$$\sigma(\text{Wärme}) = 400 \text{ W/Km}$$



# Darum verlegen wir keine "Wärmeleiter"!

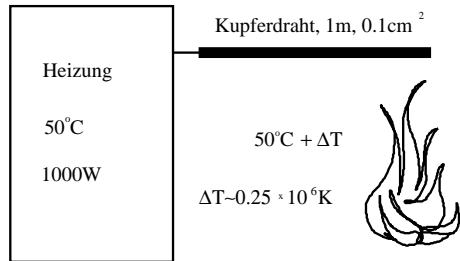
elektrischer Energietransport:

$$\sigma(\text{Ladung}) = 5.8 \cdot 10^7 \text{ A/Vm}$$



thermischer Energietransport:

$$\sigma(\text{Wärme}) = 400 \text{ W/Km}$$



(Temperatur im Sonnenkern:  $\approx 15 \cdot 10^6 \text{ K}$ )

# Warum sind die Leitfähigkeiten so unterschiedlich?

In Kupfer wird sowohl der Ladungs- als auch der Energiestrom von Elektronen getragen. Der Widerstand ist bestimmt durch Elektron-Phonon Streuung.

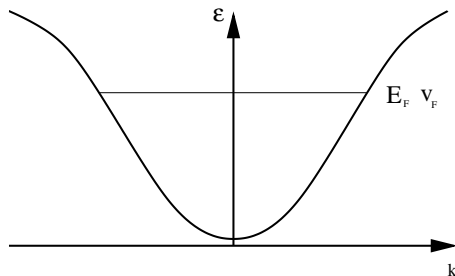
Formel für Leitwerte  
z. B. aus Boltzmann-Gleichung

$$\sigma(\alpha) \approx \frac{1}{d} \langle \hat{j}^2(\alpha) \rangle \tau(\alpha)$$

$$j(\text{Ladung}) = \sum_k e v_F \Delta n_k$$

$$j(\text{Energie}) = \sum_k \Delta \epsilon_k v_F \Delta n_k$$

elektronische Dispersionsrelation  
Kupfer



Ströme und Relaxation ähnlich aber  $j(\text{elektrische Energie}) = Uj(\text{Ladung})!$

$$\Rightarrow j(\text{elektrische Energie}) \propto eU, \quad j(\text{Energie}) \propto \langle \Delta \epsilon_k \rangle$$

Sind bessere elektrische Leiter auch bessere Wärmeleiter? Im Prinzip ja...

Elektrischer und Energietransport in Metallen primär bestimmt durch Fermigeschwindigkeit und Elektron-Phonon Streuung  $\Rightarrow$

Wiedemann-Franz'sches Gesetz:  $\sigma(\text{Wärme})/\sigma(\text{Ladung}) = LT$   
 $L \approx 2.1 \dots 2.9 \cdot 10^{-8} \text{ W}\Omega\text{K}^{-2}$

...aber: **Supraleiter sind schlechte Wärmeleiter! Warum?**  $\Rightarrow$   
 $j(\text{Wärme}) \neq j(\text{Energie})!$

$$\hat{j}(\text{Wärme}) = \hat{j}(\text{Energie}) - \frac{\langle \hat{j}(\text{Energie}) \hat{j}(\text{Ladung}) \rangle}{\langle \hat{j}^2(\text{Ladung}) \rangle} \hat{j}(\text{Ladung})$$

Der Wärmestrom muss "ladungsstromfrei" sein  $\Rightarrow$  Seebeck-Effekt.  
Leider gilt allgemein  $\tau(\text{Wärme}) \neq \tau(\text{Ladung}) \neq \text{etc.}$

# ...and the winner is: pure diamond!

**Beste "gängiger" Wärmeleiter : Diamant,  $\sigma(\text{Wärme}) = 2300 \text{ W/mK}$ .**

Transport über Phononen. Phonon-Phonon Kopplung schwächer als

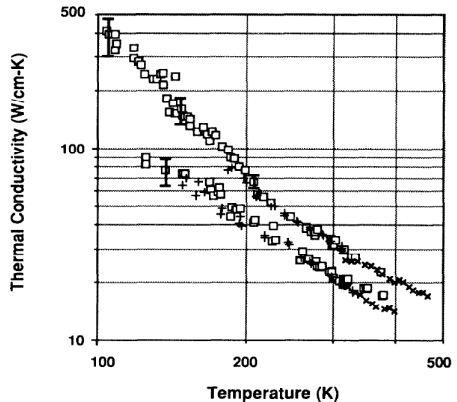
Elektron-Phonon Kopplung?  $V_{ph.}(\text{Diamant}) < v_F(\text{Kupfer})$ ?

$V_{ph.}(\text{Diamant}) \approx 1.8 \cdot 10^4 \text{ m/s}$ ,  $v_F(\text{Kupfer}) \approx 10^6 \text{ m/s}$ , Nur Umklapp-Streuung relevant.

Reiner als Diamant?

**Insgesamt unschlagbar:  
reinstes  $^{12}\text{C}$  Diamant!**

(L. Wei et al.,  
Phys. Rev. Lett., (1993))



Bis hier alles (semi-)klassische Beschreibung. Vielleicht gibt es Wärmesupraleitung ja als echtes Quantenphänomen?

Jedenfalls ist Wärmeleitung eine Ausprägung des zweiten Hauptsatzes in der Thermodynamik.

Der 2. Hauptsatz in der Quantenmechanik?....

Better ask Wiki!



## Second law of thermodynamics

From Wikipedia, the free encyclopedia

...

It has been shown that not only classical systems but also quantum mechanical ones tend to maximize their entropy over time. Thus the second law follows, given initial conditions with low entropy. More precisely, it has been shown that the local von Neumann entropy is at its maximum value with an extremely great probability.<sup>[5]</sup> The result is valid for a large class of isolated quantum systems (e.g. a gas in a container). While the full system is pure and therefore does not have any entropy, the entanglement between gas and container gives rise to an increase of the local entropy of the gas. This result is one of the most important achievements of quantum thermodynamics<sup>[dubious – discuss]</sup>.

...

# Second law of thermodynamics

From Wikipedia, the free encyclopedia

...

It has been shown that not only classical systems but also quantum mechanical ones tend to maximize their entropy over time. Thus the second law follows, given initial conditions with low entropy. More precisely, it has been shown that the local von Neumann entropy is at its maximum value with an extremely great probability.<sup>[5]</sup> The result is valid for a large class of isolated quantum systems (e.g. a gas in a container). While the full system is pure and therefore does not have any entropy, the entanglement between gas and container gives rise to an increase of the local entropy of the gas. This result is one of the most important achievements of quantum thermodynamics<sup>[dubious - discuss]</sup>.

...

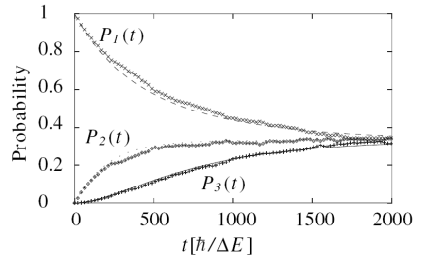
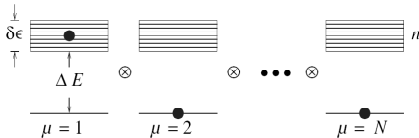
5. ^ Gemmer, Jochen; Otte, Alexander; Mahler, Günter (2001), "Quantum Approach to a Derivation of the Second Law of Thermodynamics"<sup>ⓘ</sup>, *Phys. Rev. Lett.* **86** (10): 1927–1930,

## Fourier's Law from Schrödinger Dynamics

Mathias Michel,<sup>1,\*</sup> Günter Mahler,<sup>1</sup> and Jochen Gemmer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Theoretical Physics I, University of Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, 70550 Stuttgart, Germany*

<sup>2</sup>*Physics Department, University of Osnabrück, Barbarastr. 7, 49069 Osnabrück, Germany*

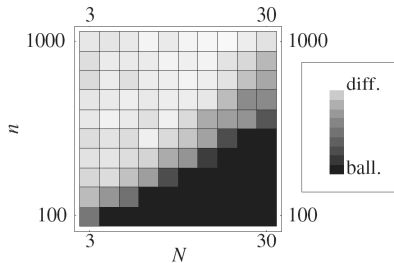
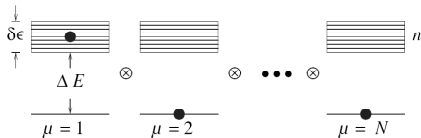


### Transition from Diffusive to Ballistic Dynamics for a Class of Finite Quantum Models

Robin Steinigeweg,<sup>1,\*</sup> Heinz-Peter Breuer,<sup>2,†</sup> and Jochen Gemmer<sup>1,‡</sup>

<sup>1</sup>Fachbereich Physik, Universität Osnabrück, Barbarastrasse 7, D-49069 Osnabrück, Germany

<sup>2</sup>Physikalisches Institut, Universität Freiburg, Hermann-Herder-Strasse 3, D-79104 Freiburg, Germany



Reine Einteilchenmodelle sind überabstrahiert und in der Natur nicht zu realisieren, aber...

“**One-dimensional, integrable, many-body quantum systems**, such as the Heisenberg spin-1/2 chain, the Hubbard, or supersymmetric t-J model are characterized by a macroscopic number of conservation laws”

(X. Zotos et al., *Transport and conservation laws*, Phys. Rev. B., (1997))

$$\langle \hat{C}_j(\alpha) \rangle \neq 0 \Rightarrow \tau(\alpha) \rightarrow \infty, \Rightarrow \sigma(\alpha) \rightarrow \infty$$

“... the total thermal current operator  $\hat{j}$ (Wärme) commutes with the Hamiltonian  $\hat{H}$  of the XXZ chain.... **As a consequence, the thermal conductivity at zero frequency is infinite! ...**”

(A. Klümper et. al., J. Phys. A, (2002))

$$\hat{H} = \sum_{\mu} B \hat{\sigma}_{\mu}^z + J(\hat{\sigma}_{\mu}^x \hat{\sigma}_{\mu+1}^x + \hat{\sigma}_{\mu}^y \hat{\sigma}_{\mu+1}^y + \Delta \hat{\sigma}_{\mu}^z \hat{\sigma}_{\mu+1}^z)$$

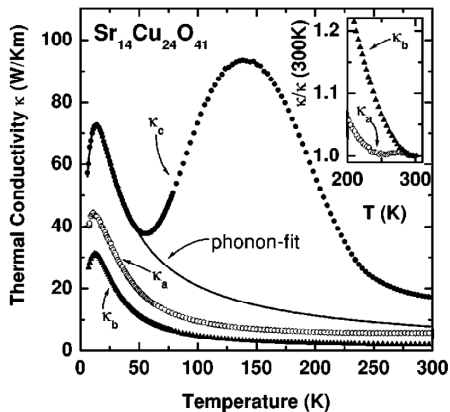
(das ist eine **Spin-Kette**, Danke an Jürgen Schnack!)

**Und was sagt das Experiment?**

PHYSICAL REVIEW B, VOLUME 64, 184305

### Magnon heat transport in $(\text{Sr,Ca,La})_{14}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$

C. Hess,<sup>1,2</sup> C. Baumann,<sup>1,2</sup> U. Ammerahl,<sup>1</sup> B. Büchner,<sup>2,1</sup> F. Heidrich-Meisner,<sup>3</sup> W. Brenig,<sup>3</sup> and A. Revcolevschi<sup>4</sup>  
(2001)



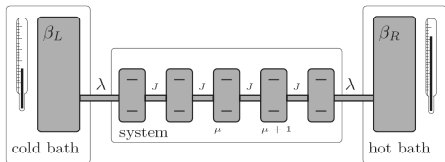
Nicht schlecht,  
aber unendlich...?

# Neutronensterne gegen Seebeck!

## Magnetisierung als Träger

*Transport in open spin chains:  
A Monte Carlo wave-function approach,*

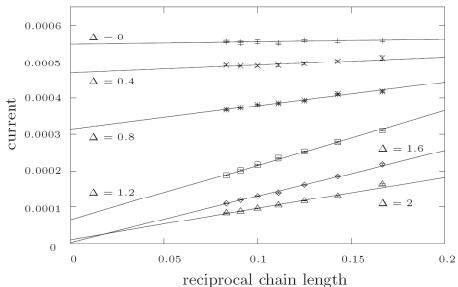
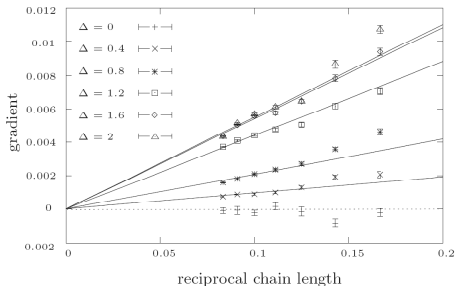
(M. Michel, O. Hess, H. Wichterich, J.G.,  
Phys. Rev. B, (2008))



$$\hat{H} = \sum_{\mu} B \hat{\sigma}_{\mu}^z + J(\hat{\sigma}_{\mu}^x \hat{\sigma}_{\mu+1}^x + \hat{\sigma}_{\mu}^y \hat{\sigma}_{\mu+1}^y + \Delta \hat{\sigma}_{\mu}^z \hat{\sigma}_{\mu+1}^z)$$

-  $j(\text{Wärme}) = Bj(\text{Magnetisierung})$

-  $j(\text{Magnetisierung})$  teilweise erhalten?



## Thermal conductivity of single-walled carbon nanotubes

J. Hone, M. Whitney, C. Piskoti, and A. Zettl

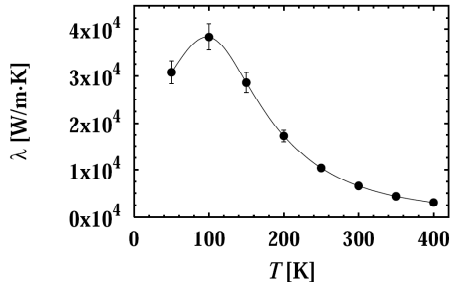
*Department of Physics, University of California at Berkeley, Berkeley, California 94720*

## Unusually High Thermal Conductivity of Carbon Nanotubes

Savas Berber, Young Kyun Kwon,\* and David Tománek

*Department of Physics and Astronomy, and Center for Fundamental Materials Research, Michigan State University.*

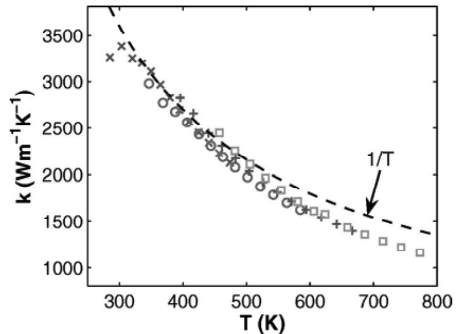
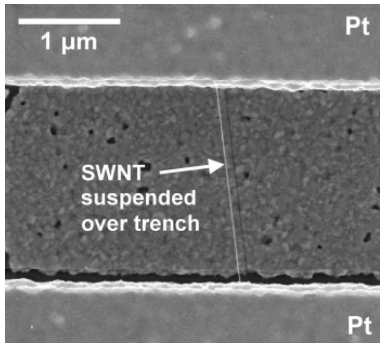
Hone et al. messen an "Matten" aus Nanotubes ein Wärmeleitfähigkeit von  $35 \text{ W/mK}$ . Sie schließen durch einen "geeigneten Faktor" auf  $\approx 5800 \text{ W/mK}$  für einzelne tubes.





## Thermal Conductance of an Individual Single-Wall Carbon Nanotube above Room Temperature

Eric Pop,<sup>†,‡</sup> David Mann,<sup>†</sup> Qian Wang,<sup>†</sup> Kenneth Goodson,<sup>‡</sup> and Hongjie Dai<sup>\*,†</sup>



Mein Dank gilt außerdem:

allen (ehemaligen) Mitgliedern der Arbeitsgruppe QT, insbesondere  
Dr. C. Bartsch, Dr. M. Kadiroglu und BSc. H. Niemeyer,

allen lehrenden Kollegen, insbesondere  
Prof. Dr. K. Bärwinkel, Prof. Dr. H.-J. Schmidt,  
Prof. Dr. M. Imlau,  
Prof. Dr. H.-J. Steinhoff, Prof. Dr. M. Rohlfing,  
Prof. Dr. R. Berger und der Arbeitsgruppe Didaktik,  
Prof. Dr. G. Borstel,

dem gesamten Sekretariat, insbesondere  
S. Guthoff, K. Ostendorf,

dem Präsidium, insbesondere Prof. Dr. M.-B. Kallenrode  
und H. Schmid.

Das Buffet ist eröffnet! Bitte Essen und Trinken Sie ohne auf mich zu warten!

## Projection operator approach to lifetimes of electrons in metals

Mehmet Kadiroğlu\* and Jochen Gemmer†

*Department of Physics, University of Osnabrück, D-49069 Osnabrück, Germany*

