

Magnetische Kühlschränke für tiefste Temperaturen

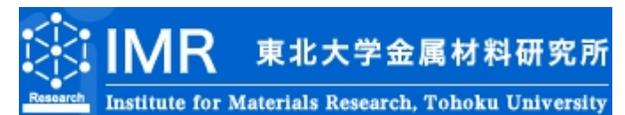
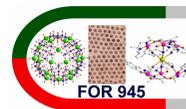
Jürgen Schnack

Fakultät für Physik – Universität Bielefeld

<http://obelix.physik.uni-bielefeld.de/~schnack/>

Herbstakademie, Physik, Universität Bielefeld

5./6./7. Oktober 2011

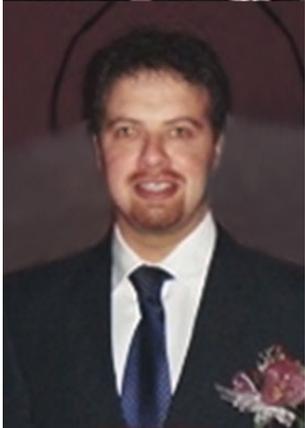


Bevor wir zu den wichtigen
Dingen kommen,
erst einmal die aktuellen
Nobelpreise.



Magnetische Moleküle Magnetische Moleküle Ma-
gnetische Moleküle Magnetische Moleküle Magneti-
sche Moleküle Magnetische Moleküle Magnetische
Moleküle Magnetische Moleküle Magnetische Mo-
leküle Magnetische Moleküle Magnetische Moleküle
Magnetische Moleküle Magnetische Moleküle Ma-
gnetische Moleküle Magnetische Moleküle Magneti-
sche Moleküle Magnetische Moleküle Magnetische
Moleküle Magnetische Moleküle Magnetische Mo-
leküle Magnetische Moleküle Magnetische Moleküle
Magnetische Moleküle Magnetische Moleküle Ma-
gnetische Moleküle Magnetische Moleküle Magneti-
sche Moleküle Magnetische Moleküle Magnetische
Moleküle Magnetische Moleküle Magnetische Mo-
leküle Magnetische Moleküle Magnetische Moleküle

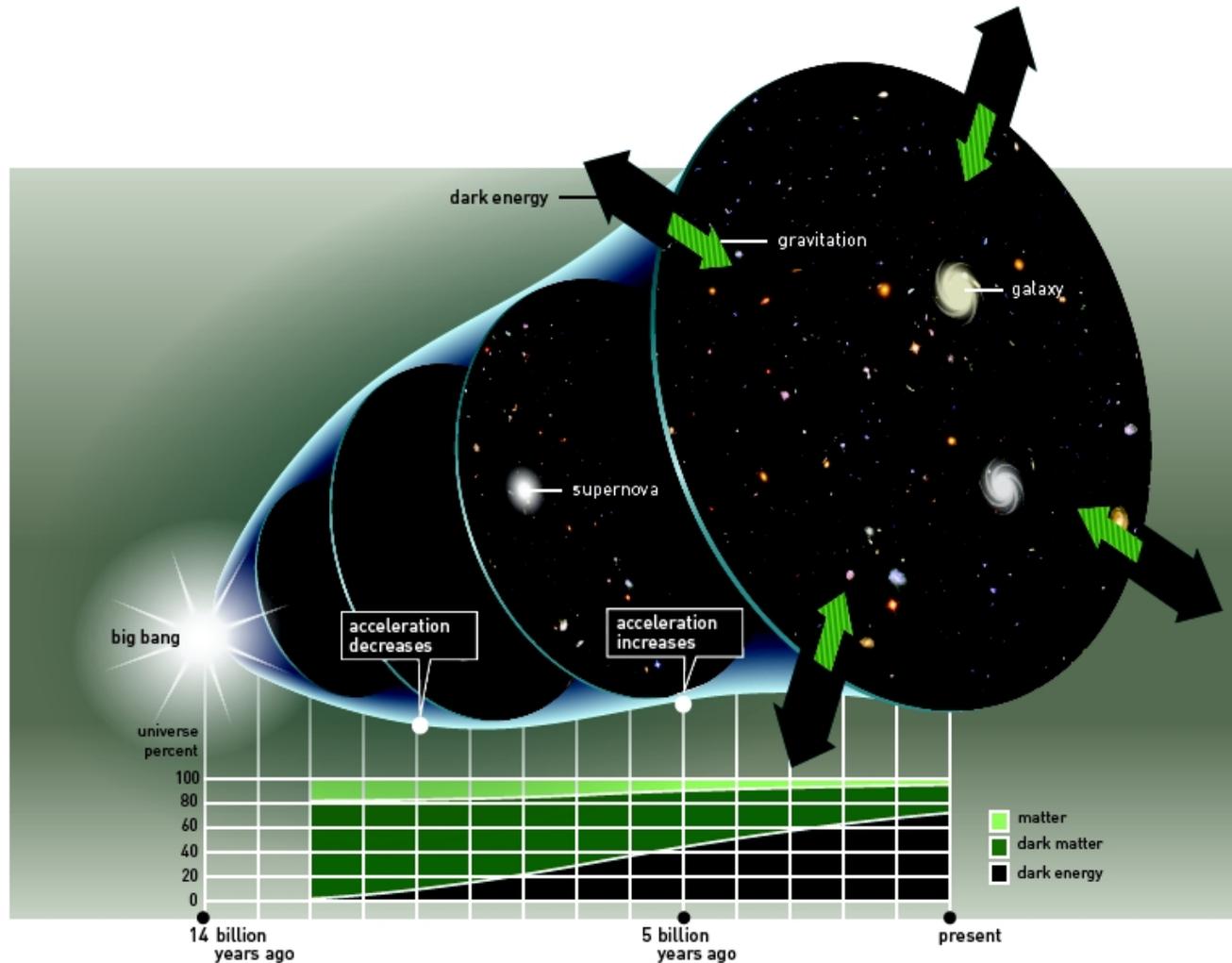
Nobelpreis Physik 2011



The Nobel Prize in Physics 2011 was awarded *for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae* with one half to Saul Perlmutter and the other half jointly to Brian P. Schmidt and Adam G. Riess.

- Saul Perlmutter, born 1959, now Champaign-Urbana, IL, USA; then Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA, University of California, Berkeley, CA, USA.
- Brian P. Schmidt, born 1967, now Missoula, MT, USA; then Australian National University, Weston Creek, Australia.
- Adam G. Riess, born 1969, Washington, DC, USA; then Johns Hopkins University, Baltimore, MD, USA, Space Telescope Science Institute, Baltimore, MD, USA.

Nobelpreis Physik 2011: Dunkle Energie



Quelle: The Nobel Prize in Physics 2011 - Popular Information. Nobelprize.org. 4 Oct 2011
http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2011/info.html

Nobelpreis Physik 2011: Entfernungsbestimmung

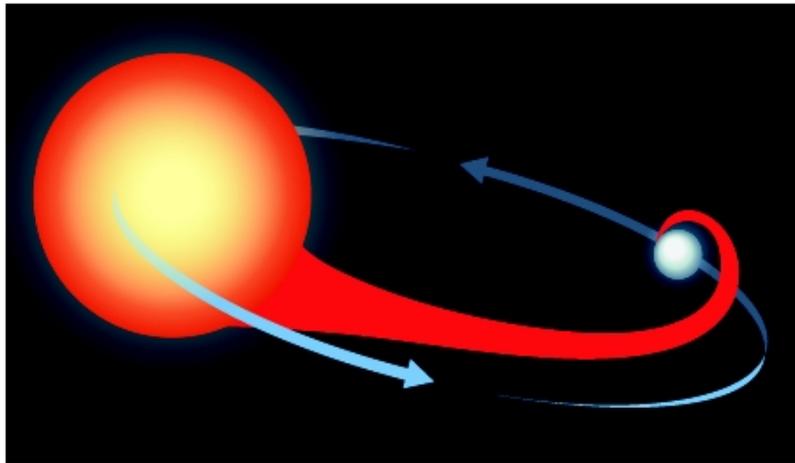
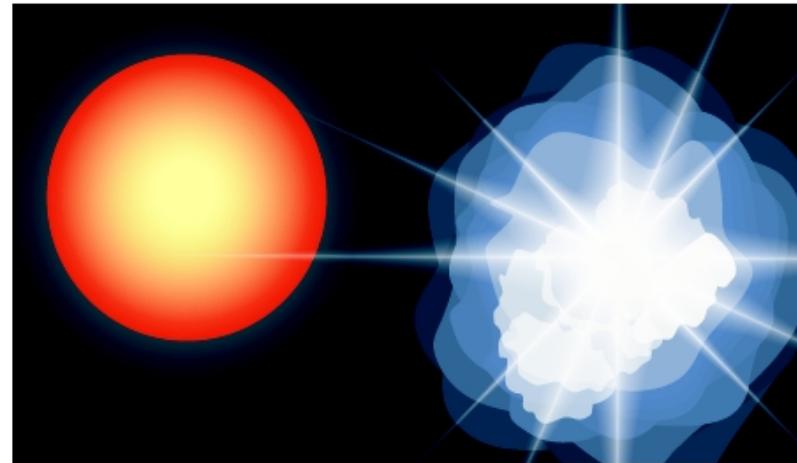


Figure 3. Supernova explosion. A white dwarf steals gas from its neighbour using its gravity.



When the white dwarf has grown to 1.4 solar masses, it explodes as a type Ia supernova.

Quelle: The Nobel Prize in Physics 2011 - Popular Information. Nobelprize.org. 4 Oct 2011
http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2011/info.html

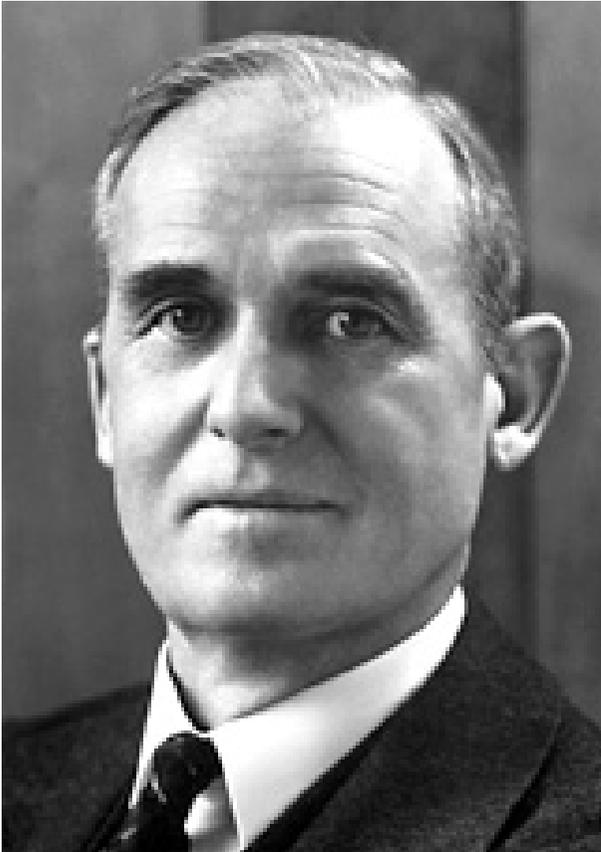
Jetzt also die wichtigen Dinge:
Kühlen mit magnetischen
Molekülen.

Magnetisches Kühlen?



- Kühlschränke, na klar.
- Magnetisches Kühlen?
- Kühlen mit Molekülen?
- Was bringt das?

Magnetisches Kühlen: Nobelpreis 1949



The Nobel Prize in Chemistry 1949 was awarded to William F. Giauque *for his contributions in the field of chemical thermodynamics, particularly concerning the behaviour of substances at extremely low temperatures.*

Magnetisches Kühlen: Geschichte

768

LETTERS TO THE EDITOR

Attainment of Temperatures Below 1° Absolute by Demagnetization of $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

We have recently carried out some preliminary experiments on the adiabatic demagnetization of $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ at the temperatures of liquid helium. As previously predicted by one of us, a large fractional lowering of the absolute temperature was obtained.

An iron-free solenoid producing a field of about 8000 gauss was used for all the measurements. The amount of $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ was 61 g. The observations were checked by many repetitions of the cooling. The temperatures were measured by means of the inductance of a coil surrounding the gadolinium sulfate. The coil was immersed in liquid helium and isolated from the gadolinium by means of an evacuated space. The thermometer was in excellent agreement with the temperature of liquid helium as indicated by its vapor pressure down to 1.5°K.

On March 19, starting at a temperature of about 3.4°K, the material cooled to 0.53°K. On April 8, starting at about 2°, a temperature of 0.34°K was reached. On April 9, starting at about 1.5°, a temperature of 0.25°K was attained.

It is apparent that it will be possible to obtain much lower temperatures, especially when successive demagnetizations are utilized.

W. F. GIAUQUE
D. P. MACDOUGALL

Department of Chemistry,
University of California,
Berkeley, California,
April 12, 1933.

W. F. Giauque and D. MacDougall, Phys. Rev. **43**, 768 (1933).

Wie funktioniert der Magnetokalorische Effekt?

Für Dummies: Rolle der Temperatur

Temperatur
=
Wackeln*

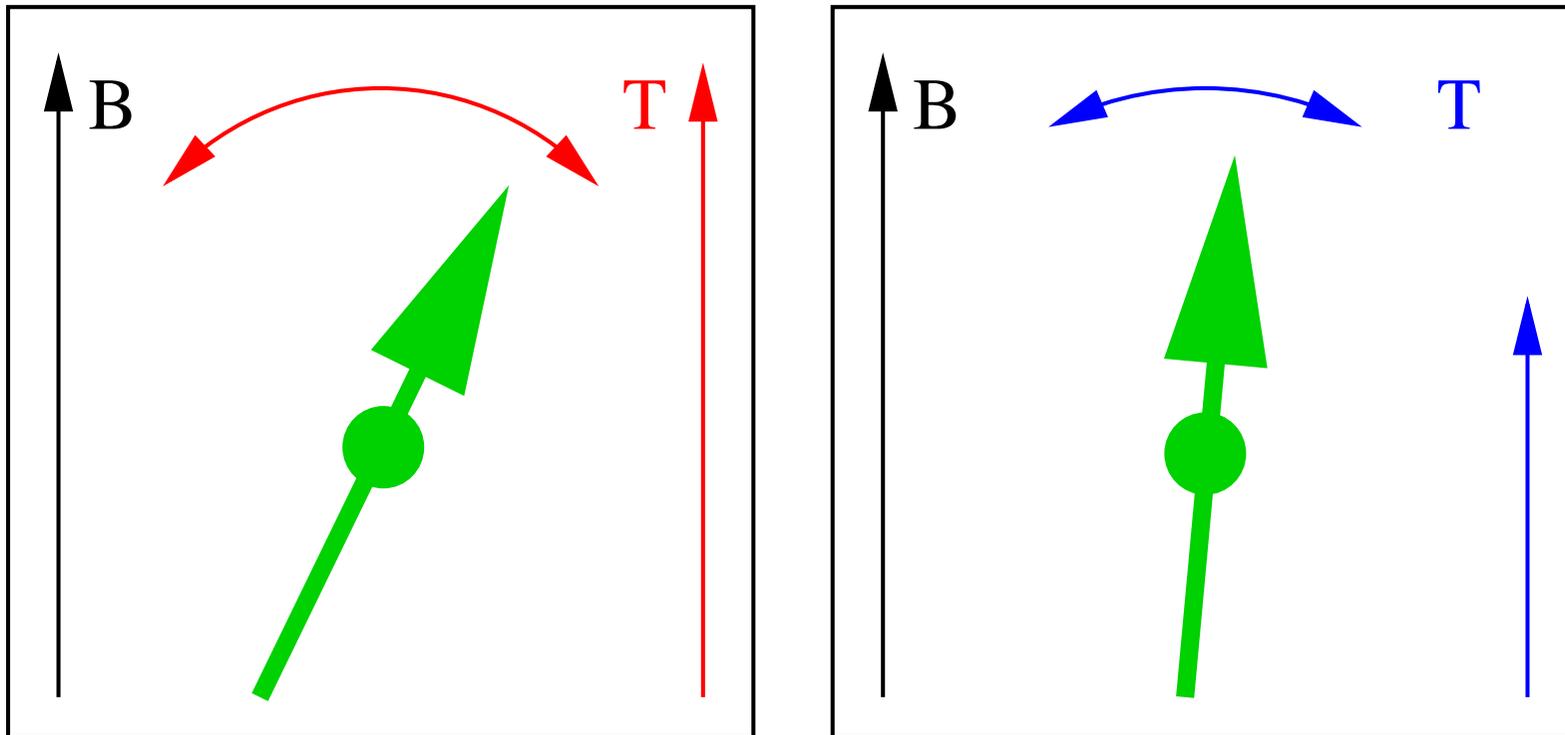
*Wackeln = Unordnung

Für Dummies: Rolle des Magnetfeldes

Magnetfeld
=
Ausrichten*

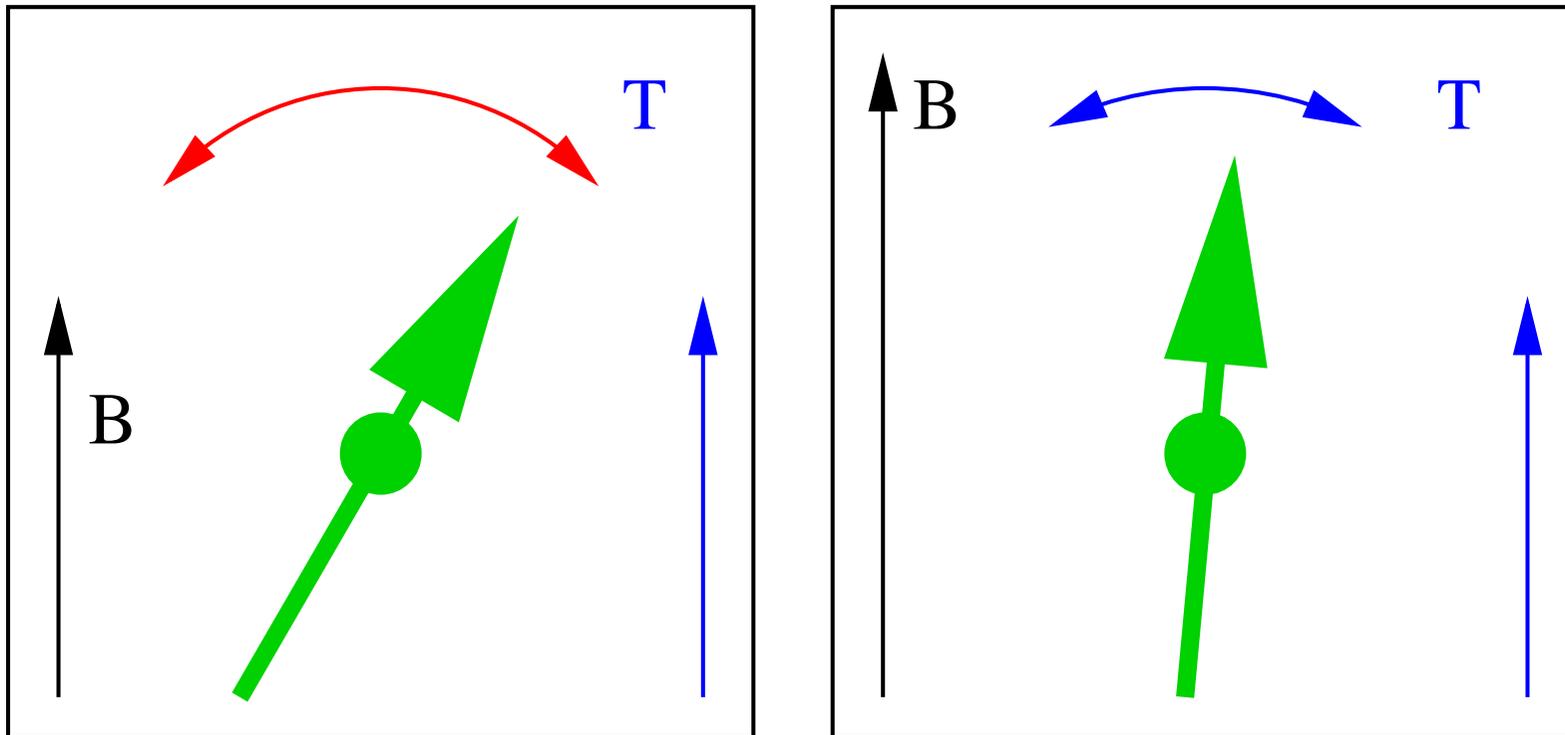
*Ausrichten = Antiwackeln = Ordnung

Einfluss von Temperatur und Magnetfeld



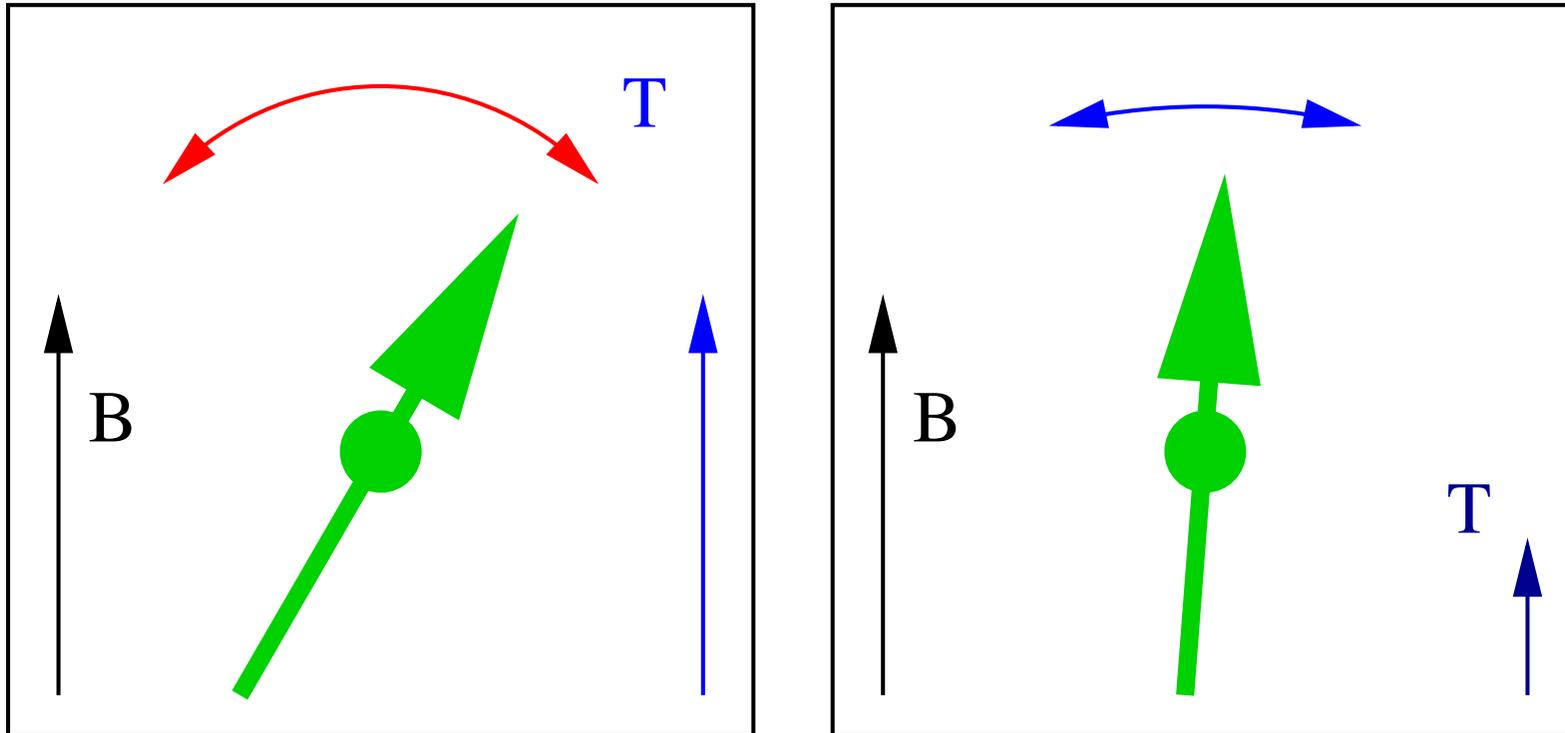
tieferer Temperatur = weniger Wackeln = stärkere Ausrichtung

Einfluss von Temperatur und Magnetfeld



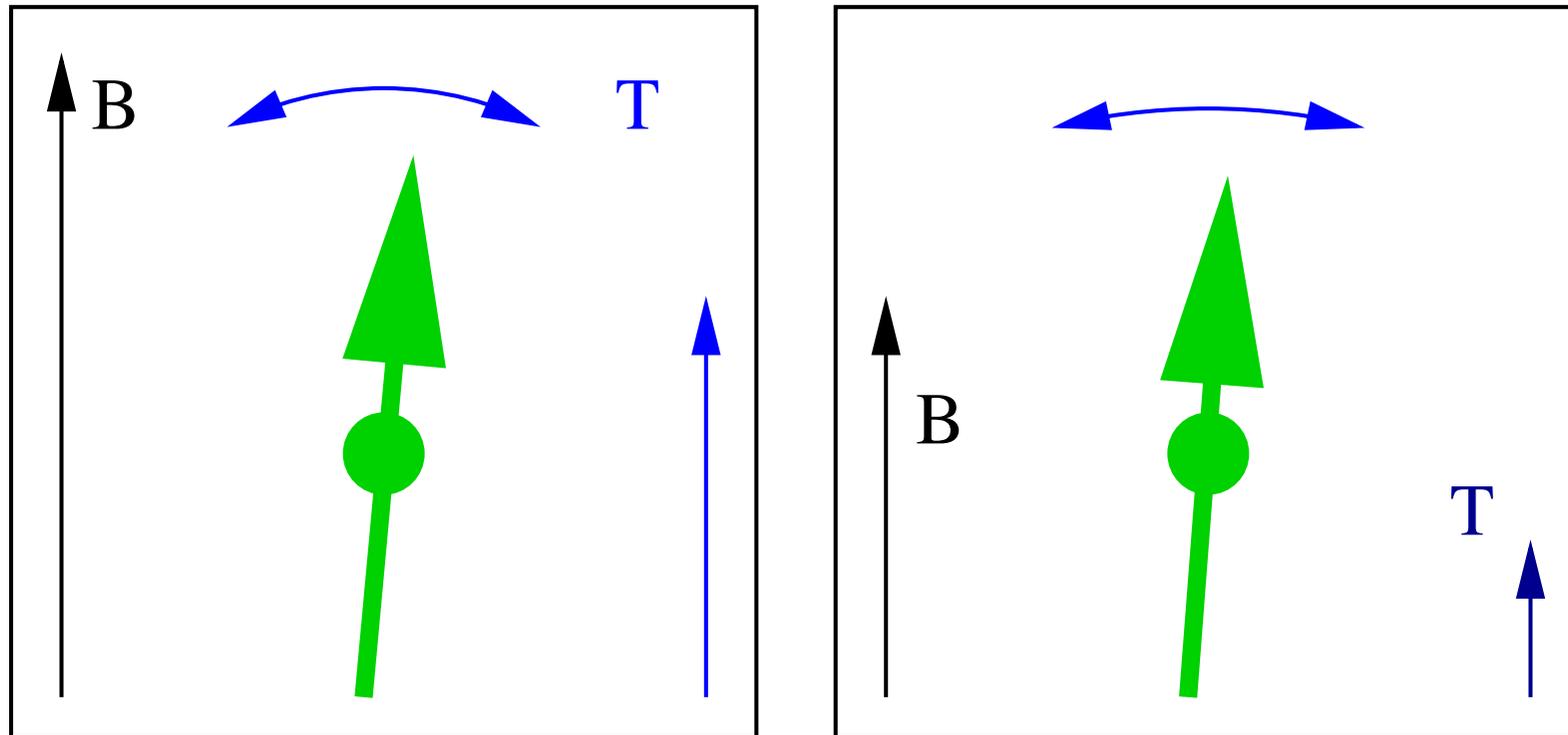
höheres Feld = weniger Wackeln = stärkere Ausrichtung

Einfluss von Temperatur und Magnetfeld



weniger Wackeln bei niedrigem Feld = noch niedrigere Temperatur

Einfluss von Temperatur und Magnetfeld



Ausschalten des Magnetfeldes bei gleich bleibendem Wackeln (Ordnung) führt zu einer Temperaturerniedrigung.

Jetzt muss ich Ihnen aber noch
ein paar Formeln zeigen,
sonst denken Sie noch, wir
machten keine seriösen Sachen!

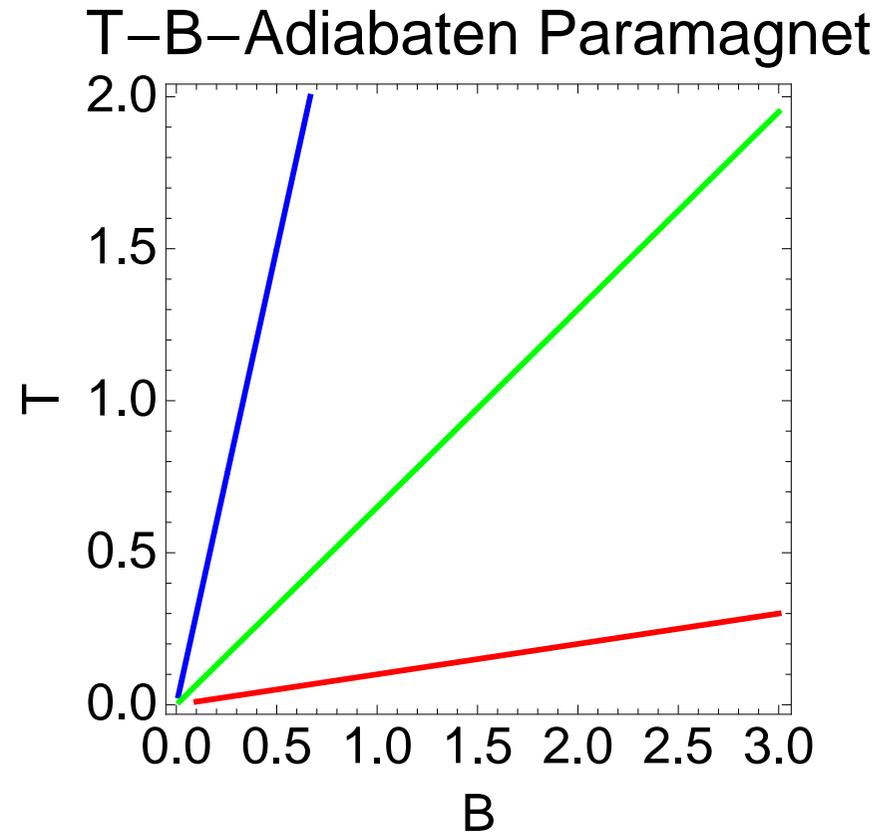
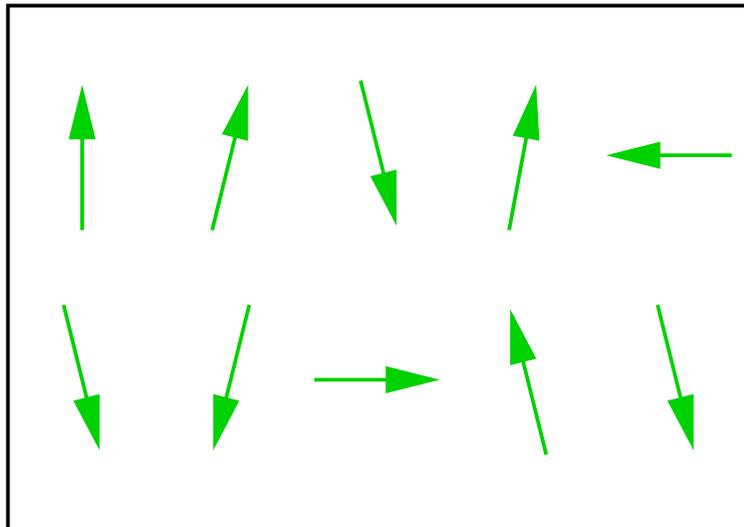
Der magnetokalorische Effekt: Grundlagen

$$\left(\frac{\partial T}{\partial B}\right)_S = -\frac{T}{C} \left(\frac{\partial S}{\partial B}\right)_T$$

(adiabatische Temperaturänderung)

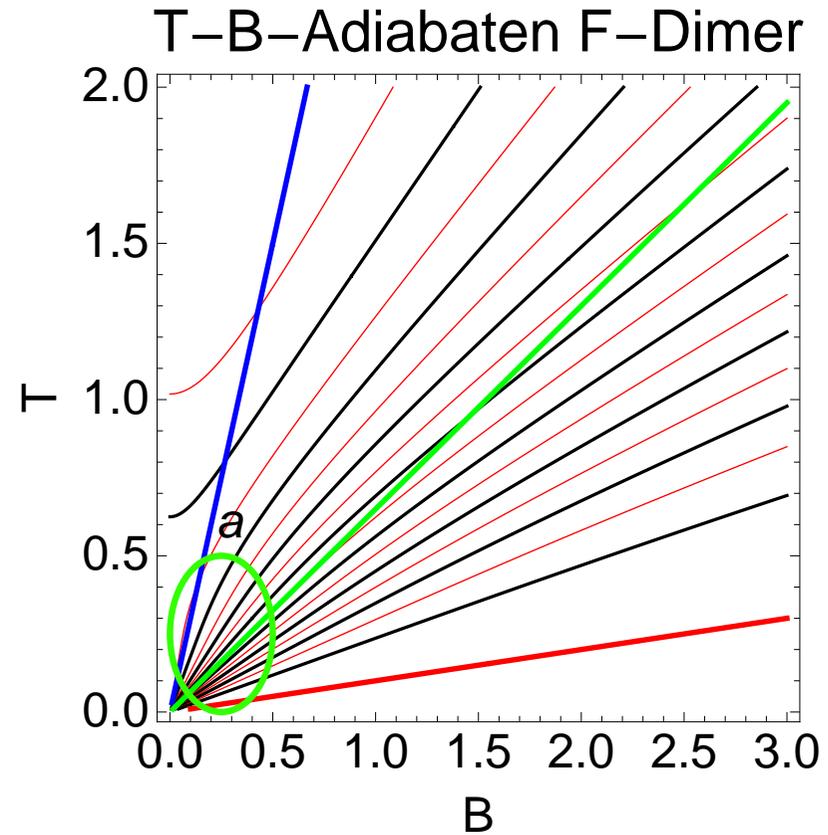
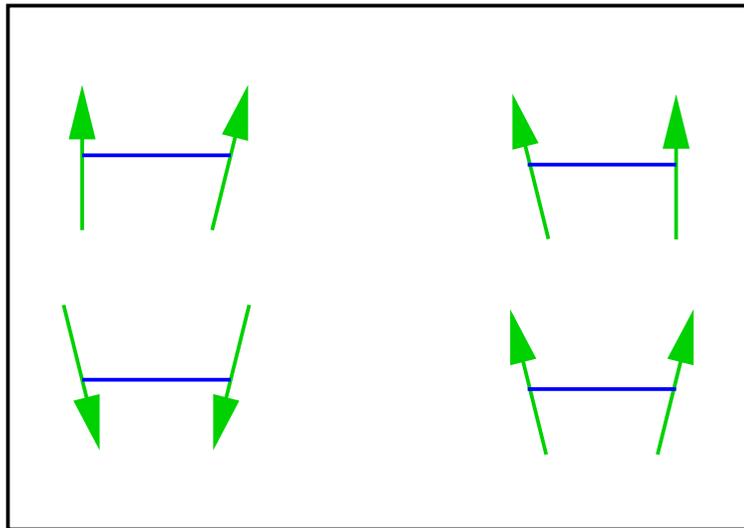
- Erwärmen oder Abkühlen einer magnetischen Substanz im veränderlichen Magnetfeld. 1881 durch E. Warburg in reinem Eisen entdeckt.
- Typisch: 0.5 ... 2 K/T; gigantisch: 3 ... 4 K/T.
- Ordnung = Entropie S ; Temperatur T ; magnetische Induktion B ; Wärmekapazität C .
- Adiabatisch heißt, dass $S = \text{const.}$, d.h. die Ordnung (Wackeln!) bleibt gleich. Das ist der Fall, wenn bei dem Prozess keine Wärme mit der Umgebung ausgetauscht wird, z.B. wenn das Magnetfeld schnell abgeschaltet wird.

Der magnetokalorische Effekt bei Paramagneten



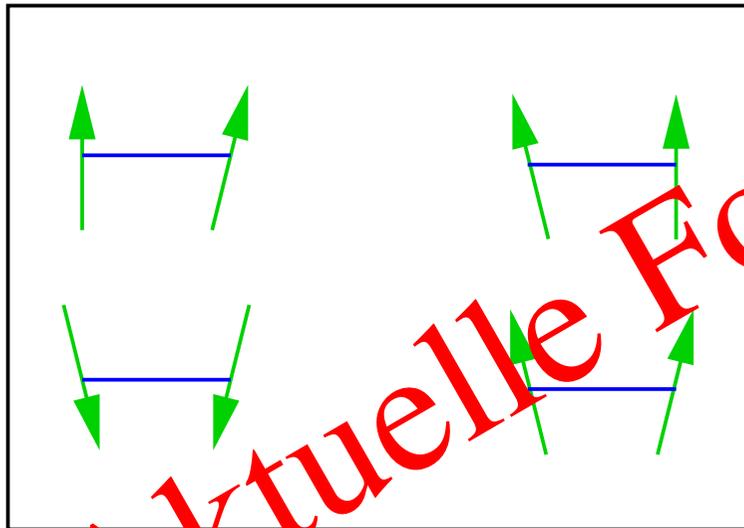
- Paramagnet: $S(T, B) = f(T/B) \Rightarrow$ Adiabaten sind Geraden durch den Ursprung.

Der magnetokalorische Effekt bei ferromagnetischen Dimeren

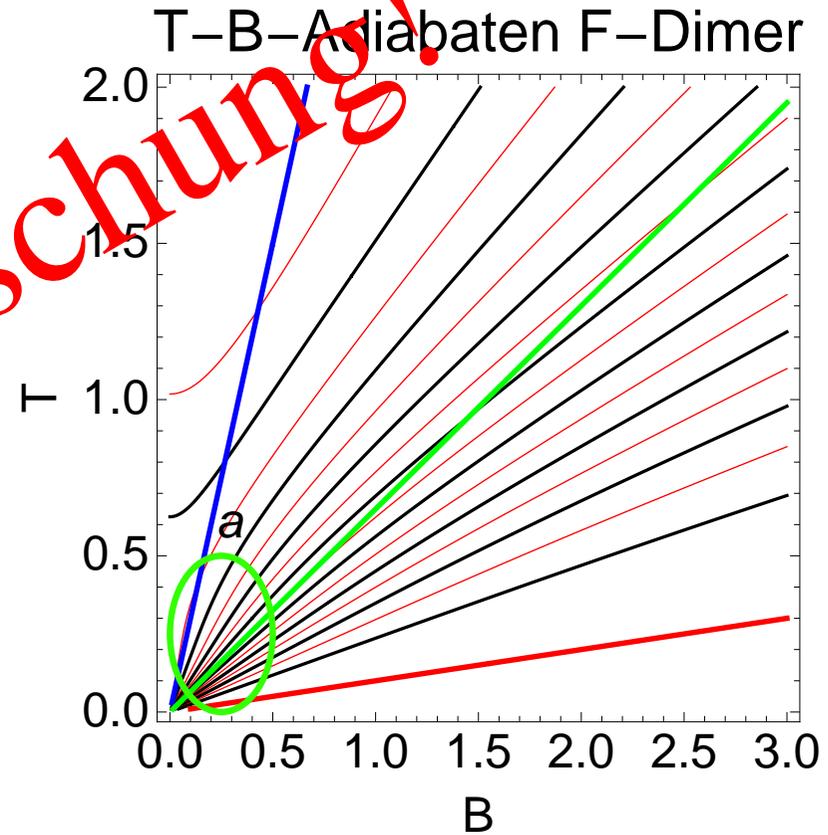


- Die ferromagnetische Wechselwirkung kann den Anstieg bei $B = 0$ vergrößern.

Der magnetokalorische Effekt bei ferromagnetischen Dimeren

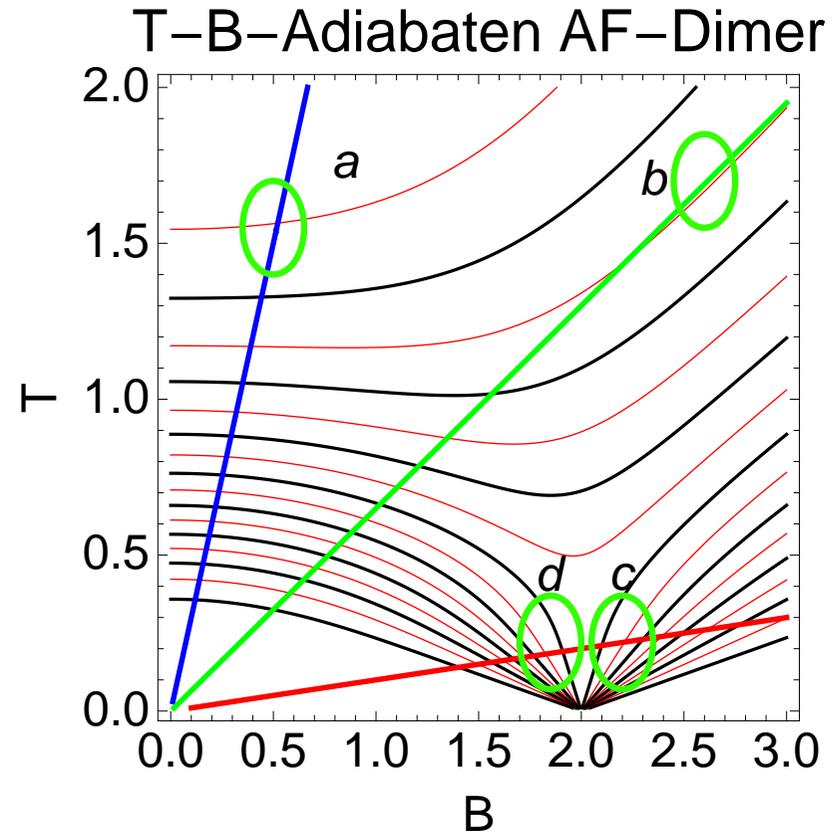
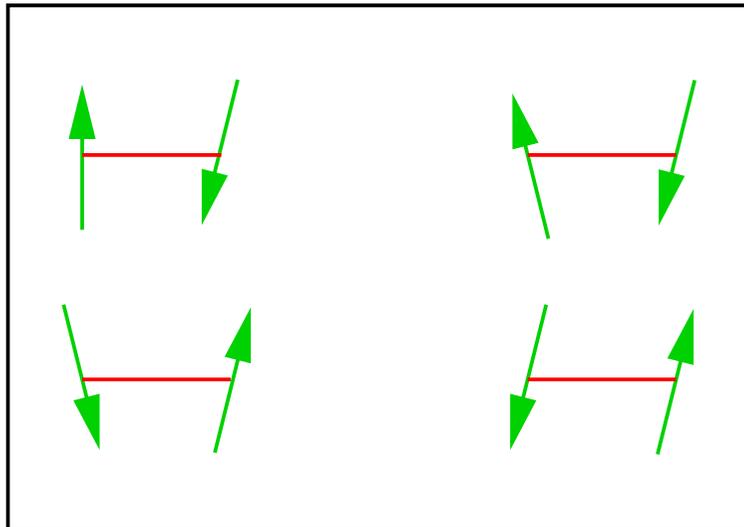


Aktuelle Forschung!



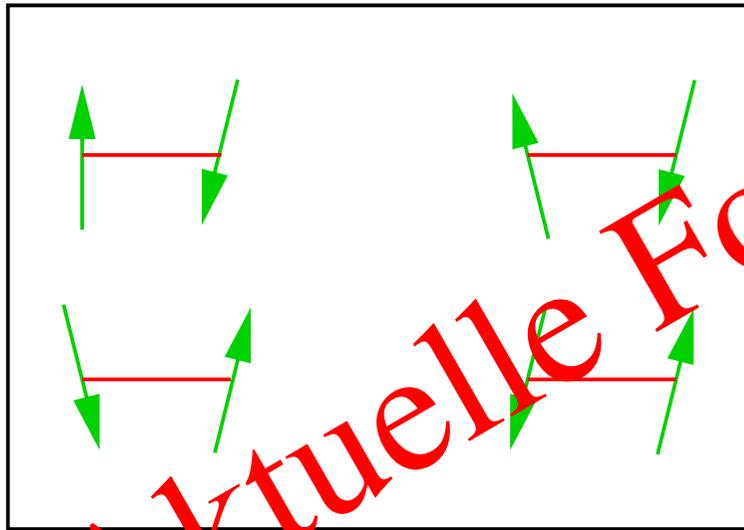
- Die ferromagnetische Wechselwirkung kann den Anstieg bei $B = 0$ vergrößern.

Der magnetokalorische Effekt bei antiferromagnetischen Dimeren

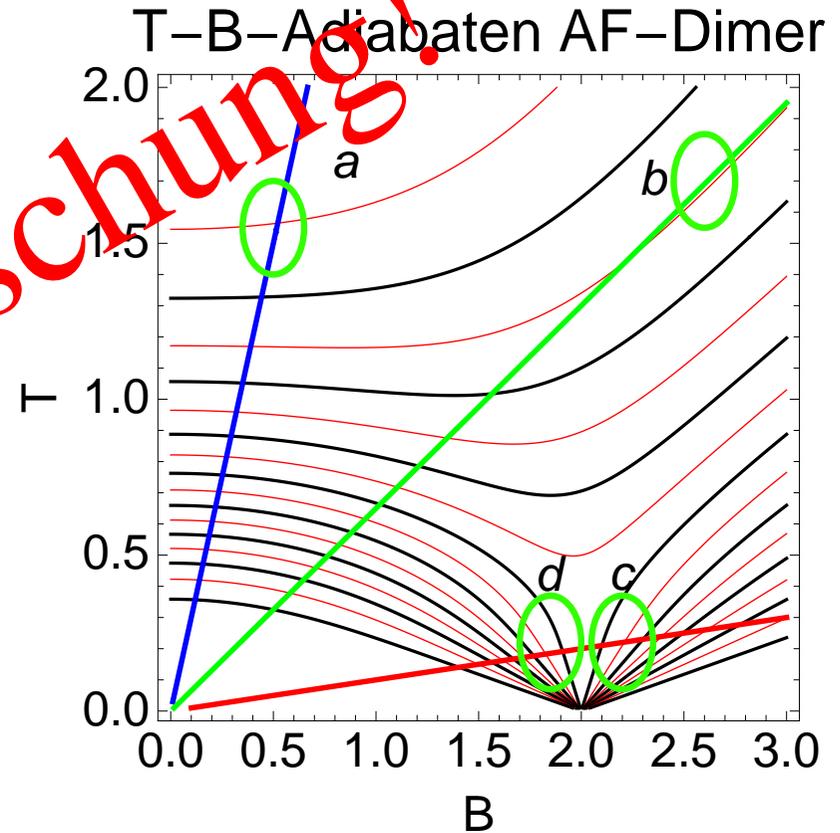


- Die antiferromagnetische Wechselwirkung führt zu hohen Kühlraten bei Feldern $B \neq 0$.

Der magnetokalorische Effekt bei antiferromagnetischen Dimeren

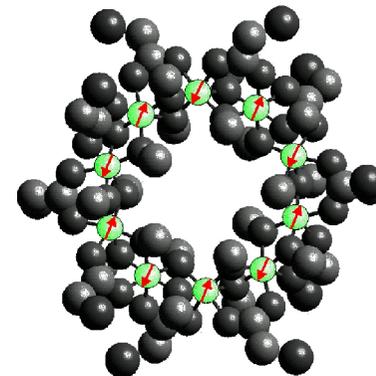
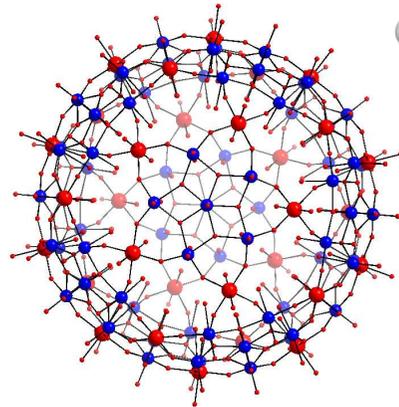
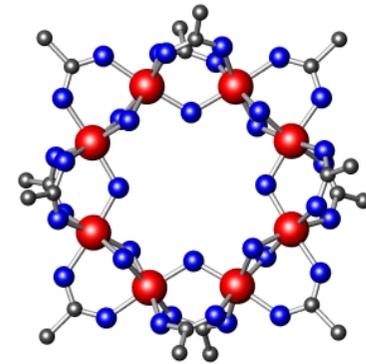
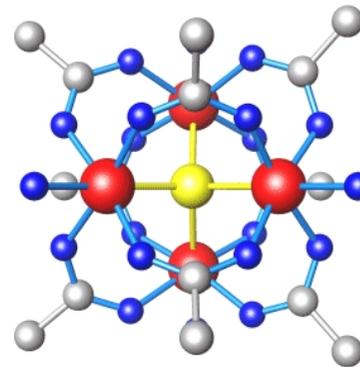
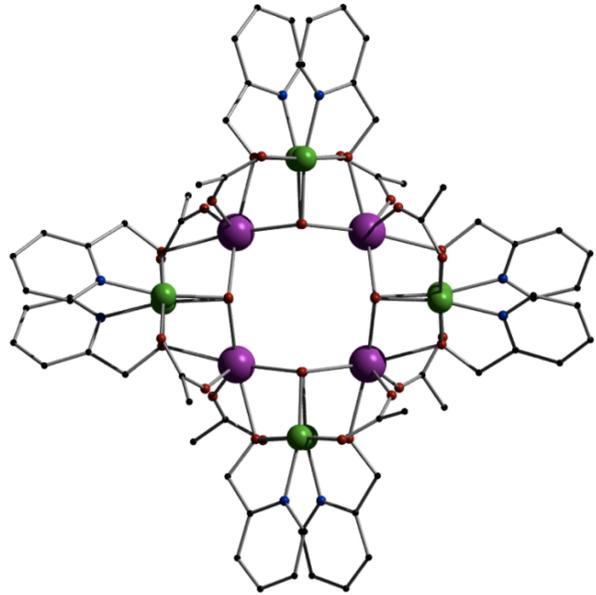


Aktuelle Forschung!



- Die antiferromagnetische Wechselwirkung führt zu hohen Kühlraten bei Feldern $B \neq 0$.

Wir untersuchen magnetische Moleküle auf ihre magnetokalorischen Eigenschaften ...

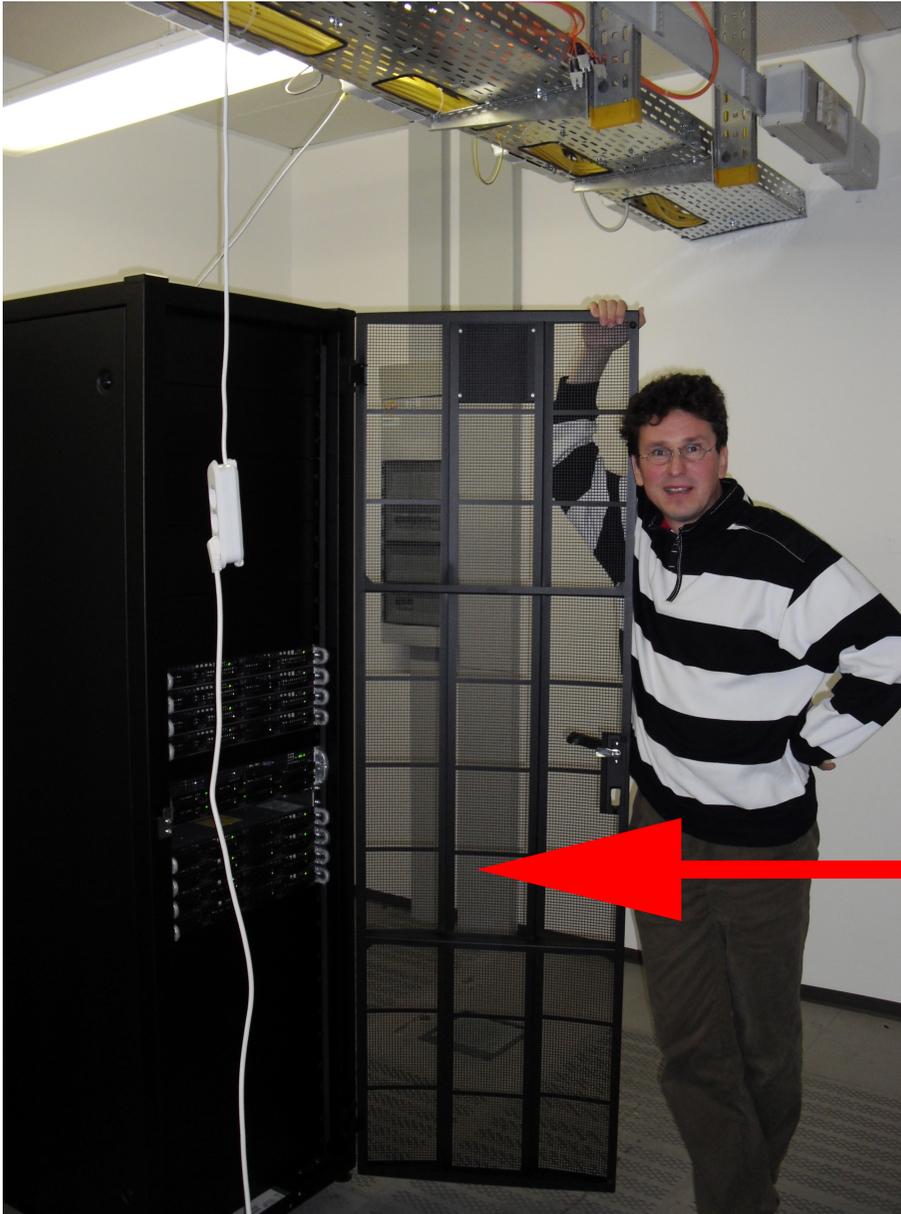


... mit mächtigen Computern



128 cores, 384 GB RAM

... mit mächtigen Computern



Quantenmechanik: 4. Semester

Thermodynamik: 5. Semester

Sie dürfen auf diesem Computer spielen: > 8. Semester

128 cores, 384 GB RAM

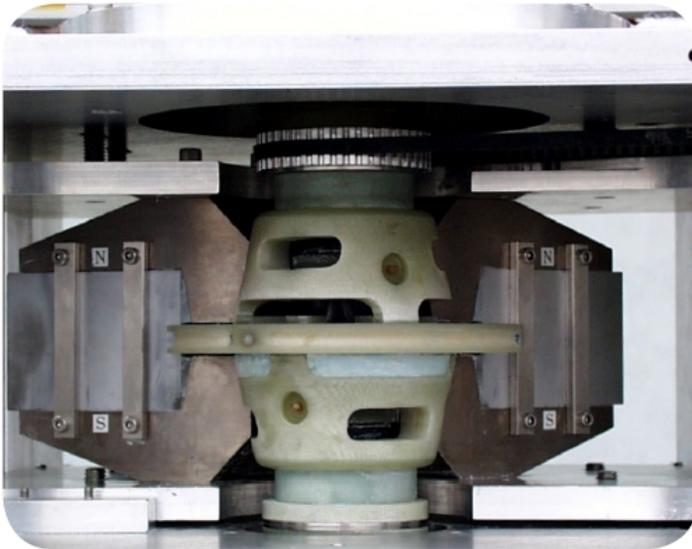
Manchmal reicht das nicht!

Manchmal muss es einfach die ganz große Lösung sein!



Supercomputer HLRB II am Leibniz-Rechenzentrum in Garching:
SGI Altix 4700, 9.728 Intel Itanium Montecito cores,
peak performance mehr als 62 TFLOPS, 39 TByte RAM

Magnetische Kühlschränke



A rotating magnetic refrigerator developed by Astronautics Corporation of America Ltd. in collaboration with the Ames Laboratory.

- Es gibt auch schon magnetische Kühlschränke für normale Anwendungen, d.h. bei Raumtemperatur.
- Vorteile: weniger Energie, keine potentiell schädlichen Kühlmittel.
- Anwendungen u.A. in der Raumfahrt möglich.

Karl A. Gschneidner, Jr. & V. K. Pecharsky, Ames Lab, Ames, Iowa, USA

Unsere Partner weltweit

- T. Englisch, T. Glaser, M. Höck, N.B. Ivanov, S. Leiding, A. Müller, S. Ratnabala, R. Schnalle, Chr. Schröder, J. Ummethum, O. Wendland (Bielefeld)
- K. Bärwinkel, H.-J. Schmidt, M. Neumann (Osnabrück)
- M. Luban (Ames Lab, USA); P. Kögerler (Aachen, Jülich, Ames); R.E.P. Winpen-ny, E.J.L. McInnes (Man U, UK); L. Cronin, M. Murrie (Glasgow, UK); E. Brechin (Edinburgh, UK); H. Nojiri (Sendai, Japan); A. Postnikov (Metz, France)
- J. Richter, J. Schulenburg (Magdeburg); A. Honecker (Göttingen); U. Kortz (Bre-
men); A. Tennant, B. Lake (HMI Berlin); B. Büchner, V. Kataev, H.-H. Klauß (Dres-
den); P. Chaudhuri (Mühlheim); J. Wosnitza (Dresden-Rossendorf); J. van Slage-
ren (Stuttgart); R. Klingeler (Heidelberg); O. Waldmann (Freiburg)

Und Ihnen allen:
Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

(Sie haben's geschafft!)

Molecular Magnetism Web

www.molmag.de

Highlights. Tutorials. Who is who. Conferences.