

**Physik ist die wichtigste Naturwissenschaft**

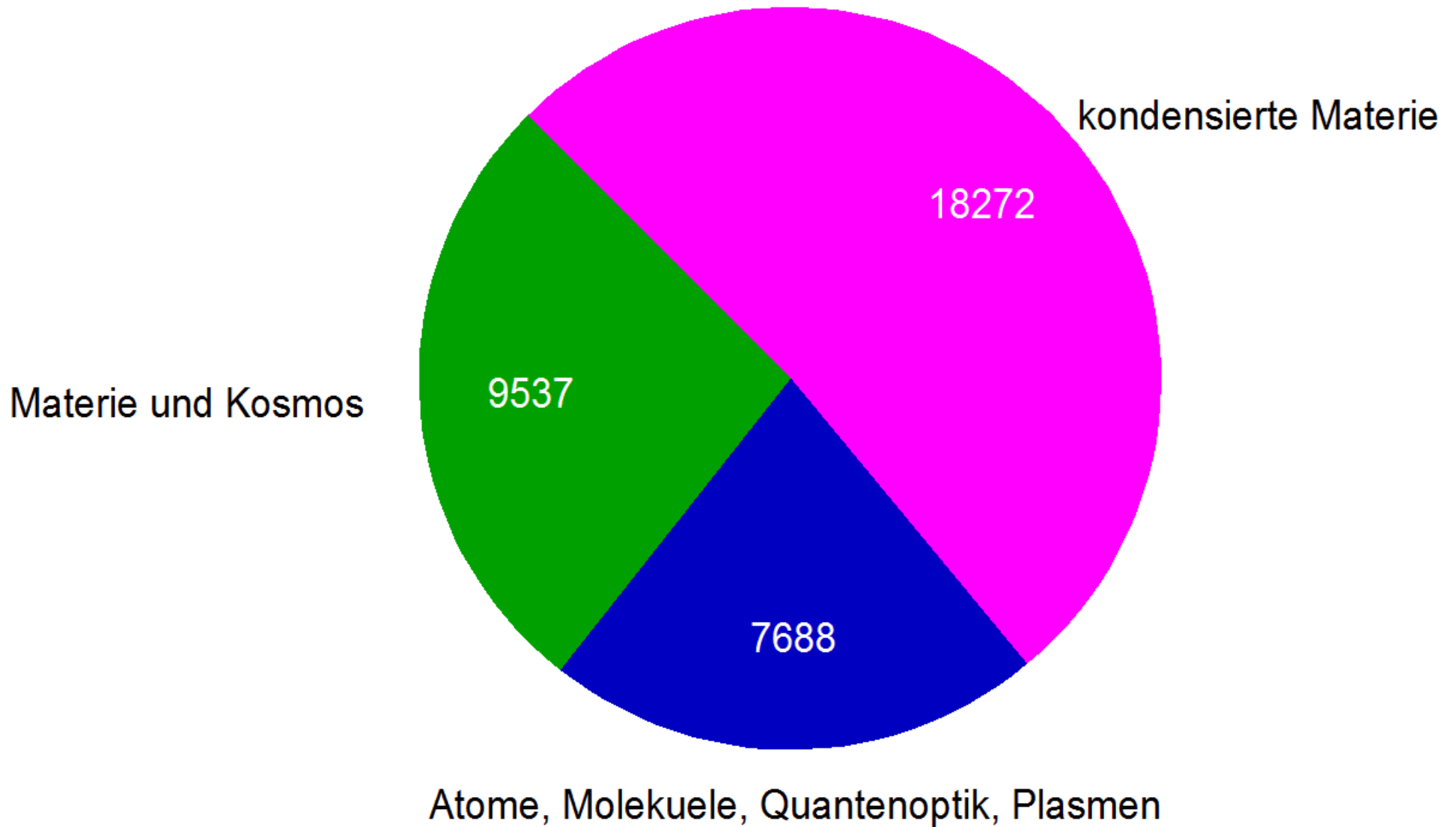
# FESTKÖRPERPHYSIK

ist der wichtigste Teil der Physik

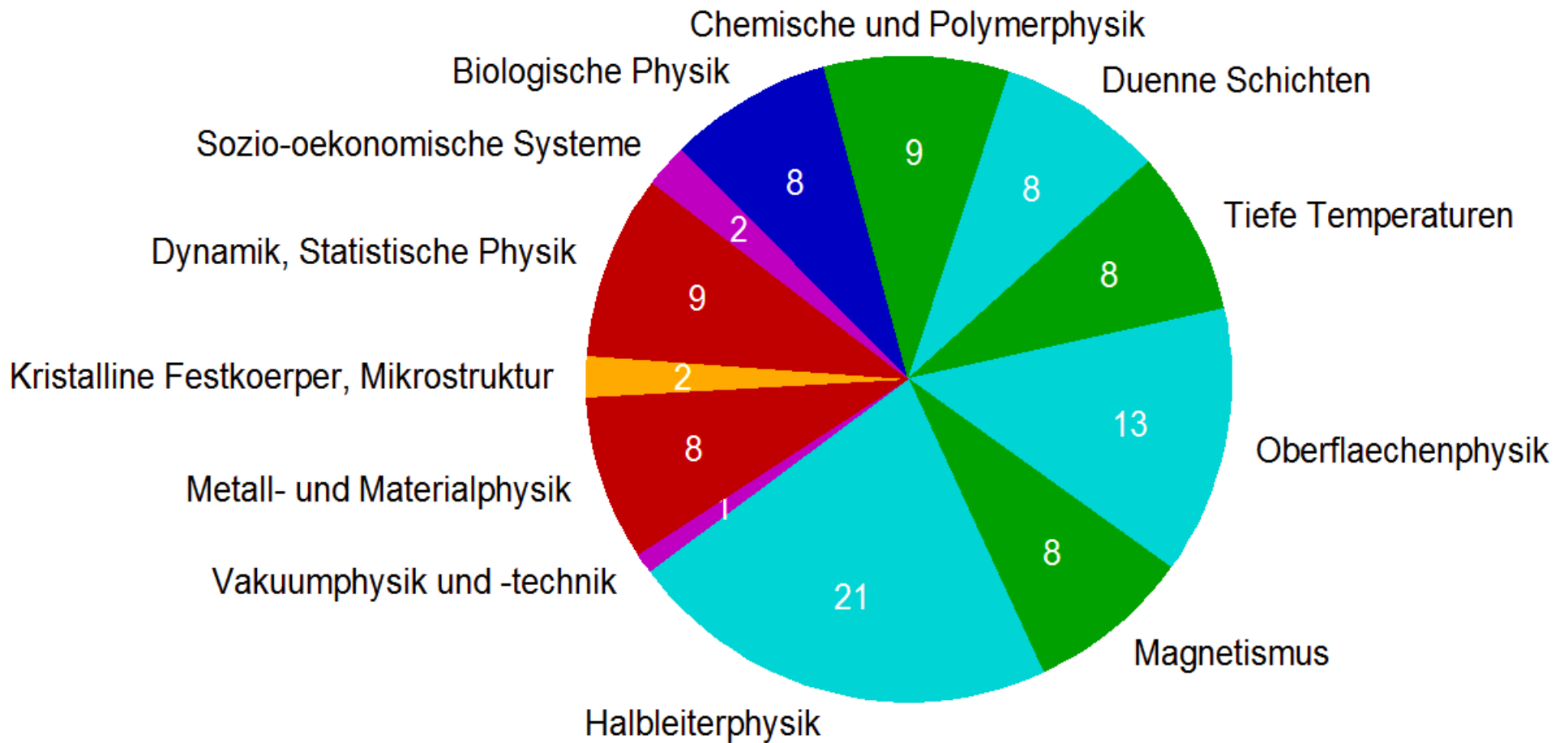
denn sie ...

- steht (fast) nicht im Lehrplan der Sek. II
- verändert seit den 50ern kontinuierlich unsere Welt
- beschäftigt > 30 % aller Physiker/innen
- schuf Transistor, IC, Laser, ++ Batterien, NMR, LCD, LED,  
·Datenspeichertechnologien, ++ Materialien, ++Magneten ...
- ist voll von / ein Quanteneffekt/en

# Sektionen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft



# Sektion kondensierte Materie



# Solids . . .

# . . . so what ?

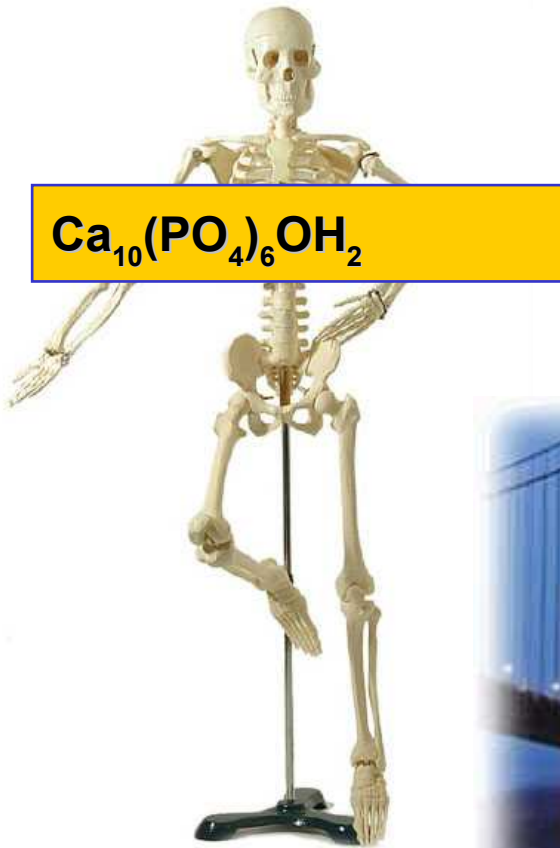
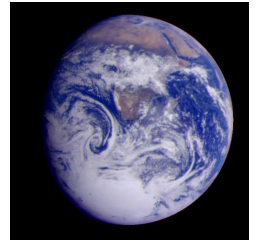
Bisher:

Trägheitsmoment, Federkonstante, Normalkraft,  $\mathbf{E}_{||} = 0$



# Solids

we couldn't live without their mechanical properties...

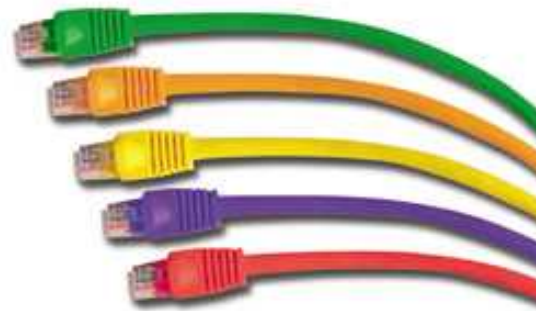
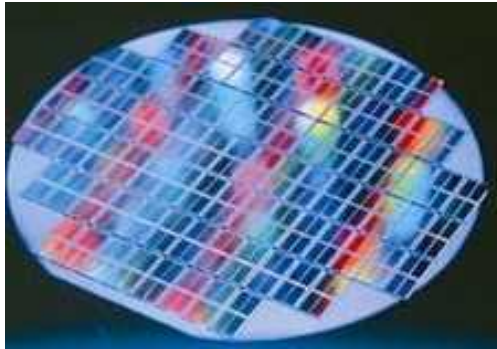


---

'Electronic' properties of solids:  
....those dominated by the behaviour of the electrons

---

**Electrical conduction:** insulating, semiconducting,  
metallic, superconducting



Can we understand this huge variation in conductivity ?

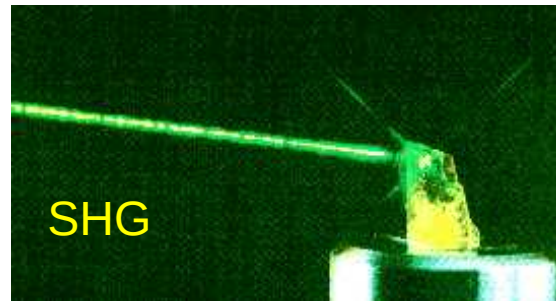
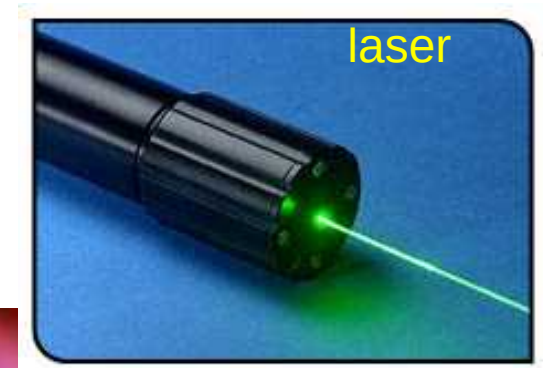
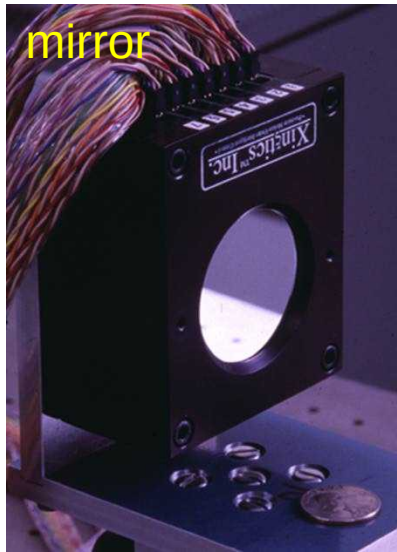


---

'Electronic' properties of solids:  
....those dominated by the behaviour of the electrons

---

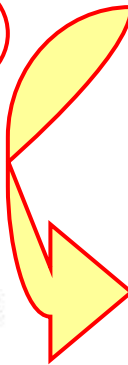
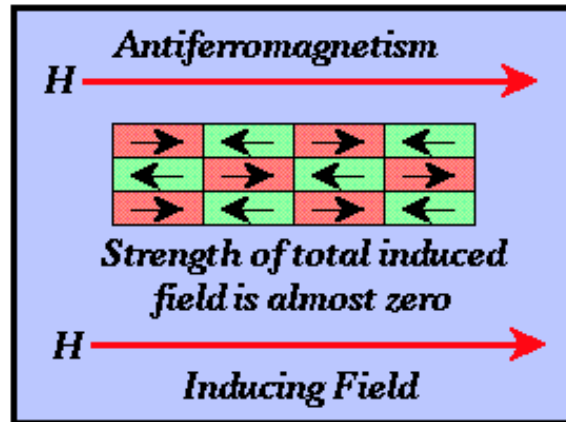
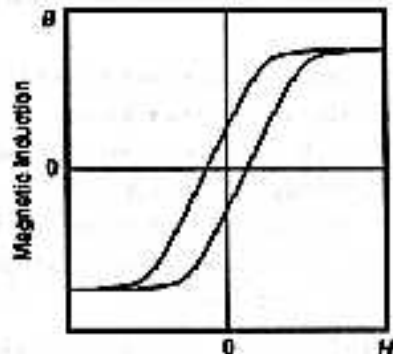
**Optical properties:** absorption, emission, amplification  
and modification of light



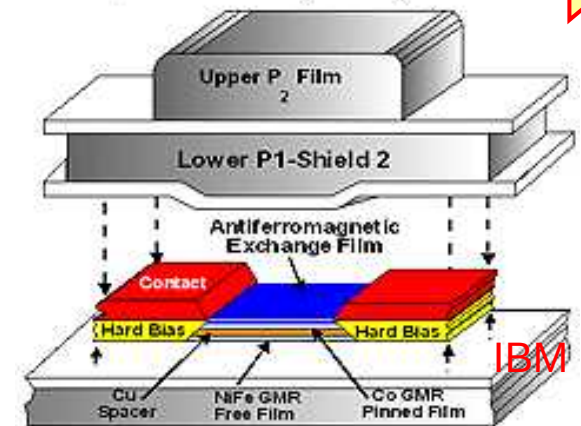


# 'Electronic' properties of solids: ....those dominated by the behaviour of the electrons

**Magnetic properties:** paramagnetism, ferromagnetism, antiferromagnetism etc.

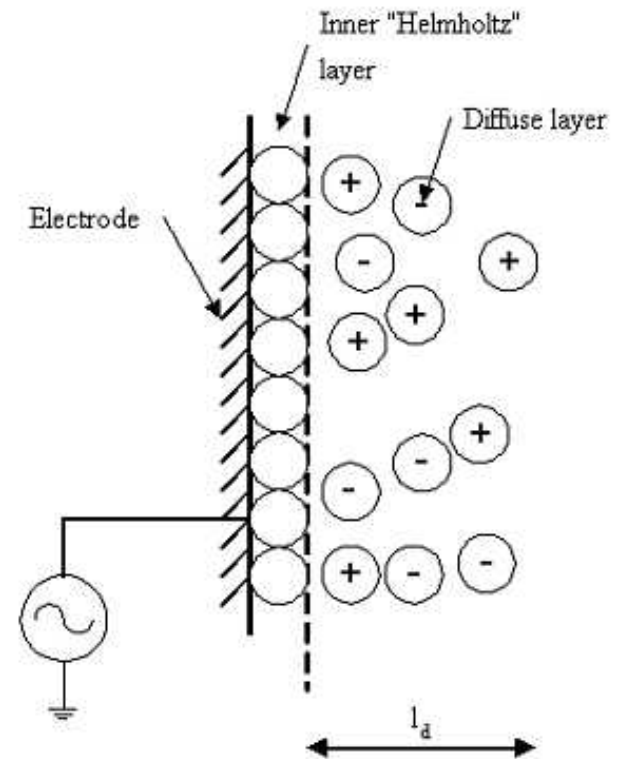
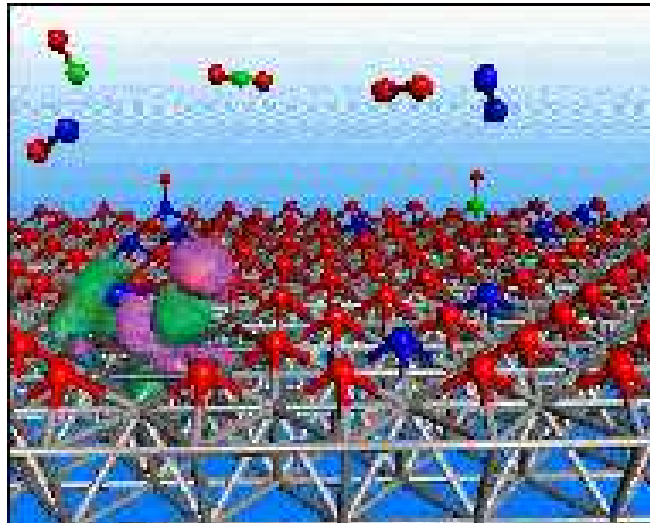
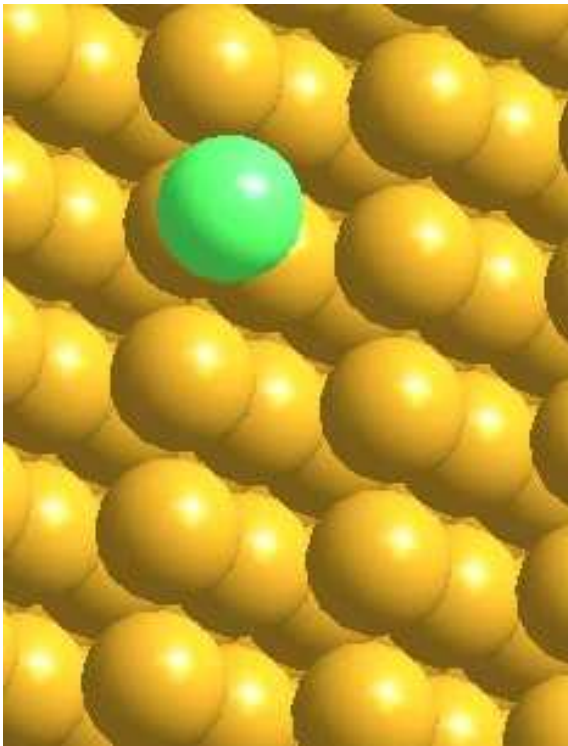


**Spin Valve (GMR) Head**



# 'Electronic' properties of solids: ....those dominated by the behaviour of the electrons

## Surface properties: catalysis, electrochemistry



# Solids

## Cutting edge physics

- $10^{23}$  particles per  $\text{cm}^3$

this is tough! It is *THE* challenge:

true many body physics

with real structure and dynamics

covering nanoscale, through  
mesoscopic to macroscopic

with full interactions

realistic models for real materials

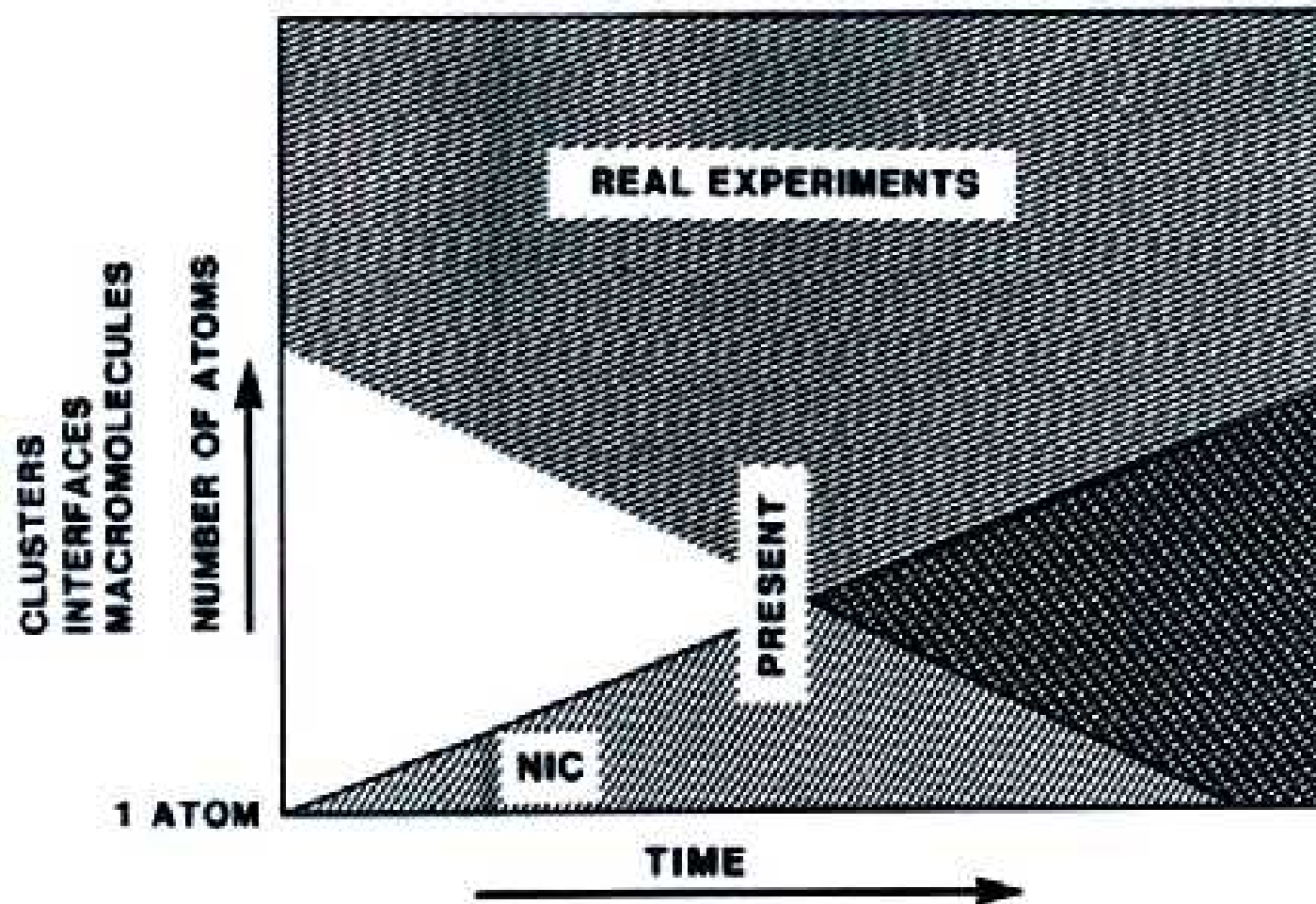


Fig. 4. Progress in treating individual small objects with experimental methods and numerically intensive computation (NIC).

## einige der FK Nobelpreise

Quantenhall- Effekt

Klaus v. Klitzing '80 - '85 FP

Rastertunnelmikroskop, Elmi

Ernst Ruska, Gerd Binnig, Heini Rohrer '81 - '86 \*

Hochtemperatur Supraleiter

Georg Bednorz, Karl A. Müller '86 - '88

Komplexe Materie

de Gennes '91

Neutronenstreuung

Brockhouse, Shull '94

superfluides Helium-3

Lee, Osheroff, Richardson '96

FQHE

Störmer, Laughlin, D.C. Tsui '98

## e.g. Liquid Crystals



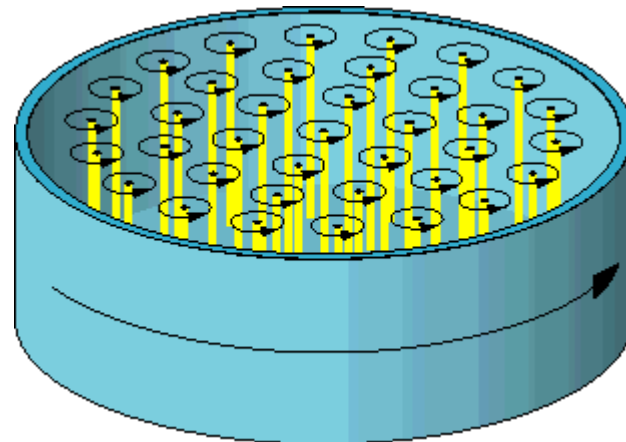
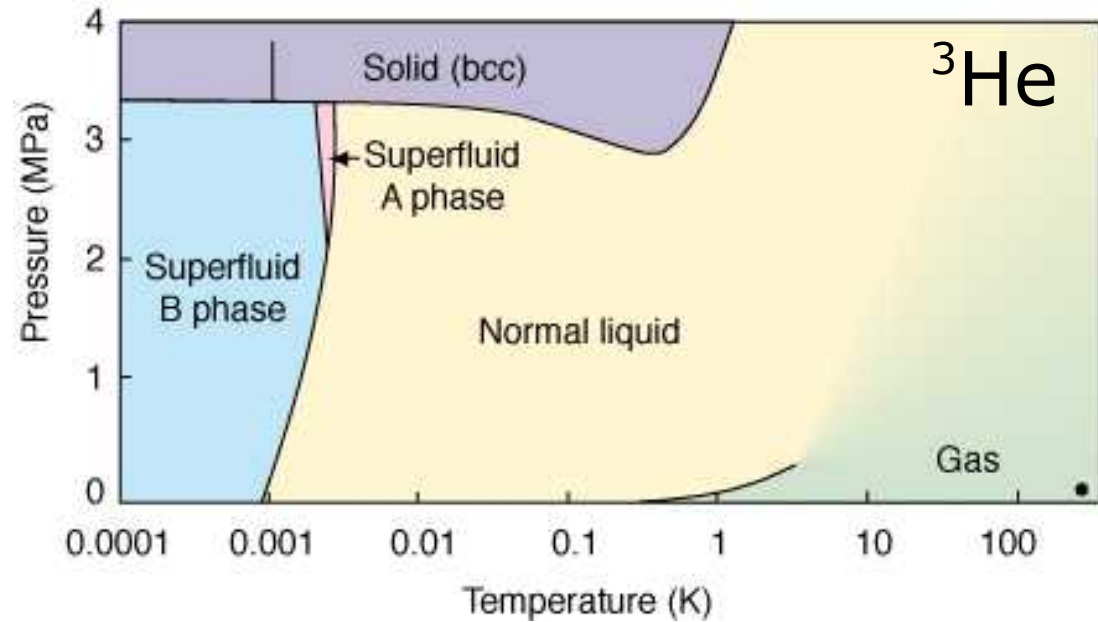
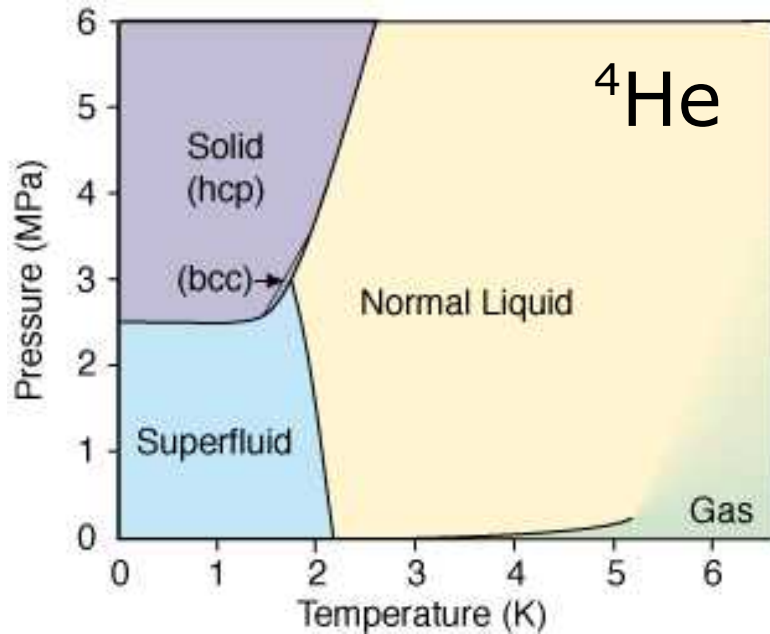
Nematic phases: only one order parameter, the direction



Smectic A phase: layer structure with perpendicular molecules, no further order within layers



# Isotope effect, Superfluidity, Quantized Vortices



Velocity around each vortex:

$$v_{\text{rot}} = h/m$$



## einige der FK Nobelpreise

semiconductor heterostructures, integrated circuit		
Z. I. Alferov, H. Kroemer, J. S. Kilby	2000	
Theory of superconductors & superfluids		
A. A. Abrikosov, V. L. Ginzburg, A. J. Leggett	2003	
Giant magnetoresistance		
Peter Grünberg, Albert Fert	2007	*
Reaktionen an Oberflächen		
Gerhard Ertl	2007	*
Lichtleiter für optische Kommunikation, CCD		
Ch. K. Kao, W. S. Boyle, G. E. Smith	2009	
Graphen		
Andre Geim, Konstantin Novoselov	2010	SAL

# Interessiert SIE die Vergangenheit?

Dies ist die Zukunft ...

Wie entstehen komplexe Phänomene aus einfachsten Komponenten?

Bsp.: Elektron

Supraleitung: ewiger Stromfluss ohne Energieeinsatz

Quantenhalbzustand: Elektron zerfällt in Teilchen mit/ohne Spin  
& mit nicht-ganzzahliger Ladung

Die Herausforderung: Kollektive Phänomene verstehen, neue entdecken,  
einige wenige davon nutzen

Wie werden wir in Zukunft Energie erzeugen & nutzen?

Konversion von Sonnenlicht, H-Speicherung, (noch) bessere Lichtquellen,  
Materialien für extreme Bedingungen

## Was geschieht fern vom Gleichgewicht?

Isolierte Systeme streben zum Gleichgewicht

Turbulenz, Leben, Erdbeben entstehen fern vom Gleichgewicht

neue Materialeigenschaften

## Welche Entdeckungen werden wir in der Nanowelt machen?

Grenzbereich zwischen Molekülen und Makrowelt

Katalyse, single electron transistor, ...

Die Herausforderung:

*Kontrolle* von Anordnung und Funktion;

*Verständnis*: zu groß für brute-force, zu klein für statistische Methoden

Wie erweitern wir die Grenzen von Messung und Vorhersage?

Wie revolutionieren wir das Informationszeitalter?

Wie inspirieren wir andere?

# REFERENCE FRAME



H-MASER  
Rydbergatome

## A LESSON IN HUMILITY

Daniel Kleppner

If you should suddenly feel the need for a lesson in humility, try forecasting the future of physics. I acquired this little bit of wisdom rather painfully a few years ago when fate tossed me onto the Brinkman committee—one of those panels that is assembled in the US roughly once a decade to survey physics. To prepare for the

### What we missed:

*Atom cooling and atom optics.* N

*High- $T_c$  superconductivity.* N

*Supernova 1987A.*

*Buckyballs.* N

*Complexity, chaos and nonlinear dynamics.* Given that physicists gen-

*Mesoscopic physics.*

*Superdeformed nuclei.*

M.a.W.:

Glauben Sie nichts von dem,

was Ihnen über die Zukunft der Physik gesagt wird.

Die machen hoffentlich Sie.

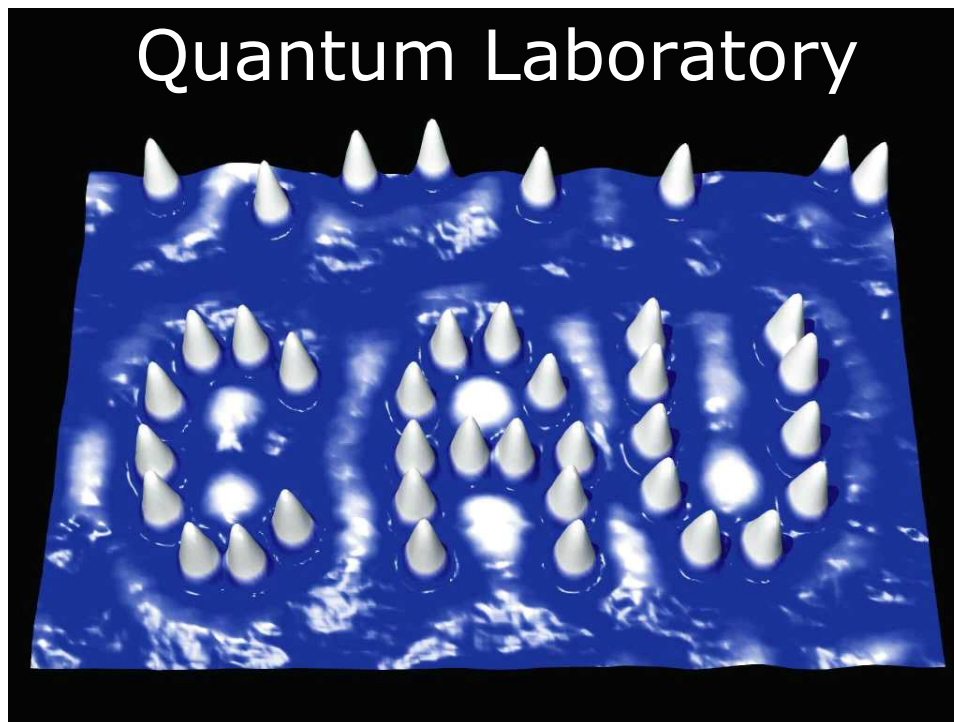
# Festkörperphysik in Kiel

## **Experiment**

Prof. Michael Bauer  
Prof. Richard Berndt  
Prof. Olaf Magnussen  
Prof. Kai Rossnagel

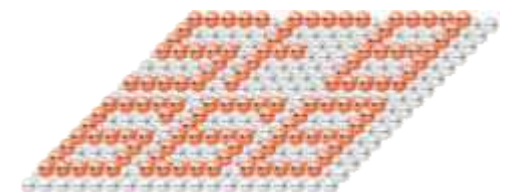
## **Theorie**

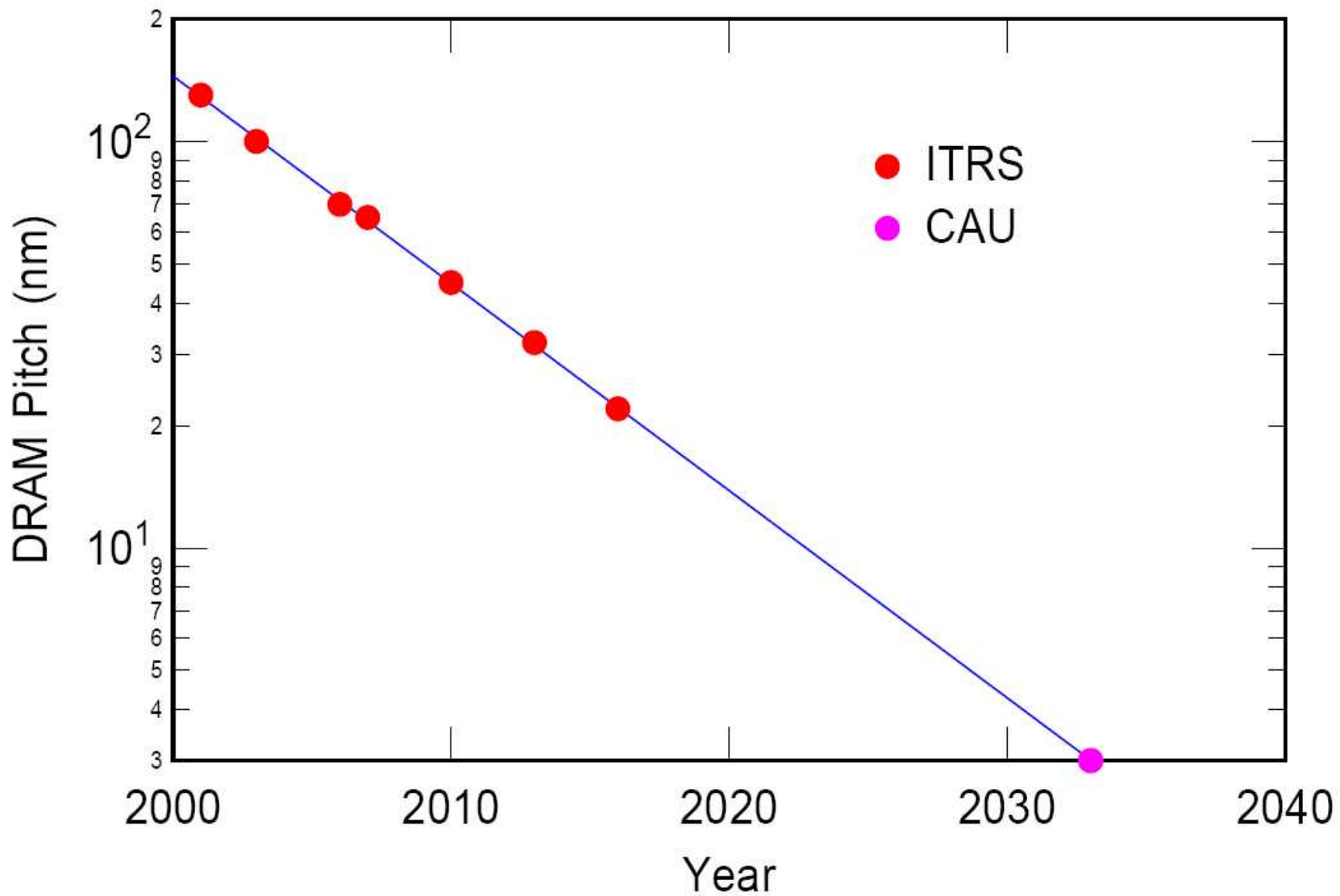
Prof. Stefan Heinze  
Prof. Eckhard Pehlke



## **Großprojekte, z. B.: Berndt**

SFB 668 Nanomagnetismus  
SFB 677 Funktion durch Schalten  
COSMICS Concepts & tools in  
molecular spintronics





SEMICONDUCTOR ROADMAP ITRS 2001



# Majorana-Fermionen (Hypothese von Ettore Majorana 1937)

neutrale Spin-1/2-Teilchen

erfüllen reelle Wellengleichung

sind mit ihrem Antiteilchen identisch



Elementarteilchenphysik:

Im Standardmodell nur Dirac Fermionen

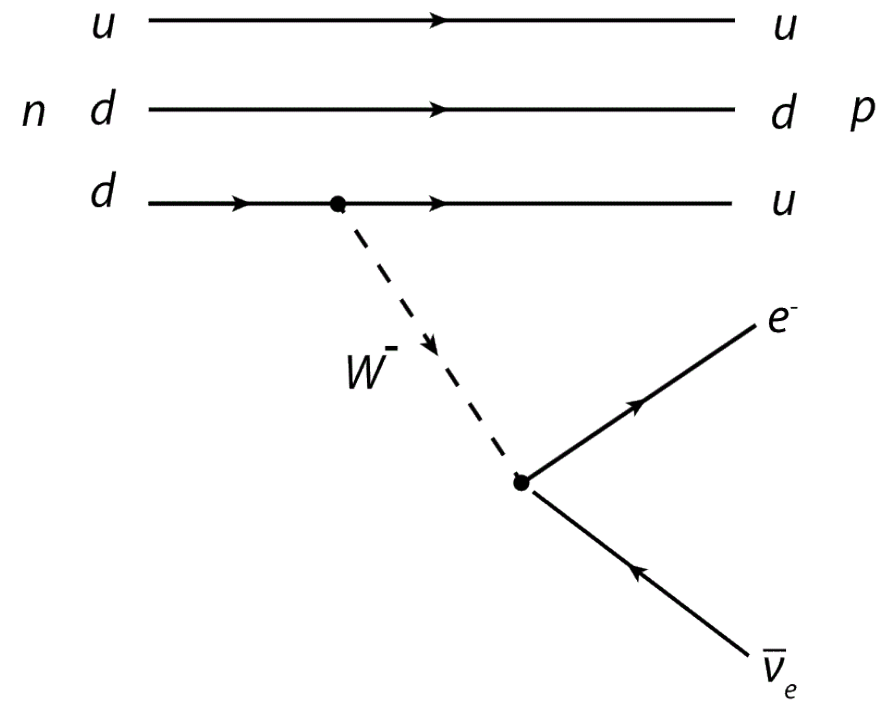
Aber Natur des Neutrinos unklar (Dirac oder Majorana?)

Festkörperphysik:

exp. Hinweise für Ketten magnet. Atome auf Supraleiter

## Elementarteilchenphysik:

Experimente bei immer höhere Energien  
Teilchen zerfallen in noch elementarere



## Festkörperphysik:

immer geringere Temperaturen (oder größere WVen)  
elementare Komponenten bilden neue Teilchen  
Elektron

Spin 1/2 - Fermion - Austauschloch

Cooperpaar ( $\mathbf{k}, \uparrow$ ) +  $e(-\mathbf{k}, \downarrow)$

Spin 0 - Boson - Bose-Einsteinkondensation