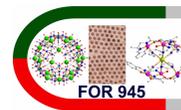


# Von mamu bis emu: mein magnetisches Leben mit Klaus Bärwinkel

Jürgen Schnack

Fakultät für Physik – Universität Bielefeld  
<http://obelix.physik.uni-bielefeld.de/~schnack/>

Festkolloquium, 16. März 2010



# Klaus Bärwinkel

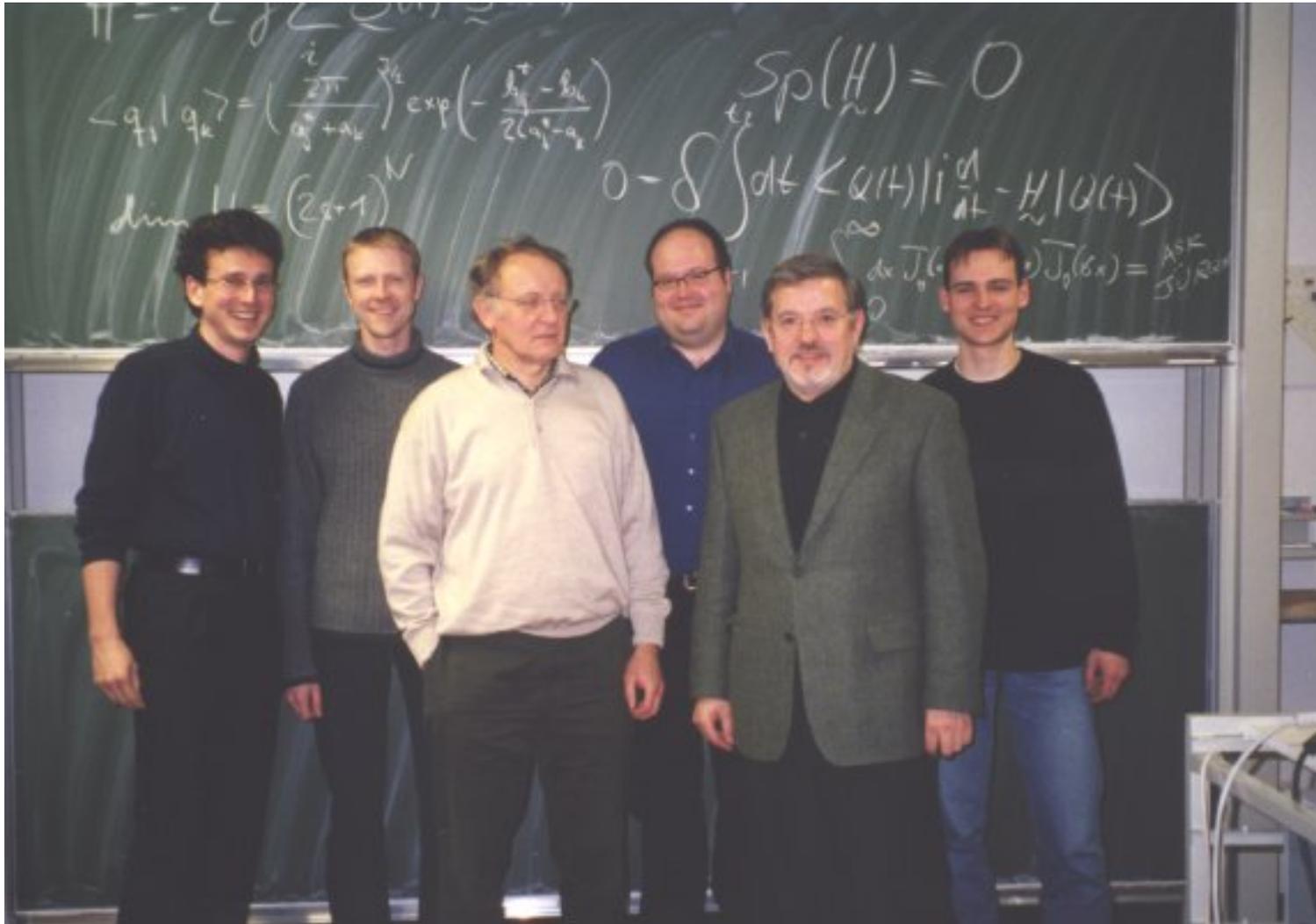


1. **Forscher und Kollege**
2. **Hochschullehrer**
3. **Mentor und Freund**

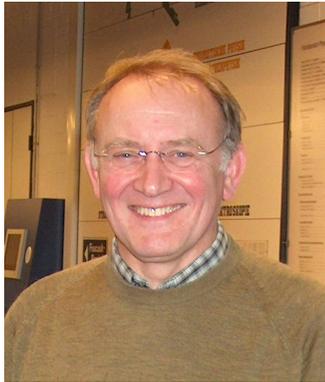
# Forscher und Kollege

## Die Wissenschaft

# Arbeitsgruppe im November 2001



# What happens if people coming from



transport theory



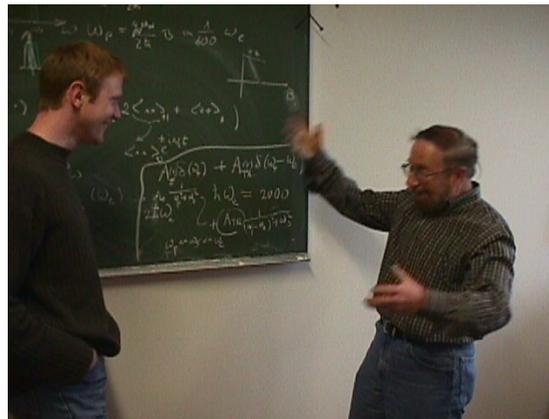
general relativity



nuclear physics



Schottky diodes



are triggered by a “magnetic” enthusiast?

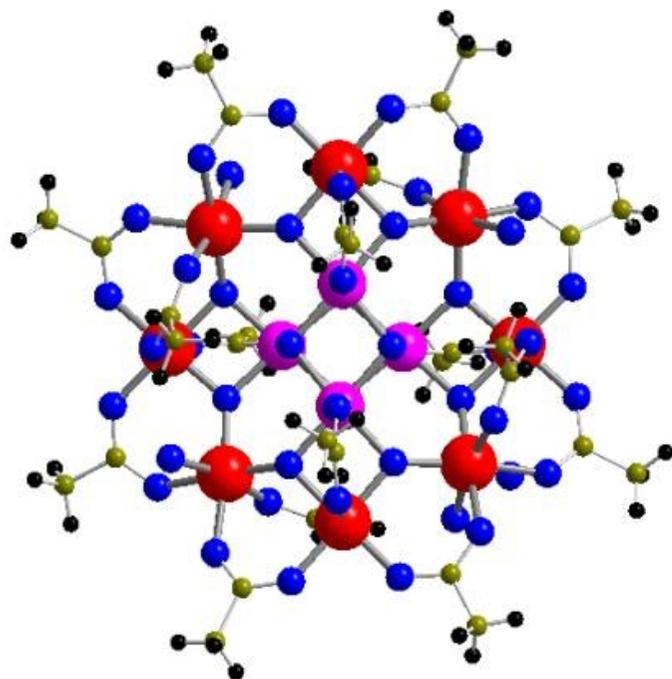
# mamu

It suffices to consider  $M = \frac{1}{2}$ .  
 $\mathcal{H}(\frac{1}{2})$  contains the maximally alternating  
 and minimally undulating product  
 state, the "mamu state"

$$|\varphi_0\rangle =: |++ \ -+ \ - \ \dots \ +- \rangle$$

which generates the corresponding  $N$ -dimensional  
 mamu cycle.

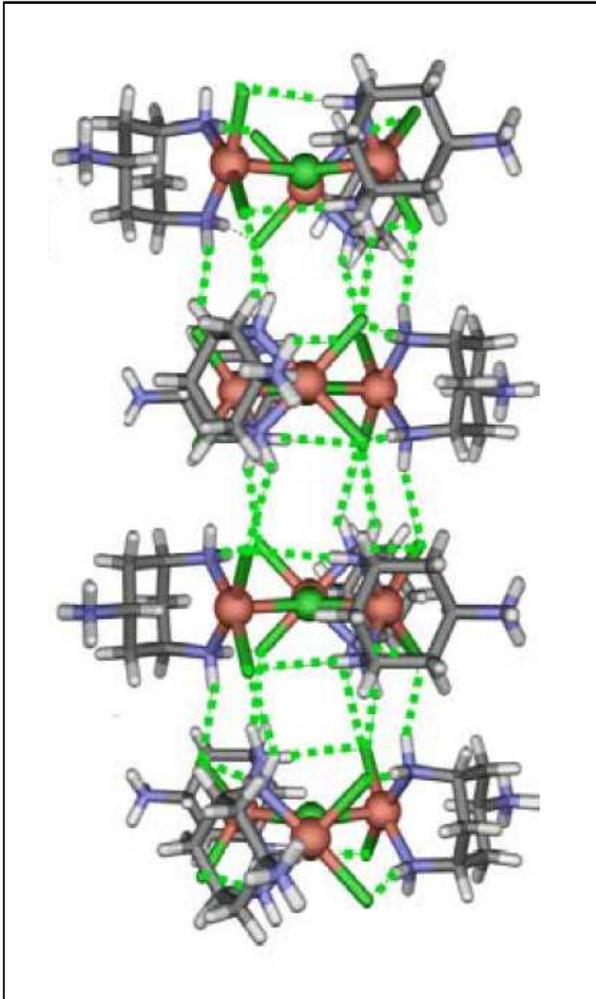
# The beauty of magnetic molecules I



$\text{Mn}_{12}$

- Inorganic or organic macro molecules, where paramagnetic ions such as Iron (Fe), Chromium (Cr), Copper (Cu), Nickel (Ni), Vanadium (V), Manganese (Mn), or rare earth ions are embedded in a host matrix;
- Pure organic magnetic molecules: magnetic coupling between high spin units (e.g. free radicals);
- Speculative applications: magnetic storage devices, magnets in biological systems, light-induced nano switches, displays, catalysts, transparent magnets, qubits for quantum computers.

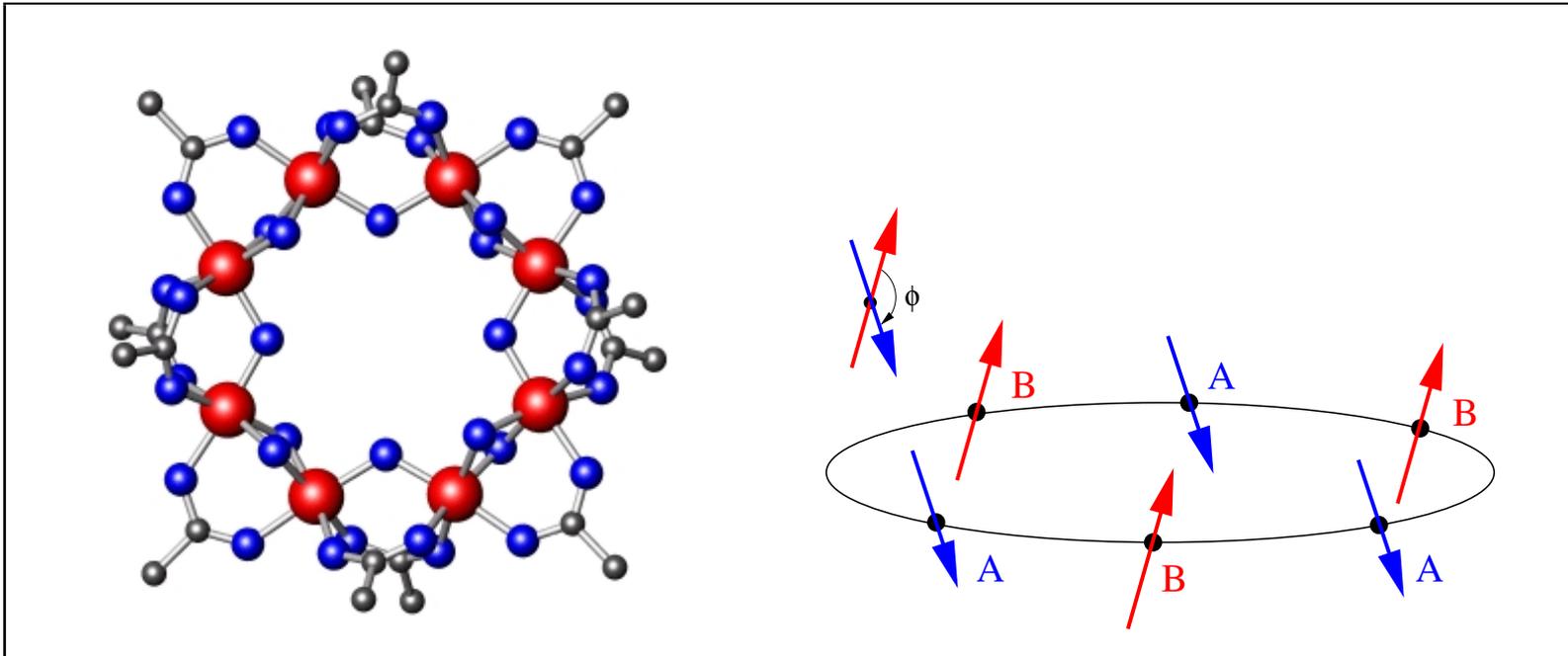
## The beauty of magnetic molecules II



- Dimers ( $\text{Fe}_2$ ), tetrahedra ( $\text{Cr}_4$ ), cubes ( $\text{Cr}_8$ );
- Rings, especially iron and chromium rings
- Complex structures ( $\text{Mn}_{12}$ ) – drosophila of molecular magnetism;
- “Soccer balls”, more precisely icosidodecahedra ( $\text{Fe}_{30}$ ) and other macro molecules;
- Chain like and planar structures of interlinked magnetic molecules, e.g. triangular Cu chain:

J. Schnack, H. Nojiri, P. Kögerler, G. J. T. Cooper, L. Cronin, Phys. Rev. B 70, 174420 (2004); Sato, Sakai, Läuchli, Mila, ...

# Magnetische Moleküle

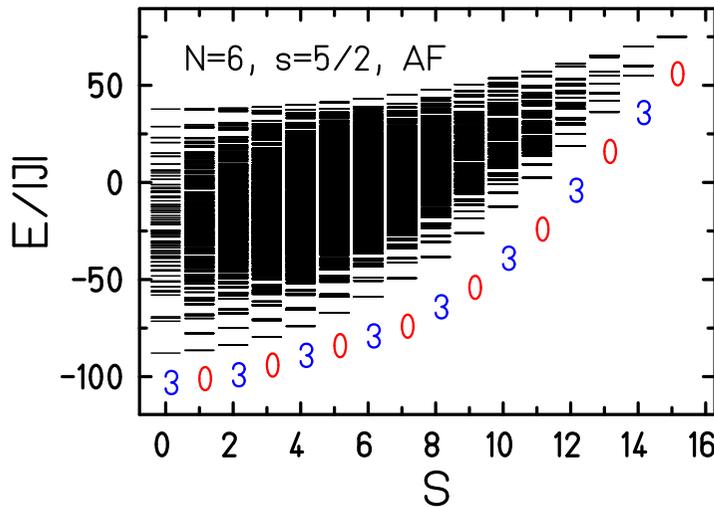


- Heisenberg-Modell (1):  $\underline{H} = - \sum_{i,j} J_{ij} \underline{\tilde{s}}(i) \cdot \underline{\tilde{s}}(j);$
- Ein bisschen Ignoranz schadet manchmal nicht (2).

(1) W. Heisenberg, Z. f. Phys. **49**, 619 (1928)

(2) K. Bärwinkel, H.-J. Schmidt, and J. Schnack, J. Magn. Magn. Mater. **212**, 240 (2000)

# Marshall-Peierls sign rule for even rings



- Expanding the ground state in  $\mathcal{H}(M)$  in the product basis yields a sign rule for the coefficients

$$|\Psi_0\rangle = \sum_{\vec{m}} c(\vec{m}) |\vec{m}\rangle \quad \text{with} \quad \sum_{i=1}^N m_i = M$$

$$c(\vec{m}) = (-1)^{\left(\frac{Ns}{2} - \sum_{i=1}^{N/2} m_{2i}\right)} a(\vec{m})$$

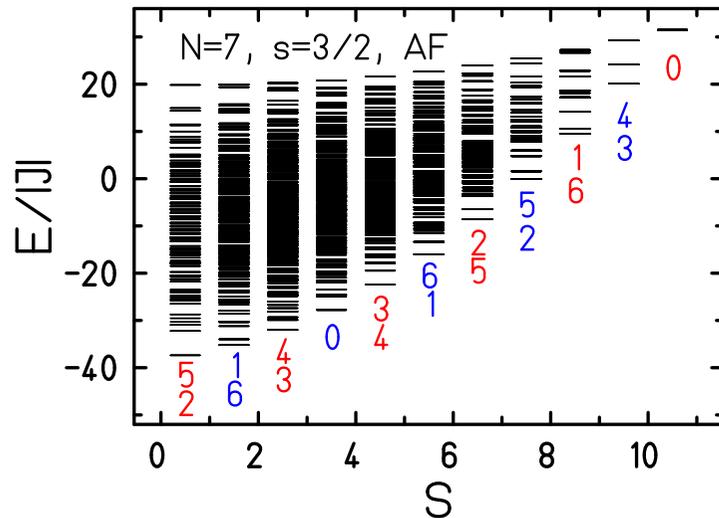
All  $a(\mathbf{m})$  are non-zero, real, and of equal sign.

- Yields eigenvalues for the shift operator  $\tilde{T}$ :

$$\exp\left\{-i\frac{2\pi k}{N}\right\} \quad \text{with} \quad k \equiv a\frac{N}{2} \pmod{N}, \quad a = Ns - M$$

(1) W. Marshall, Proc. Royal. Soc. A (London) **232**, 48 (1955)

# Numerical findings for odd rings



- For odd  $N$  and half integer  $s$ , i.e.  $s = 1/2, 3/2, 5/2, \dots$  we find that (1)
  - the ground state has total spin  $S = 1/2$ ;
  - the ground state energy is **fourfold degenerate**.

- Reason: In addition to the (trivial) degeneracy due to  $M = \pm 1/2$ , a degeneracy with respect to  $k$  appears (2):

$$k = \lfloor \frac{N+1}{4} \rfloor \text{ and } k = N - \lfloor \frac{N+1}{4} \rfloor$$

- For the first excited state similar rules could be numerically established (3).

(1) K. Bärwinkel, H.-J. Schmidt, J. Schnack, J. Magn. Magn. Mater. **220**, 227 (2000)

(2)  $\lfloor \cdot \rfloor$  largest integer, smaller or equal

(3) J. Schnack, Phys. Rev. B **62**, 14855 (2000)

# k-rule for odd rings

- An extended k-rule can be inferred from our numerical investigations which yields the  $k$  quantum number for relative ground states of subspaces  $\mathcal{H}(M)$  for even as well as odd spin rings, i.e. **for all rings** (1)

$$k \equiv \pm a \left\lceil \frac{N}{2} \right\rceil \pmod{N}, \quad a = Ns - M$$

$k$  is independent of  $s$  for a given  $N$  and  $a$ . The degeneracy is minimal ( $N \neq 3$ ).

$N$	$s$	$a$									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	1/2	0	4	$8 \equiv 0$	$12 \equiv 4$	$16 \equiv 0$	-	-	-	-	-
9	1/2	0	$5 \equiv 4$	$10 \equiv 1$	$15 \equiv 3$	$20 \equiv 2$	-	-	-	-	-
9	1	0	$5 \equiv 4$	$10 \equiv 1$	$15 \equiv 3$	$20 \equiv 2$	$25 \equiv 2$	$30 \equiv 3$	$35 \equiv 1$	$40 \equiv 4$	$45 \equiv 0$

**No general, but partial proof yet.**

(1) K. Bärwinkel, P. Hage, H.-J. Schmidt, and J. Schnack, Phys. Rev. B **68**, 054422 (2003)

# Mamu

PHYSICAL REVIEW B **68**, 054422 (2003)

## Quantum numbers for relative ground states of antiferromagnetic Heisenberg spin rings

Klaus Bärwinkel,<sup>\*</sup> Peter Hage,<sup>†</sup> Heinz-Jürgen Schmidt,<sup>‡</sup> and Jürgen Schnack<sup>§</sup>

*Universität Osnabrück, Fachbereich Physik, D-49069 Osnabrück, Germany*

(Received 24 March 2003; published 26 August 2003)

We suggest a general rule for the shift quantum numbers  $k$  of the relative ground states of antiferromagnetic Heisenberg spin rings. This rule generalizes the well-known results of Marshall, Peierls, Lieb, Schultz, and Mattis for even rings. Our rule is confirmed by numerical investigations and rigorous proofs for special cases, including systems with a Haldane gap for  $N \rightarrow \infty$ . Implications for the total spin quantum number  $S$  of relative ground states are discussed as well as generalizations to the  $XXZ$  model.

# Arbeitsgruppe im August 2002



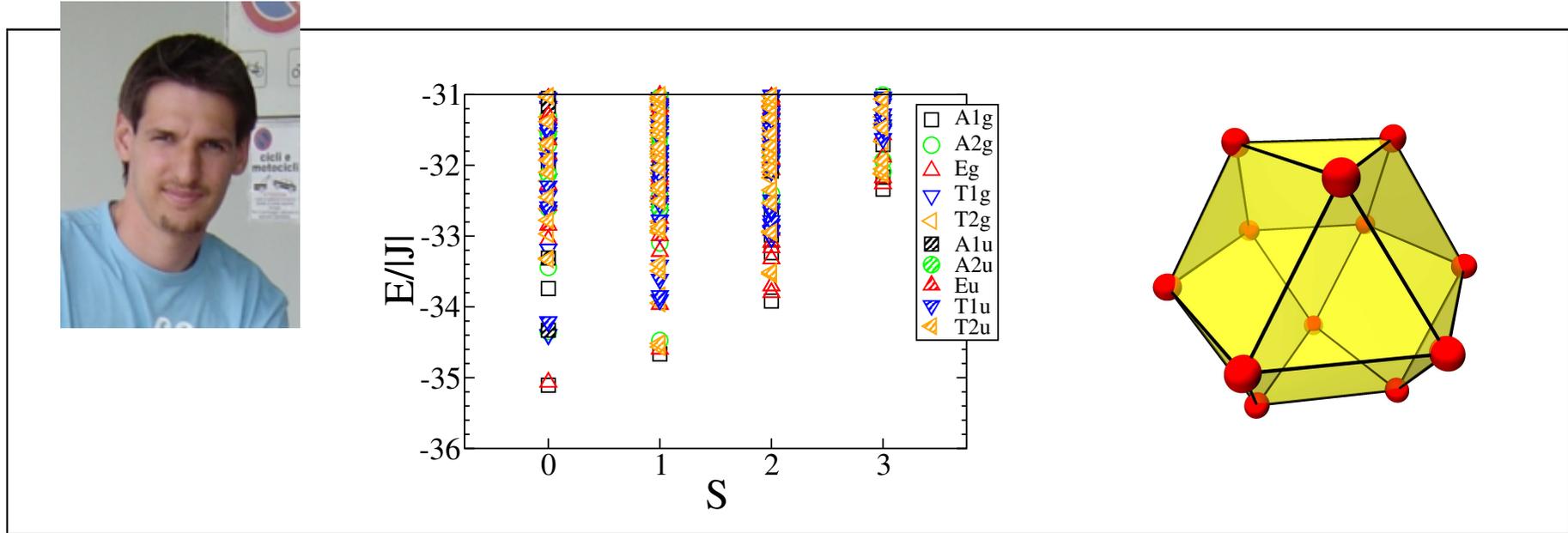
# Workshop 2005



# Ehrendoktorwürde für Marshall Luban 2006



# Die Geschichte geht weiter ...



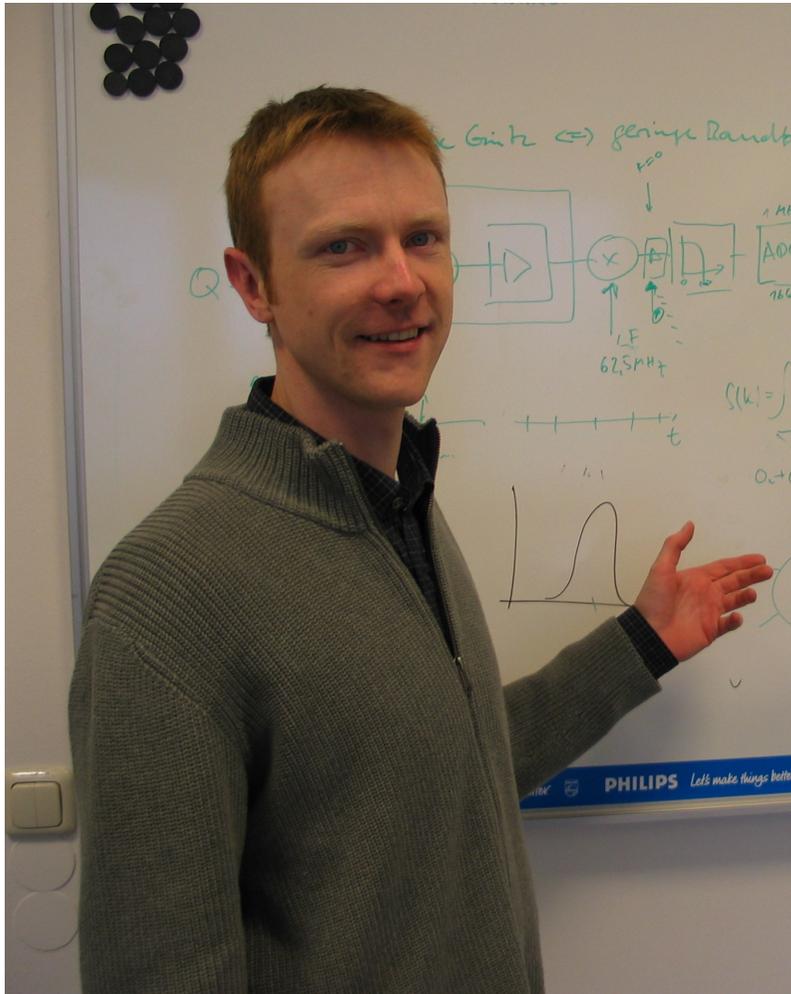
- Methode der Irreduziblen Tensoroperatoren (ITO) einschließlich Punktgruppensymmetrie;
- Exakte bzw. approximative Bestimmung des Energiespektrums und thermodynamischer Observabler, tiefergehendes Verständnis durch Gruppentheorie;
- Dr. Roman Schnalle.

# Hochschullehrer

# Verteidigung Dr. Christian Schröder



# Eine Meinung



Aber Herr Bärwinkel war echt ein ausgezeichneter Prof., auch wenn viele meiner Mitstudenten das immer anders gesehen haben. Hast du seine Vorlesungen mal besucht? Immer alles ohne ein Stück Papier. ... Einfach unglaublich.

Dr. Detlef Mentrup

## Noch eine Meinung



Bitte drück Herrn Prof. Bärwinkel auch in meinem Namen Dank und Respekt für die geleistete Arbeit in Osnabrück aus. Seinen Mathe-Vorkurs im Jahr 1986 mit einem Ptolemäischen Epizykelsystem werde ich nie vergessen!

Prof. Dr. Karsten Buse

# Motto

Es darf mitgedacht werden.\*

\*Eigentlich war es so: Dass jemand etwas nicht verstehen, nicht in die Materie eindringen wollte, ist Dir völlig wesensfremd. Für die, die wissen wollten, hast Du alles gegeben (z.B. Stefan Schlie, Ran Jia).

# Rückläufigkeit der Planeten im geozentrischen Bezugssystem

Man nehme vereinfachend an, daß die Erde sowie ein äußerer Planet in ein und derselben Ebene gleichsinnige gleichförmige Kreisbewegungen mit den Radien  $r_E$  beziehungsweise  $r_P$  und Winkelgeschwindigkeiten  $\omega_E$  bzw.  $\omega_P$  ausführen. Diese Bewegungen kann man durch entsprechende zeitabhängige komplexe Zahlen  $z_E(t)$  und  $z_P(t)$  beschreiben.

Man mache die sogenannte „kopernikanische Wende“ rückgängig, indem man die Erde als Bezugspunkt wählt, so daß die Planetenbewegung durch den geozentrischen Zeiger

$$z(t) = z_P(t) - z_E(t)$$

als einfache Epizykelbewegung dargestellt wird.

1. Zur Wiederholung mache man sich klar, wie die komplexen Zahlen mit den kartesischen Koordinaten bzw. den Polarkoordinaten der Ebene zusammenhängen.
2. Man berechne die geozentrische Winkelgeschwindigkeit des Planeten als Funktion der Zeit. Man gebe insbesondere die extremalen Werte dafür an.
3. Man beweise mit Hilfe des dritten Keplergesetzes, daß der Planet rückläufig wird.

## Coulombkraft, relaxierende Bildladung

Im dreidimensionalen Raum (kart. Koordinaten  $x, y, z$ ) sei der Halbraum  $x \leq 0$  metallisch, der Halbraum  $x > 0$  sei Vakuum. Eine Punktladung bei  $a > 0$  auf der  $x$ -Achse induziert auf der Grenzfläche eine Ladungsverteilung, die für  $x > 0$  dasselbe elektrische Feld erzeugt wie eine Punktladung  $-q$  bei  $b < 0$  auf der  $x$ -Achse.  $a$  und  $b$  können zeitabhängig sein, und es gelte die Relaxatorgleichung mit einer Zeitkonstanten  $\tau$ :

$$\dot{b}(t) = -\frac{1}{\tau} (b(t) + a(t)) .$$

1. Es sei  $a(t) = a_0 + \alpha \sin(\omega t)$  als erzwungene Schwingung vorgegeben. Man gebe dazu die eingeschwungene Antwort  $b(t)$  für  $t \rightarrow \infty$  an.
2. Mit diesem Ergebnis entwickle man die Coulombkraft zwischen  $q$  und  $-q$  bis zur ersten Ordnung in  $\alpha/a_0$ .
3. Welche Energie wird dann bei einem Schwingungszyklus der Punktladung  $q$  durch die Coulombwechselwirkung übertragen?

Klaus Bärwinkel fördert durch  
Fordern.

Da lernt man auch als Assistent  
noch viel!

# Mentor und Freund

# Mentor und Freund



- Förderung der Eigenständigkeit: ich konnte mir meine Arbeitsgebiete und meine Kooperationspartner aussuchen;
- Geld war stets knapp (Computer, Folien, Reise-mittel): ich konnte die Mittel von Klaus Bärwinkel mitbenutzen;
- Volleyball;
- Abendbrot!
- Du hast Prinzipien – das war nicht immer leicht.\*

\*Wenn alle nur noch Wohlgefälliges über einen sagen, befindet man sich auf der eigenen Beerdigung.

# Habilitation 2001



## In unserer Arbeitsgruppe war es nie kalt!



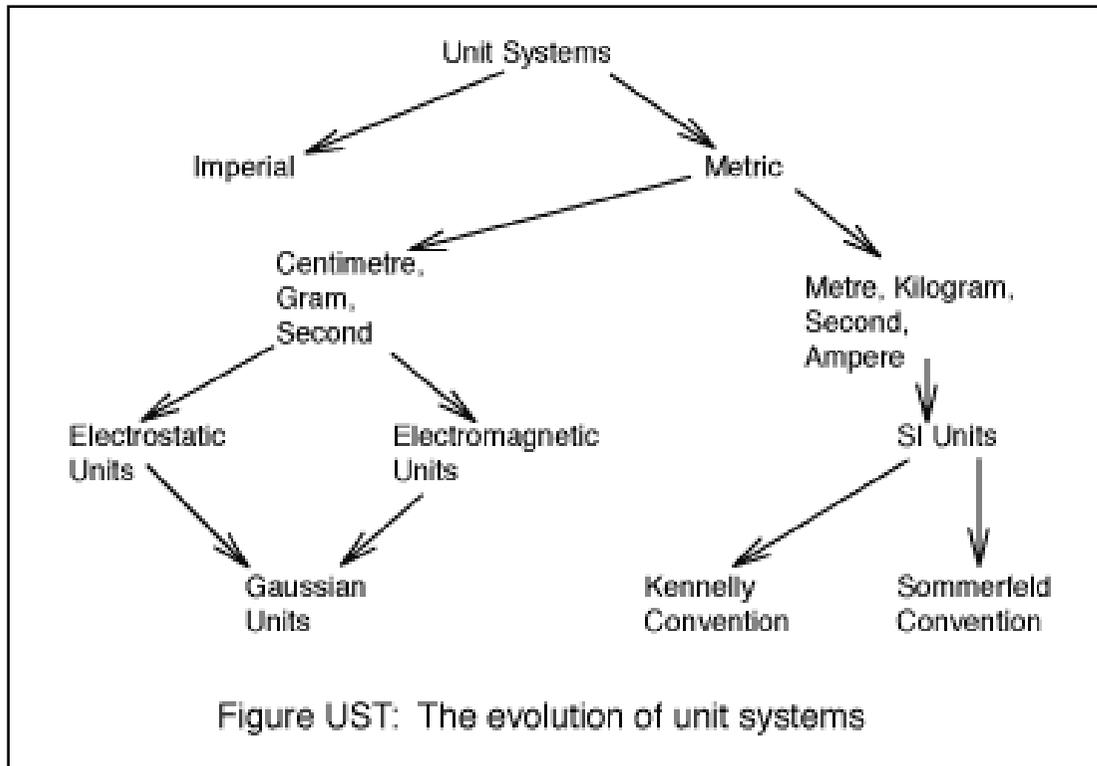
Die Themen waren einfach so spannend, dass wir manchmal nicht einmal dazu gekommen sind, den Mantel auszuziehen!

Lieber Klaus,

wie ich Dich kenne, findest Du  
einen Vortrag mit so vielen Fotos  
von Dir bestimmt peinlich, . . .

... aber es musste sein:  
vielen Dank für 9 schöne Jahre  
1997 – 2006

# Ach ja, emu!



- electromagnetic units subsystem
- If you work with experimentalists you sometimes wish there was only theory!
- *The amp, the volt and ohm agree to live together peacefully ...*,  
R. Clarke after Joseph Barbera,  
The Truce Hurts