

Einführung in die Festkörperphysik

Was:

- Übersicht über die Phänomenologie
- Verständnis für die mikroskopischen Grundlagen
- Übersicht über die Untersuchungsmethoden (theor. + exp.)

Wann: Di 08¹⁵-09⁰⁰
Do 08³⁰-10⁰⁰

Wo: HG II HS 2

Wer: Dieter Suter
Raum P1-O1-216 Tel. 3512
Dieter.Suter@physik.uni-dortmund.de
<http://e3.physik.uni-dortmund.de>

Übungen

Wann: Do 14¹⁵-16⁰⁰

Wo: P1-02-111
C2-02-176
C2-02-326

Gruppeneinteilung: Listen

Übungsleiter: Dr. Reiner Küchler
Raum P1-O1-213, Tel. 3515

Dr. Burkhard Geil
Raum P1-O1-212, Tel. 3520

Dr. Angelika Sebald
Raum P1-E0-208, Tel. 3471

Übungen

Wann: Do 14¹⁵-16⁰⁰

Wie:

- Übungszettel am Donnerstag in der Vorlesung.
- Selbständiges Lösen + Abgabe in Kästen der Assistenten bis Dienstag.
- Besprechung in der Übungsstunde am Donnerstag.

Schein:

- Erfolgreiche Teilnahme an der Klausur, $\geq 1/3$ der maximalen Punktezahl
- Abgabe von 10 Übungen; mindestens $1/2$ der Aufgaben gelöst, resp. versucht zu lösen.
- Beteiligung während der Übungsstunde; wird beurteilt durch Assistenten.

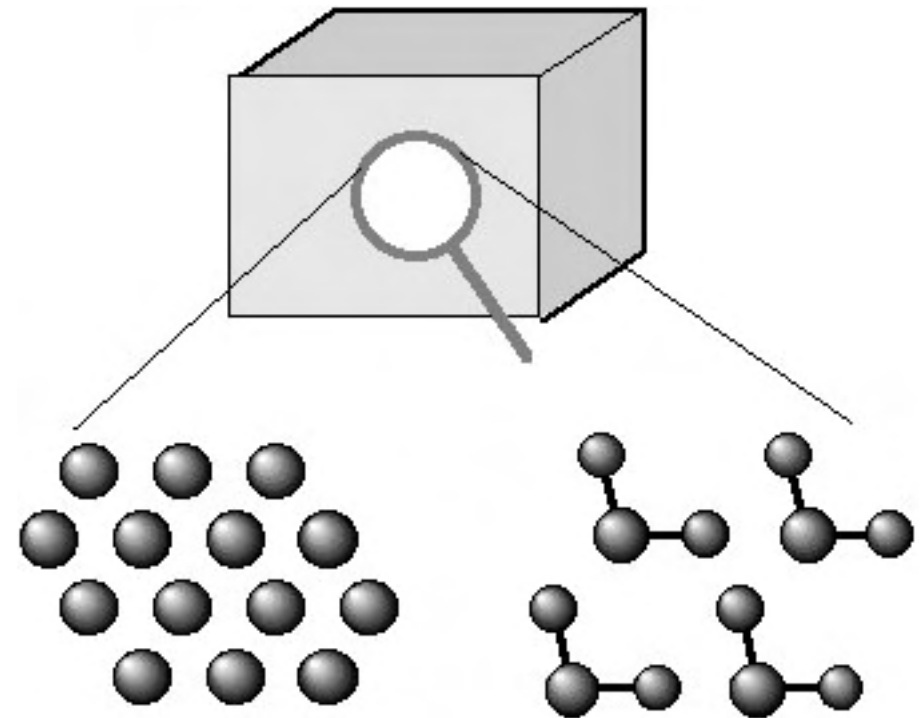
1. K. Kopitzki
Einführung in die Festkörperphysik
Teubner Studienbücher
2. Ch. Kittel
Einführung in die Festkörperphysik
R. Oldenbourg, München
3. K. H. Hellwege
Einführung in die Festkörperphysik
Springer-Verlag, Berlin
4. N. Ashcroft, N. Mermin
Solid state physics
Holt, Rinehart and Winston
5. Ibach-Lüth
Festkörperphysik
Springer
6. Bergmann - Schaefer
Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. 6
Walter de Gruyter

kein Lehrbuch:

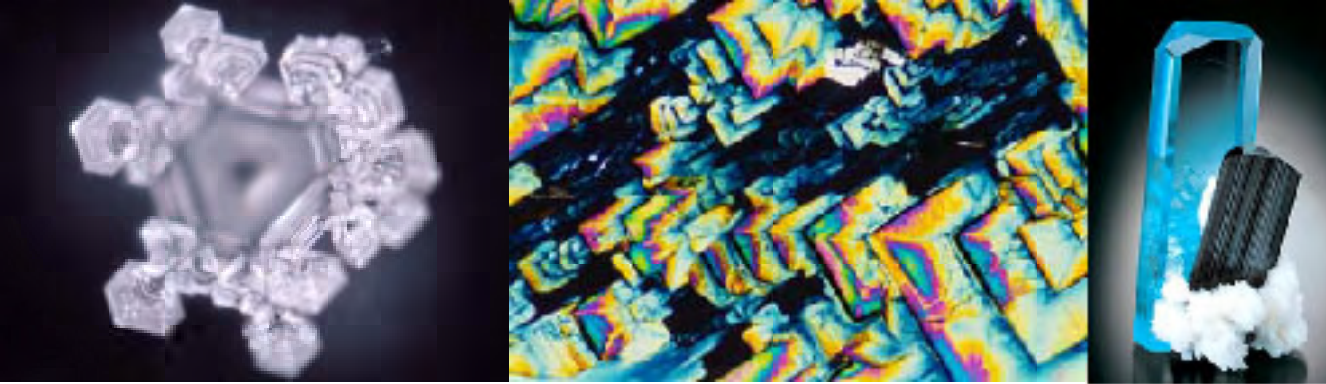
Festkörper



Mikroskopische Betrachtung

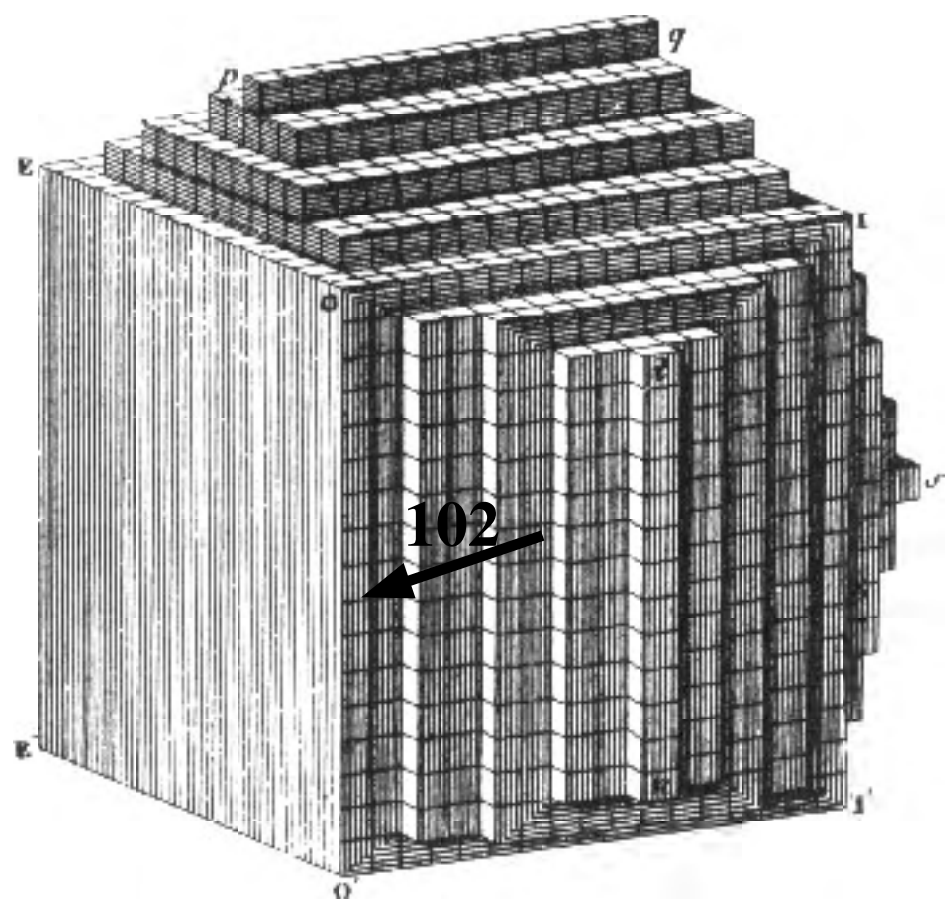
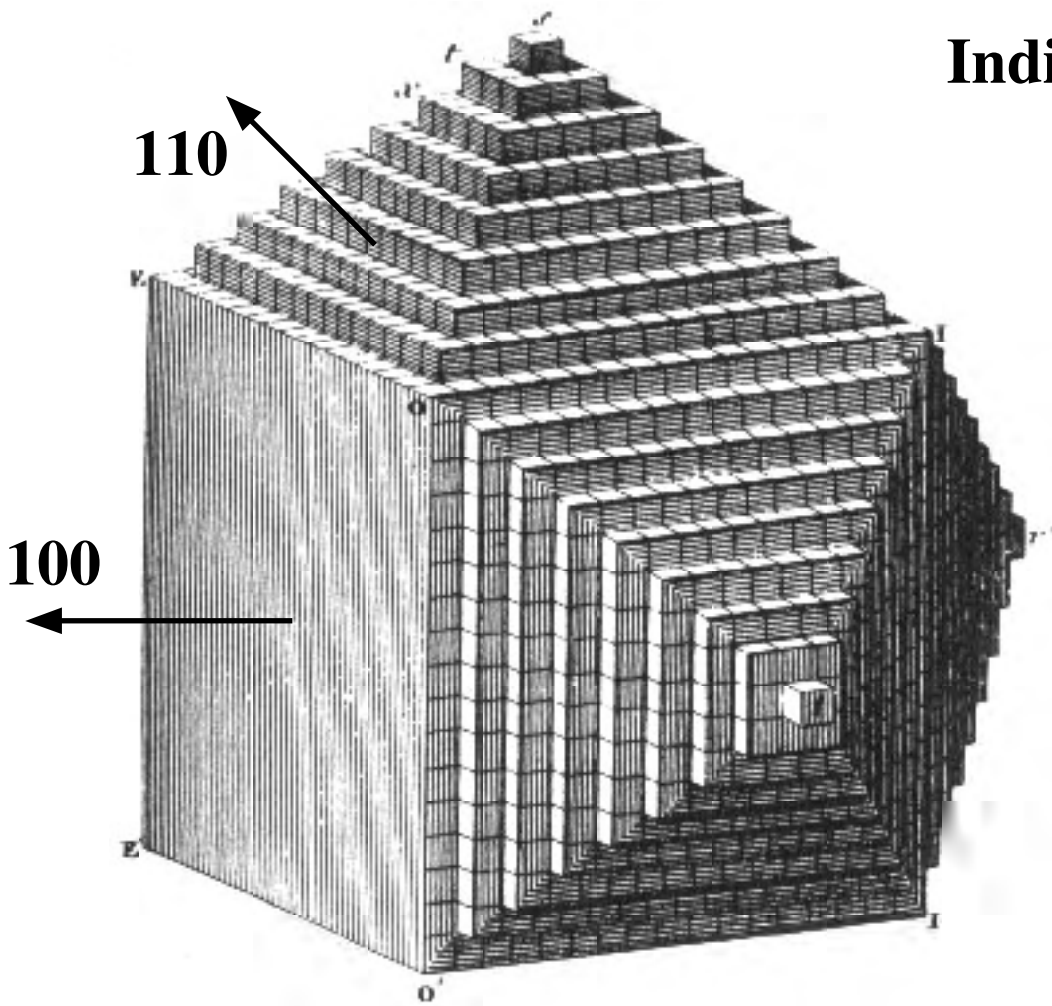


Atomare und elektronische Struktur



Kristalle

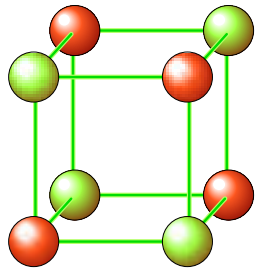
Indizierung von Kristallebenen



Themen der Festkörperphysik

 Ziel der Festkörperphysik ist ein besseres
Verständnis von Materialeigenschaften

Grundlagen



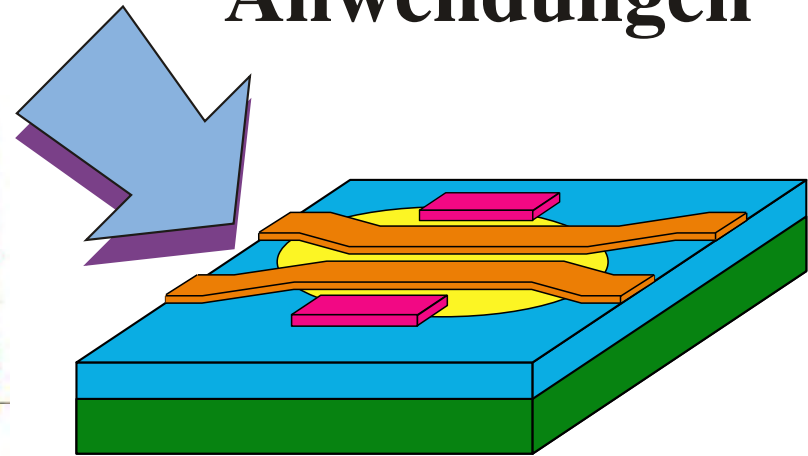
**mikroskopische
Struktur**

Dortmunder Spezialität:

Spektroskopie auf allen Skalen (RF bis Röntgen)



Anwendungen



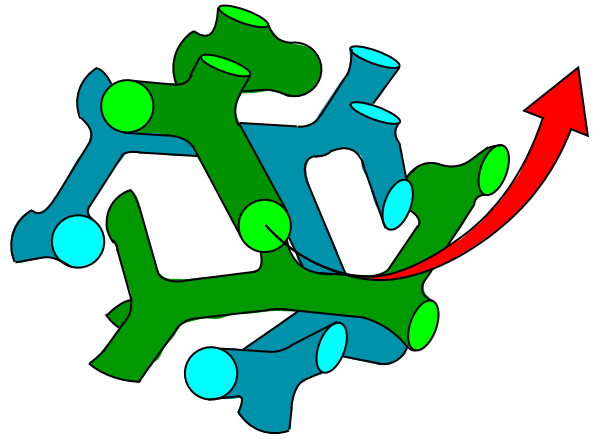
**Halbleiter, Laser,
Supraleiter, ...**

etwas weiter gefasst

Kondensierte Materie

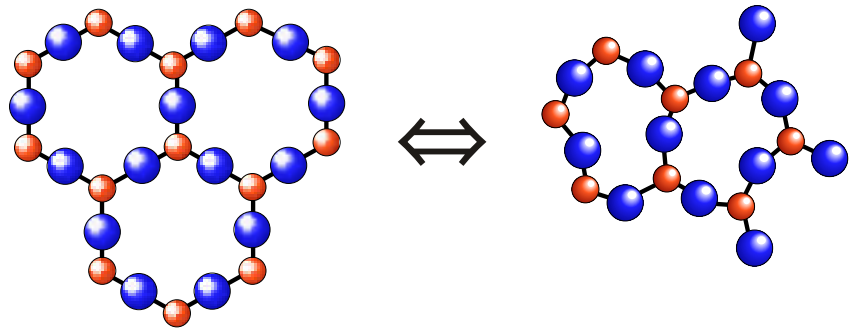
dazu gehören auch:

**Weiche Materialien,
Molekulare Systeme**

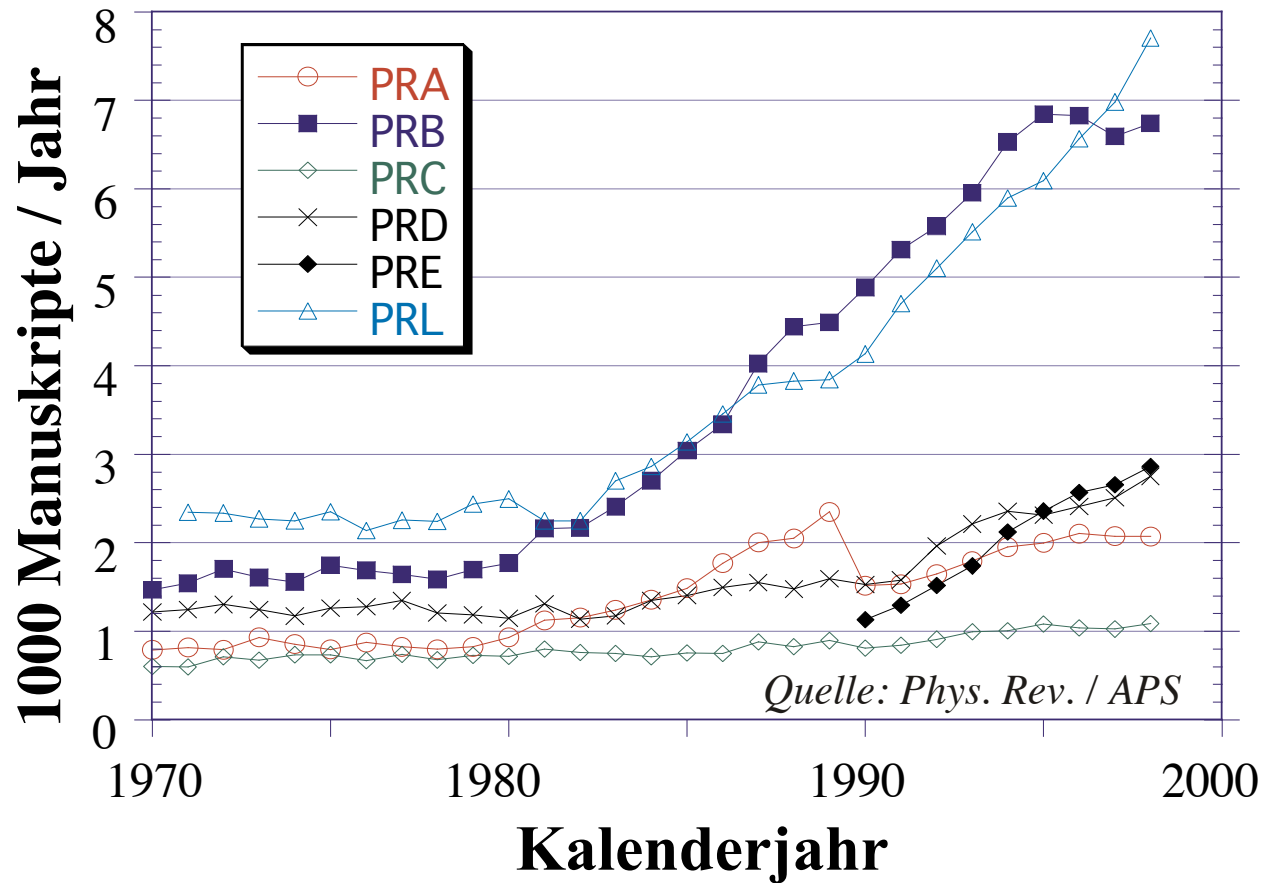


**Oberflächendominierte
und mikrostrukturierte
Materialien, Cluster**

**Gläser,
amorphe Materialien**



Quantitative Entwicklung des Gebietes



Zukunft

- Materialien bleiben wichtig.
- Die Festkörperphysik bleibt eine wichtige Grundlage.

Was ist Festkörperphysik ?



Wolfgang Pauli

**"Festkörperphysik
ist eine
Schmutzphysik"**

Was ist Festkörperphysik ?



Philip Anderson

'more is different!'

More is Different

Es sind die kollektiven Phänomene, also Phänomene, bei denen viele Teilchen zusammenwirken, die neue Physik hervorbringen.

Beispiele:

Supraleitung

Alle Elektronen rotten sich im Wechselspiel mit dem Kristallgitter zu einem makroskopischen Quantenzustand zusammen, der widerstandsfrei Strom führen kann.

Fraktionaler Quanten-Hall-Effekt

Im Zusammenwirken von Elektronen bildet sich in zweidimensionalen Systemen ein Ladungsträgersystem mit quantisiertem Hallwiderstand aus.

Was ist Festkörperphysik ?

Festkörperphysik wird für Sie eine neue „Art“ der Behandlung physikalischer Probleme darstellen:

Ein Kristall ist aus einer extrem großen Anzahl ($> 10^{20}$) von Teilchen aufgebaut. Dies schließt eine exakte Lösung von Problemen a priori aus. Stattdessen muss auf Näherungsverfahren zurückgegriffen werden.

Das zentrale Problem ist, Näherungen so geschickt durchzuführen, dass einerseits das Problem lösbar wird, andererseits noch alle wesentlichen physikalischen Faktoren erfasst werden.

Wie geht das ?

**Letztlich versucht man die Probleme auf ein Niveau zu vereinfachen, auf dem die physikalischen Phänomene durch einzelne Anregungen oder Teilchen beschrieben werden:
Das gemeinsame Verhalten vieler Teilchen wird so beschrieben, dass sich neue ‚künstliche‘ Teilchen ergeben.**

Bei der Beschreibung von Phänomenen wird dann

- das Verhalten eines durch Modellbildung erzeugten ‚Teilchens‘**
- das Verhalten einer großen Anzahl solcher Teilchen in einem kollektiven Zustand**

betrachtet.

**Festkörperphysik ist
Quasi-(Elementar)- Teilchenphysik.**

Inhaltsübersicht

1. Einleitung

1. 1. Organisatorisches

1. 2. Themen

1. 3. Festkörperphysik in Dortmund

2. Symmetrie und Struktur

3. Bindungen im Festkörper

4. Gitterschwingungen und Phononen

5. Freie Elektronen

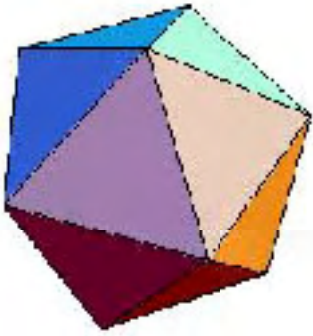
6. Fast freie Elektronen: Bandstrukturen

7. Halbleiter

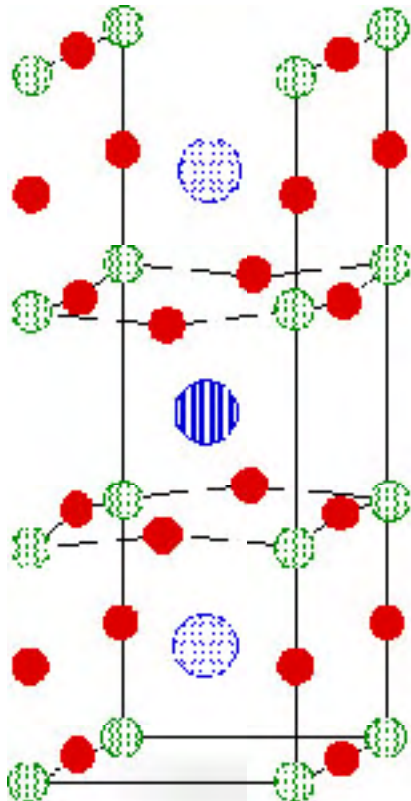
8. Magnetismus

9. Supraleitung

2) Symmetrie und Struktur



Hochtemperatur - Supraleiter



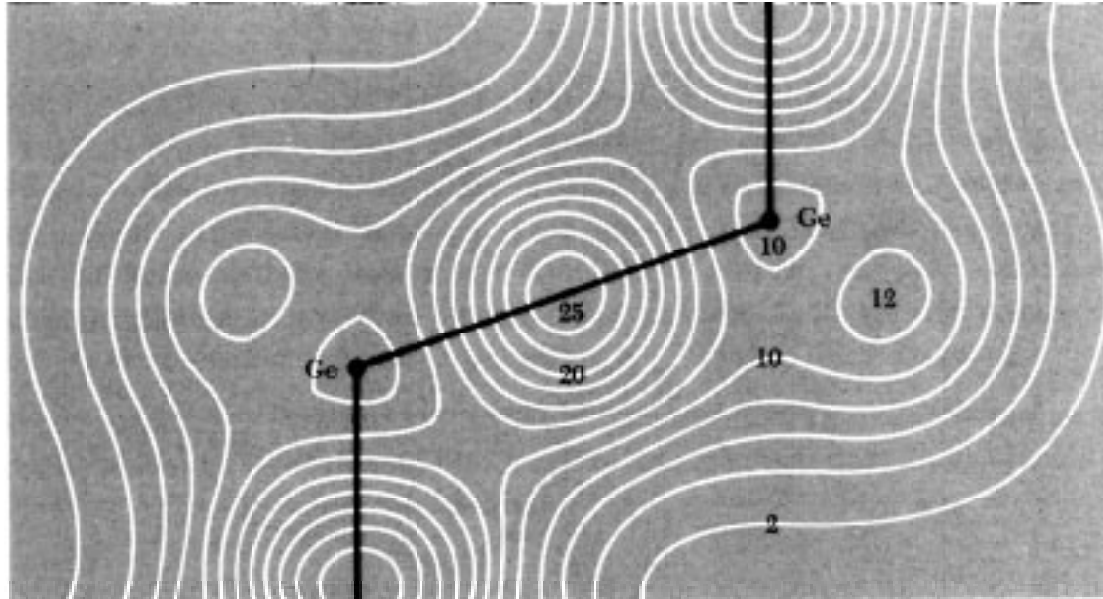
-  Barium
-  Yttrium
-  Copper
-  Oxygen

Proteine

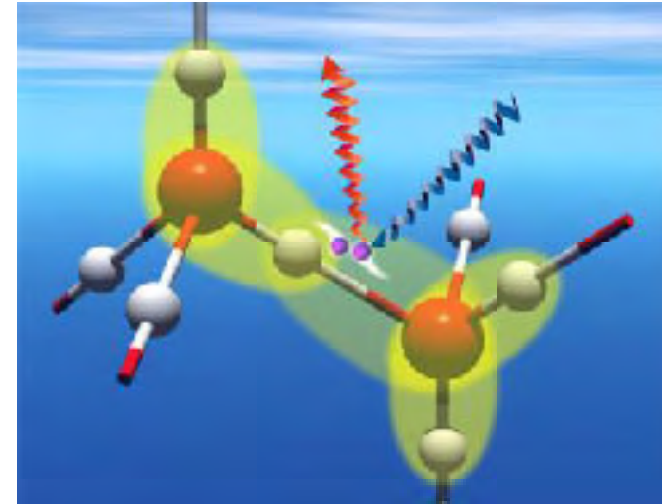


3) Bindungen im Festkörper

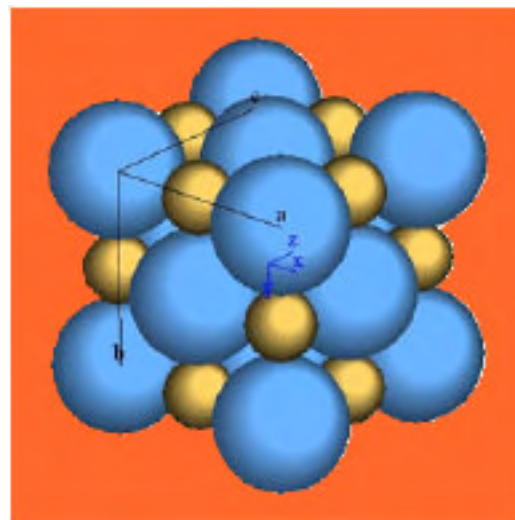
Kovalente Bindung in Ge



Wasserstoffbrücke in H₂O

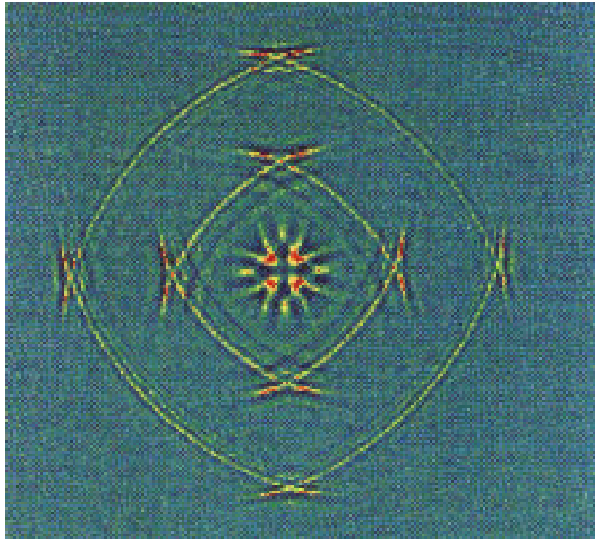
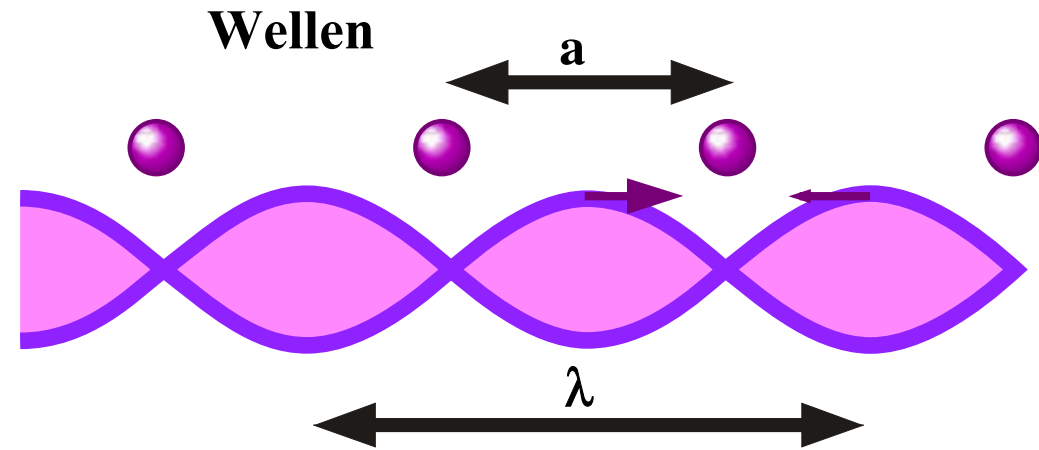
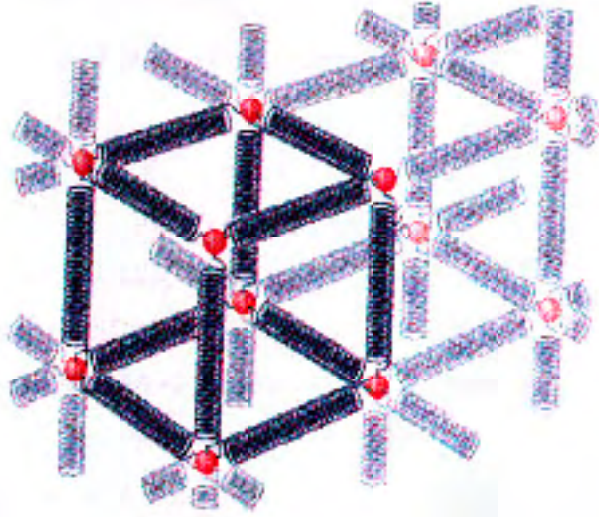


Ionische Bindung in NaCl

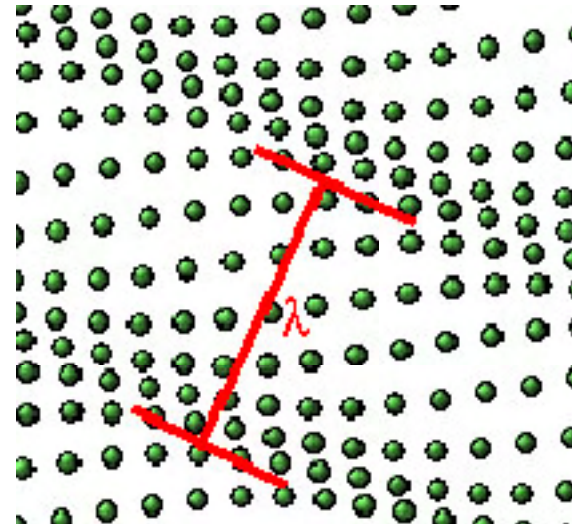


4) Gitterschwingungen und Phononen

Interatomare Kräfte



Wellenausbreitung



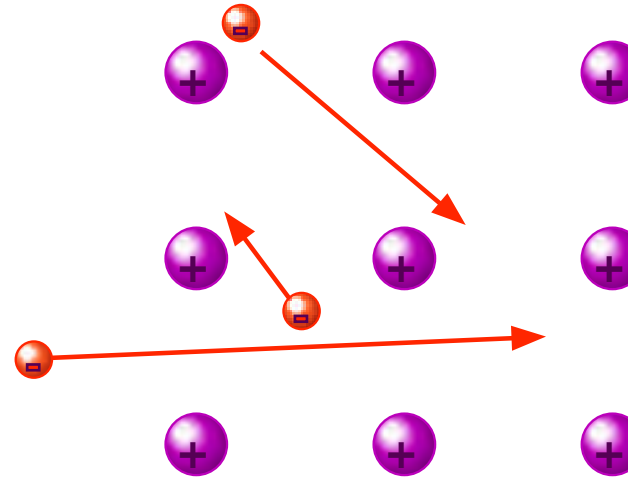
5) Freie Elektronen

Fermi



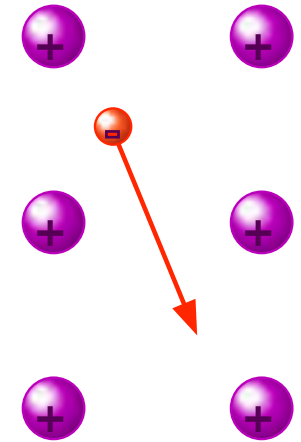
Valenzelektronen:

- ballistische Bewegung
- kurze Stöße



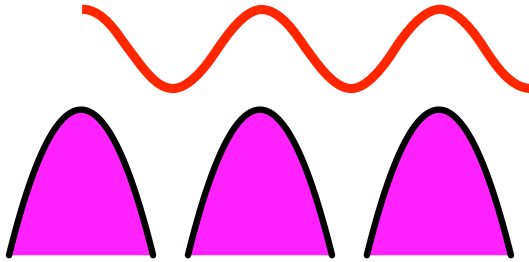
Atomrümpfe:

- klein
- statisch

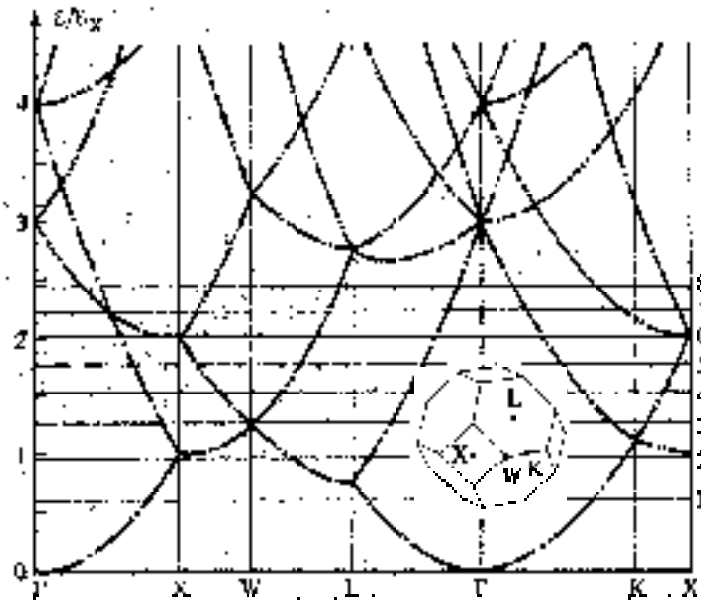


6) Bandstrukturen

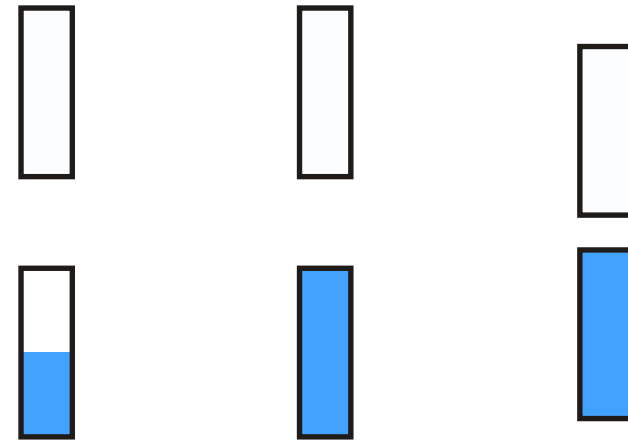
Elektronen im
periodischen Potenzial



Bänder



Bandstruktur und Leitfähigkeit



Metall

Isolator

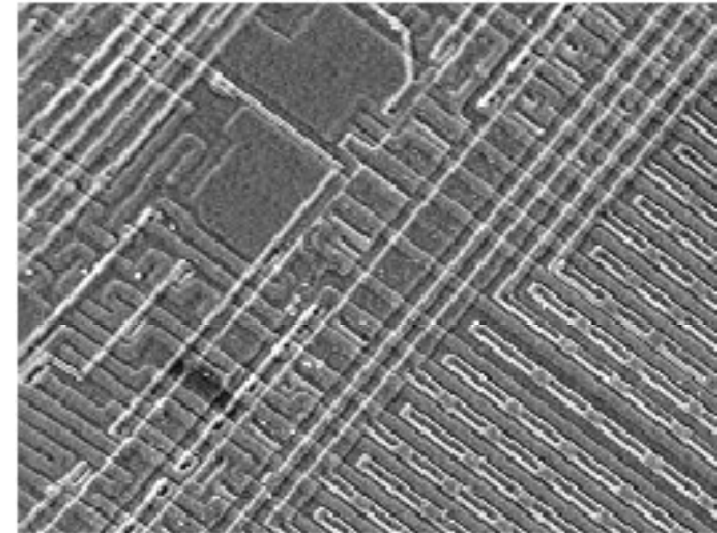
Halbleiter

7) Halbleiter

Transistor



Mikroelektronik



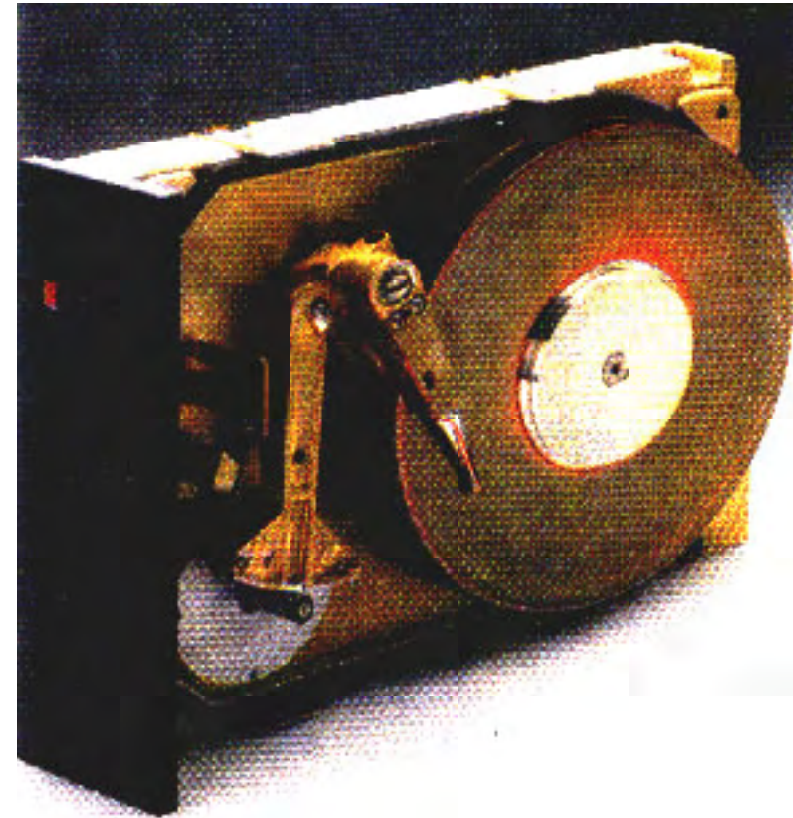
Optoelektronik



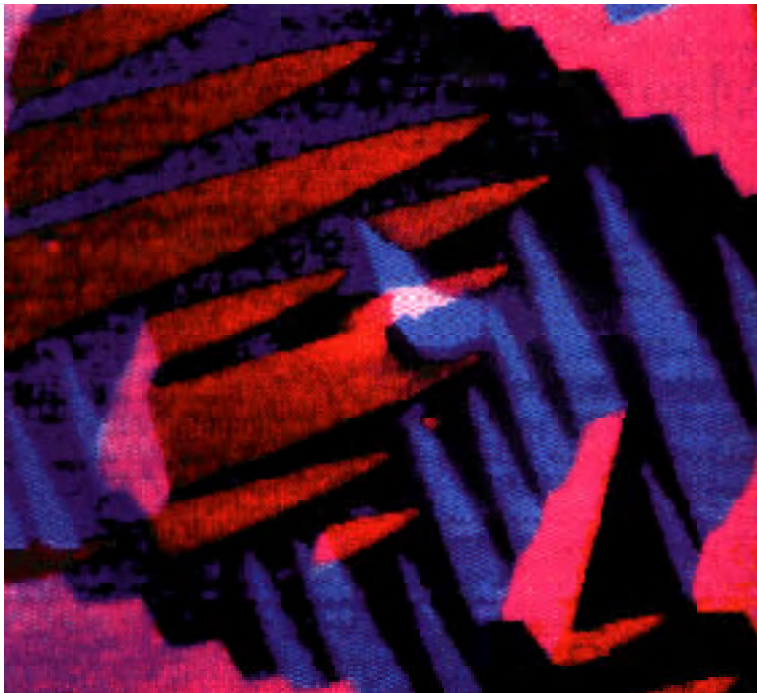
8) Magnetismus



Magnetische Datenspeicher

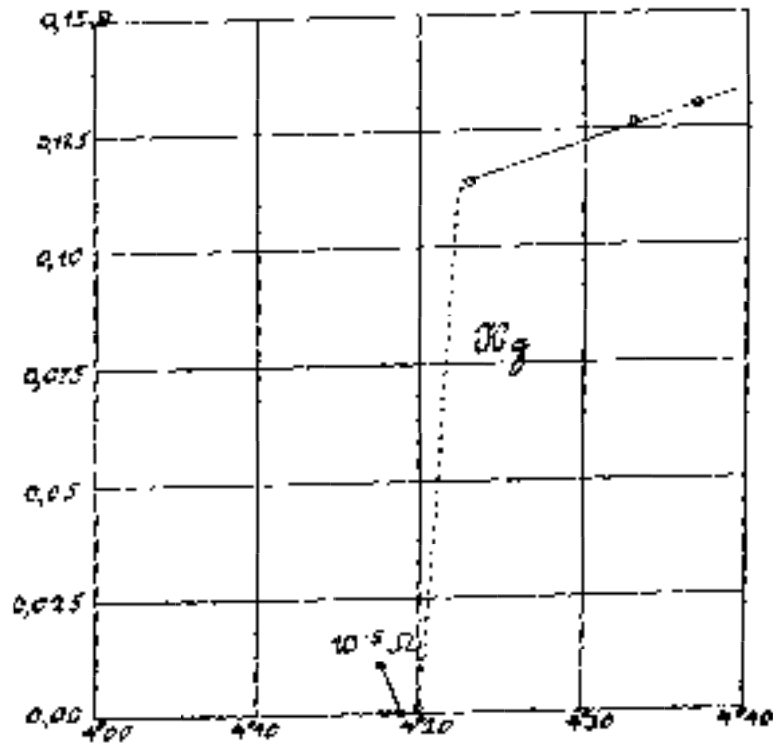
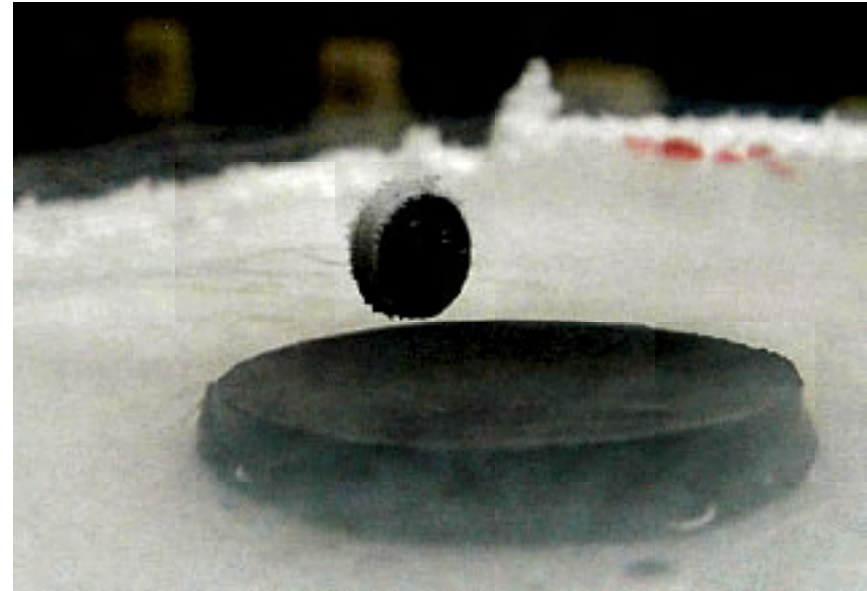


Magnetische Domänen



9) Supraleiter

Meissner Effekt

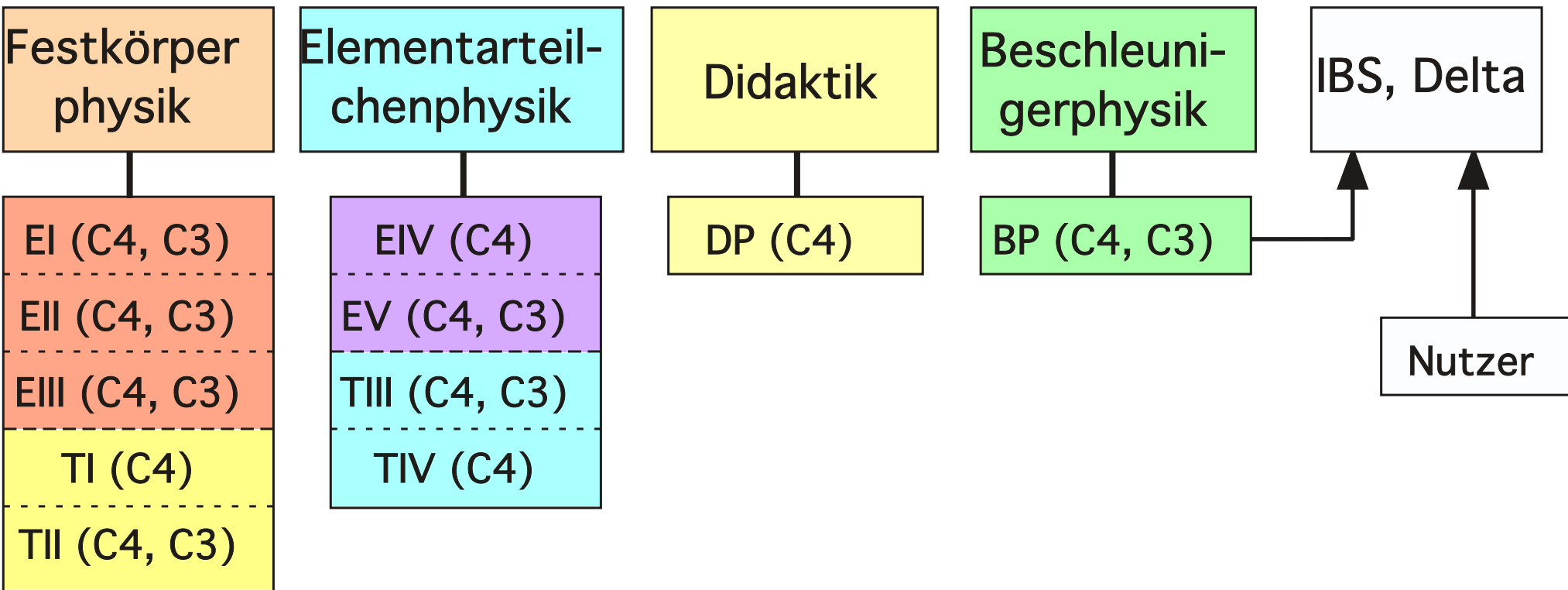


Entdeckung der Supraleitung durch
Kammerlingh Onnes (Leiden, 1911)



Japanischer Hochgeschwindigkeitszug

Fachbereich Physik



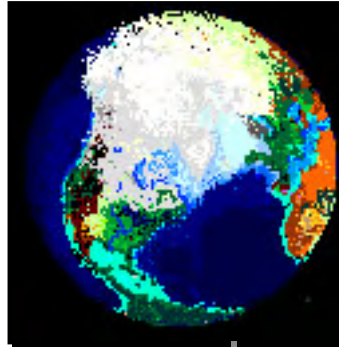
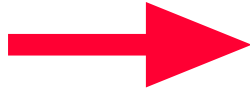
Spektroskopie

Experiment



Quelle:

Laser
rf Synthesizer
...



Probe:

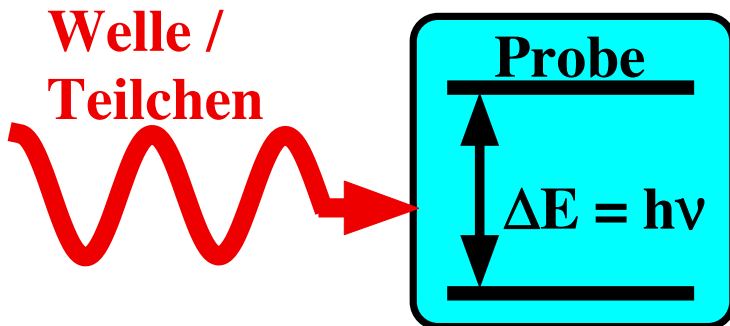
Festkörper
Flüssigkeit
...



Detektor:

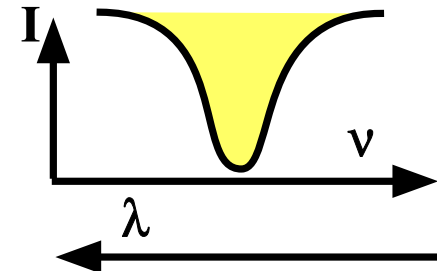
Photodiode
Transistor
...

Prinzip: resonante Absorption



Resultat

transmittierte
Leistung als Funktion
der Frequenz
= Spektrum

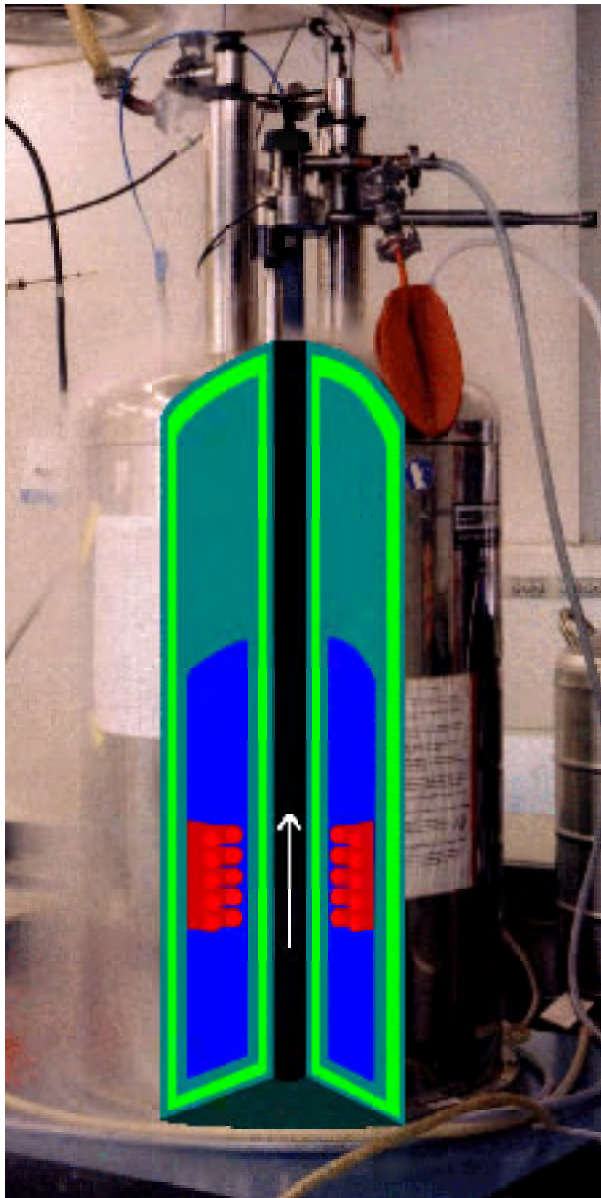


DELTA

D Dortmunder
EL Elektronen
T Testspeicher
A Anlage

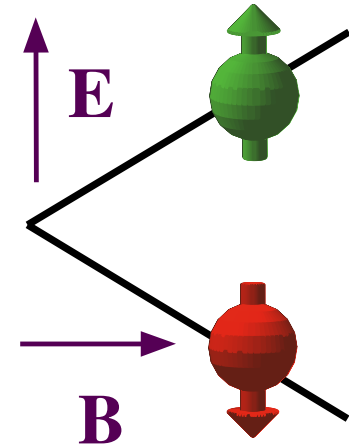


Magnetische Resonanz



Prinzip

Die MR misst Übergänge zwischen unterschiedlichen Spin-Zuständen. Diese werden durch ein magnetisches Wechselfeld im Radiofrequenzbereich angeregt.



Geschichte

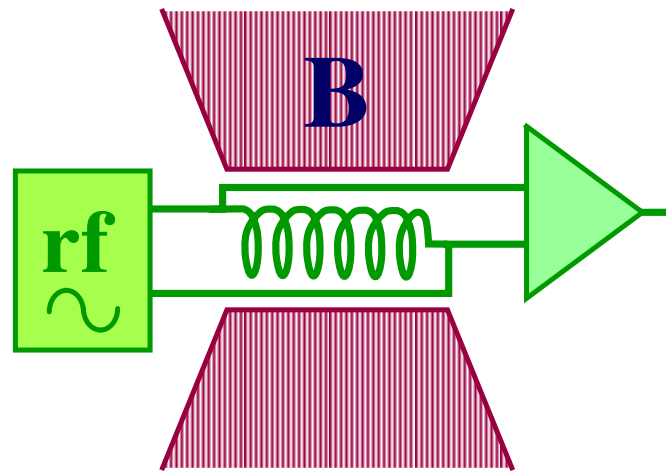
1944 Elektronenspinresonanz
durch Y.K. Zavoysky (Kazan)

1945 Kernspinresonanz durch

Bloch, Hansen,
Packard (Stanford)

und (unabhängig)

Purcell, Pound,
Torrey (MIT)

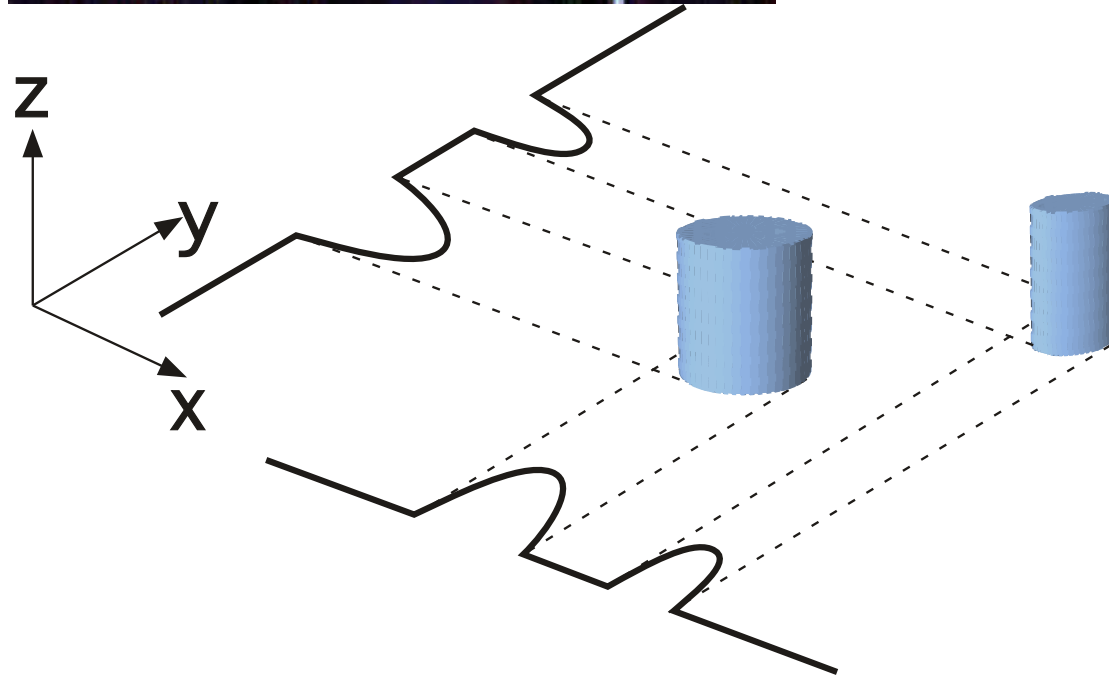


Bildgebende MR



Um feststellen zu können, wo im Körper sich Spins befinden, muß das Signal ortsabhängig gemacht werden.

Dies geschieht über ein Magnetfeld dessen Stärke als Funktion des Ortes variiert. Dabei erfolgt eine Projektion auf die Richtung des Feldgradienten.

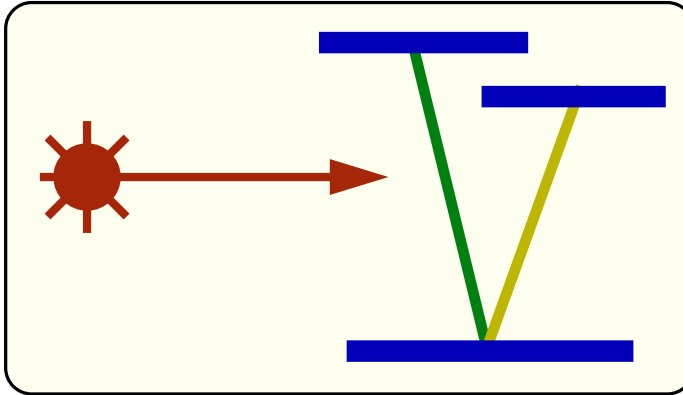


Magnetfeld und Resonanzfrequenz nehmen von links nach rechts zu

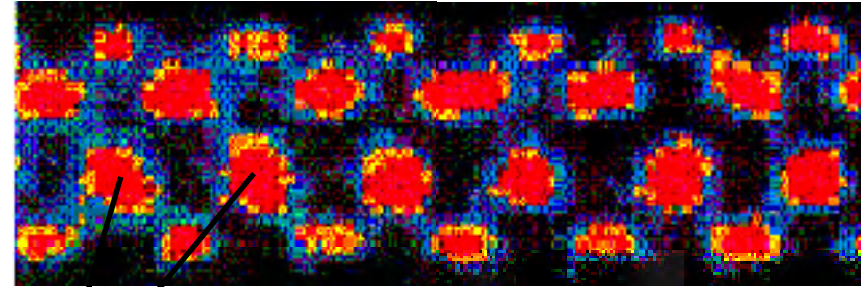
Laserspektroskopie

Prinzip

Laserlicht bringt ein System in energetisch höherliegende Zustände



Empfindlichkeit



Mg⁺ Ion

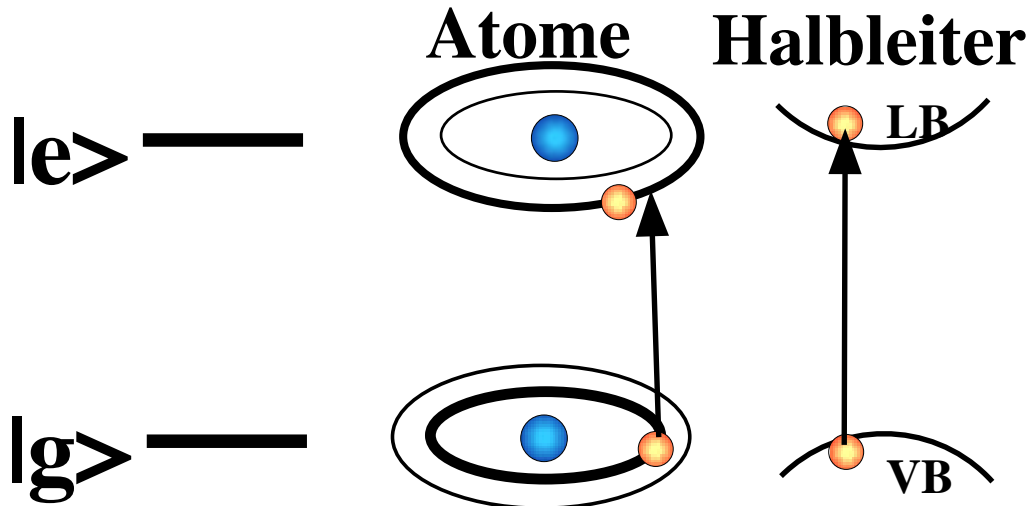
Zeitliche Auflösung:

$$\Delta t < 10^{-14} \text{ sec} \quad \rightarrow \quad \text{E II}$$

Spektrale Auflösung:

$$\Delta \nu / \nu > 10^{-15}$$

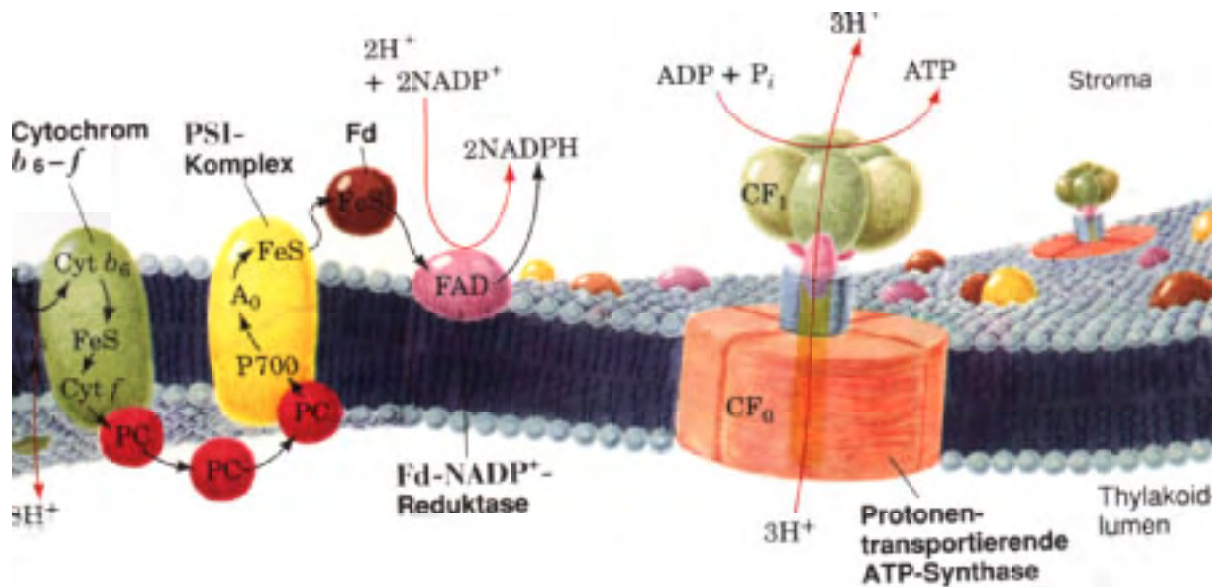
Zustände und Systeme



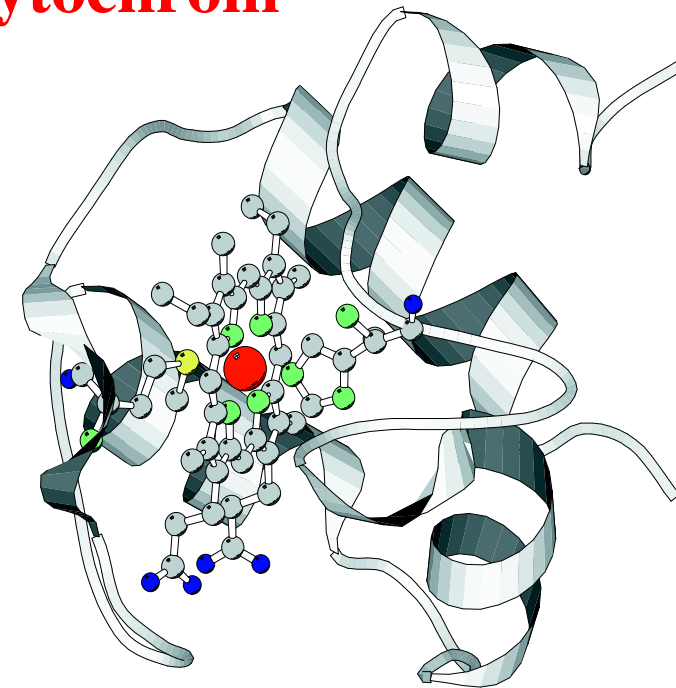
Metalloproteine

Rund 30% aller Enzyme enthalten mindestens ein Metallion, welches für die Funktion des Proteins unentbehrlich ist.

Beispiele:
Elektronenübertragung, Atmung

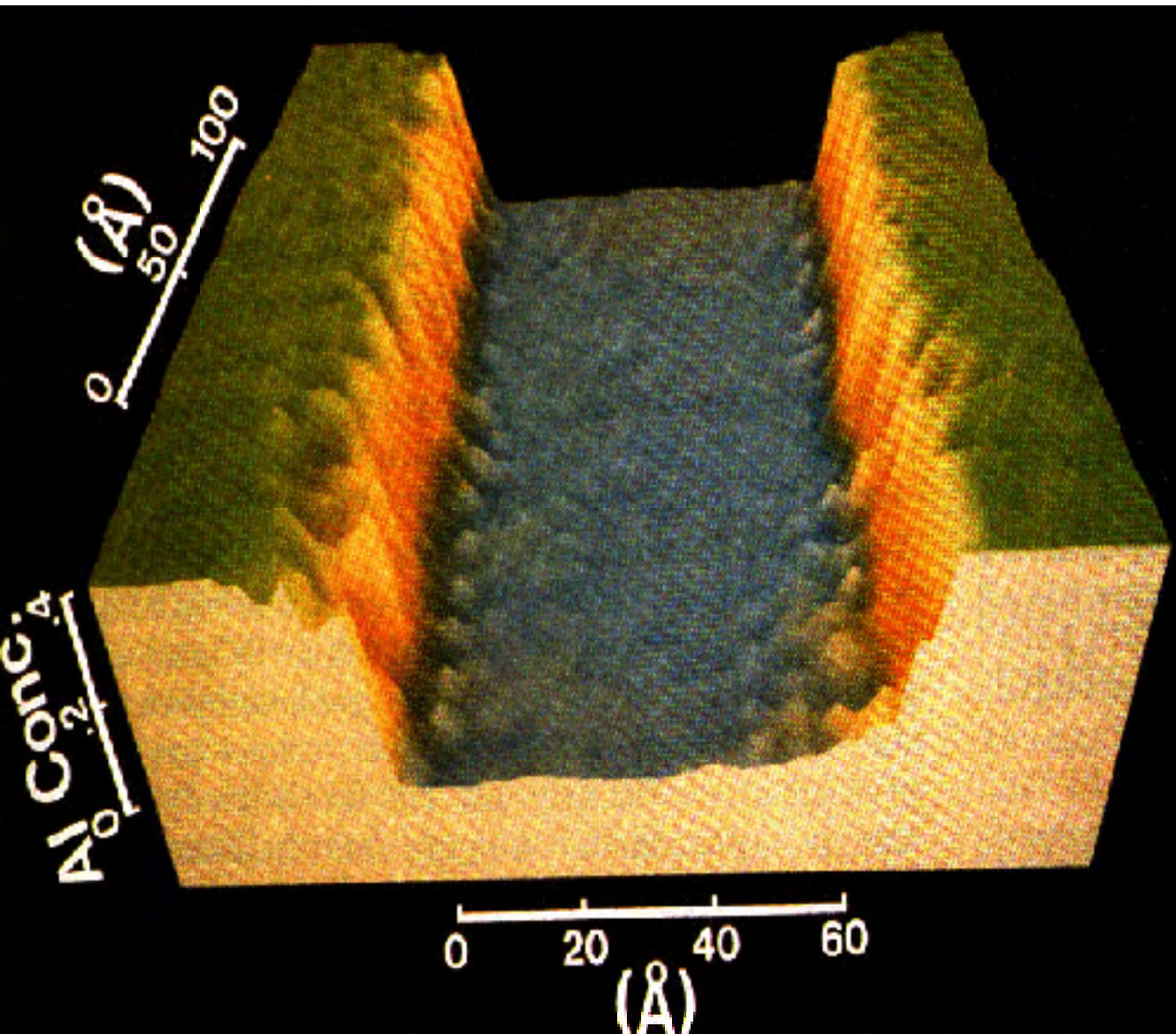


Cytochrom



Elektronenspinresonanz (ESR) ist ein sehr nützliches Hilfsmittel für Untersuchungen über die Struktur des aktiven Zentrums. Wir verwenden besonders optische Nachweismethoden.

GaAs Quantenfilme



Quantenfilme
(=Quantentöpfe)

- werden in Halbleiterlasern verwendet
- stellen eine Realisierung des "Teilchens im Potenzialtopf" dar.

Fullerene als Qubits

0	1	0	1
1	0	1	1
1	1	1	0

