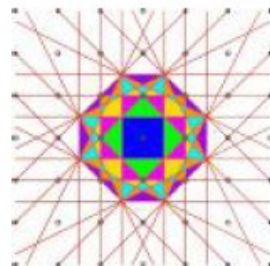
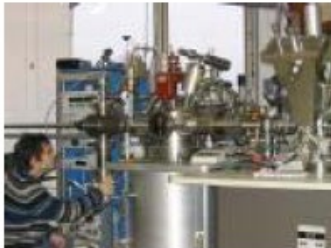
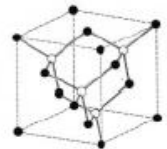
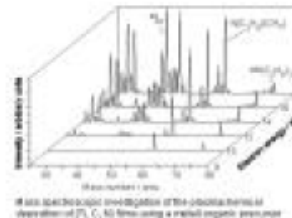


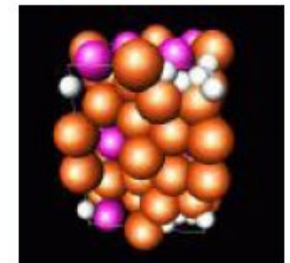
Einführung in die Festkörperphysik

B.Sc. + Lehramt Physik: Experimentalphysik Va
B.Sc. Materialwissenschaften: Einführung in die Festkörperphysik I

Prof. Dr. Uwe Klemradt
II. Physikalisches Institut B



RWTH AACHEN
UNIVERSITY



1. Organisatorisches: Vorlesungen (1)

- Di. und Do. 14:30 – 16:00 Uhr, H03
- Physik: V3 (zusätzlich Vorlesung Exp.Vb – Teilchenphysik)
- Materialwissenschaften: V2 → nicht alle Themengebiete

Vorlesungswoche	Kalenderwoche	Vorlesung			Übung	
		Di 14.30-16:00	Do 12:30-14:00	Do 14.30-16:00	Mo	
1	41	8. Okt.	10. Okt.	10. Okt.		
2	42	15. Okt.	17. Okt.	17. Okt.	14. Okt.	Übung 1 (Präsenz)
3	43	22. Okt.	24. Okt.	24. Okt.	21. Okt.	
4	44	29. Okt.	31. Okt.	31. Okt.	28. Okt.	Übung 2
5	45	5. Nov.	7. Nov.	7. Nov.	4. Nov.	
6	46	12. Nov.	14. Nov.	14. Nov.	11. Nov.	Übung 3
7	47	19. Nov.	21. Nov.	21. Nov.	18. Nov.	
8	48	26. Nov.	28. Nov.	28. Nov.	25. Nov.	Übung 4
9	49	3. Dez.	5. Dez.	5. Dez.	2. Dez.	
10	50	10. Dez.	12. Dez.	12. Dez.	9. Dez.	Übung 5
11	51	17. Dez.	19. Dez.	19. Dez.	16. Dez.	
	52	Vorlesungsfrei				
	1					
12	2	7. Jan.	9. Jan.	9. Jan.	6. Jan.	Übung 6
13	3	14. Jan.	16. Jan.	16. Jan.	13. Jan.	
14	4	21. Jan.	23. Jan.	23. Jan.	20. Jan.	Übung 7
15	5	28. Jan.	30. Jan.	30. Jan.	27. Jan.	

Exp Va Klemradt	Exp Vb Schael
--------------------	------------------

1. Organisatorisches: Übungen (2)

- Ü1 = zweiwöchentlich als Doppelstunde
Zeit: Mo 8:30 – 10:00 Uhr u. 12:30 – 14:00 Uhr, 8+1 Gruppen
Ort: verschieden (CARL, SemiTemp)
- Spezielle Übungsgruppen:
 - Gruppe 3: Lehramt (empfohlen)
 - Gruppe 10: Materialwissenschaften (verpflichtend)
- Gruppenzuteilung am 11.10.
- Übungsausgabe in Moodle montags
Bearbeitungszeit: 1 Woche (3er-Gruppen erwünscht)
Abgabe: Hochladen in Moodle
Übungsbeginn: 14.10. mit Präsenzübung (Tutorium, keine Abgabe)
Korrektur: Anmerkungen in hochgeladener Datei
Vorrechnen an Whiteboard

1. Organisatorisches: Übungen (3)

Übungsplan und Klausuren:

Vorlesungs- woche	KW	Übungen Montag	Übung 1	Übung 2	Übung 3	Übung 4	Übung 5	Übung 6	Übung 7	Klausur
1	41									
2	42	14.10.	Präsenzüb.	Ausgabe 14.10.						
3	43			Abgabe 21.10.						
4	44	28.10.		Besprechung	Ausgabe 28.10.					
5	45				Abgabe 04.11.					
6	46	11.11.			Besprechung	Ausgabe 11.11.				
7	47					Abgabe 18.11.				
8	48	25.11.				Besprechung	Ausgabe 25.11.			
9	49						Abgabe 02.12.			
10	50	09.12.					Besprechung	Ausgabe 09.12.		
11	51							Abgabe 16.12.		
12	2	06.01.						Besprechung	Ausgabe 06.01.	
13	3								Abgabe 13.01.	
14	4	20.01.							Besprechung	
	6									PT1: 07.02.
	13									PT2: 25.03.

Klausurzulassung gemäß geltender Prüfungsordnung:

Physik: 50% der Punkte + 1 x Vorrechnen

Materialwissenschaften: - keine formalen Zulassungsvoraussetzungen
- Bonuspunkteregelung

**Klausur am
7. Februar
2025**

1. Organisatorisches (4)

Moodle:

Ein Lernraum für die gesamte Veranstaltung:

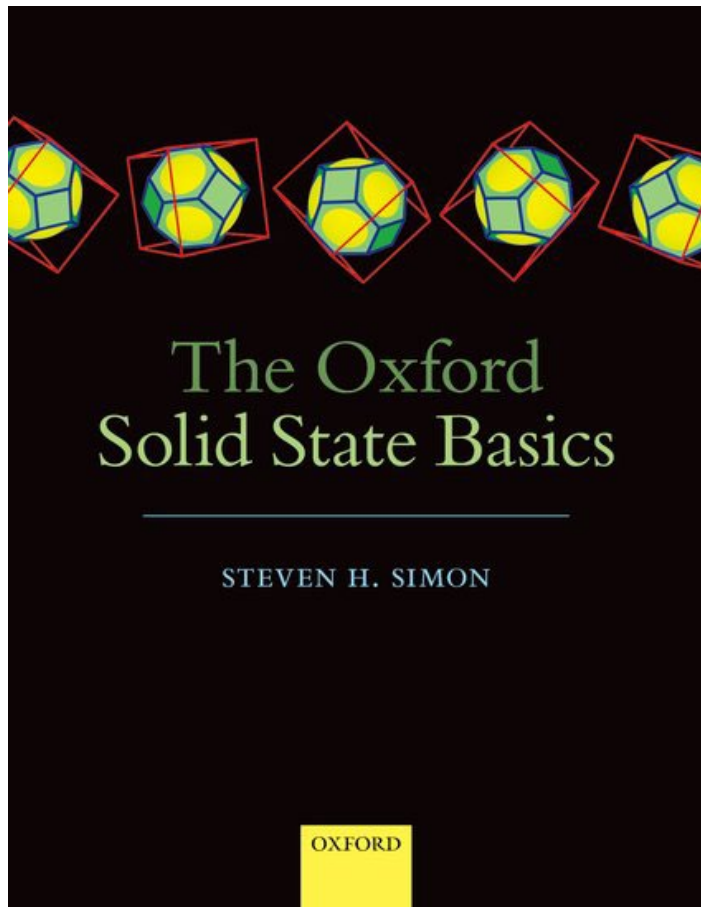
- Vorlesungsunterlagen (alle Studiengänge)
- Übungen: getrennte Ordner für (1) B.Sc. + Lehramt Physik
und (2) B.Sc. Materialwissenschaften

Nacharbeiten der Vorlesung:

- Präsentationen u. Anschriebe → Lernraum
- Zusatzmaterialien → Lernraum
- Skript: - Lehrbuch S. Simon, Oxford Solid State Basics (Teile I – IV)
- eigene Unterlagen (Teile V – VI)

1. Lehrbuch (5)

Die Vorlesung folgt in den ersten Kapiteln diesem Lehrbuch:



- Oxford-Kurs Festkörperphysik für Bachelorstudiengang
- andere Herangehensweise als Standard-Lehrbücher:
 - kurzes Lehrbuch
 - Betonung von Konzepten
 - Kristalle erst später behandelt
- Paperback: € 43,65
ebook: unterschiedlich!
ISBN: 978-0199680771
- Ausleihmöglichkeit an der RWTH (gedruckt + elektronisch)

1. Inhaltsübersicht (6)

- **Einführung**
- **I: Festkörperbeschreibung ohne Mikrostruktur**
- **II: Struktur von Materialien**
- **III: Festkörpermodelle in 1D (“Toy Models“)**
- **IV: Kristallgitter**
- **V: Streuung und Beugung**
- **VI: Elektronen im Festkörper**
- **Appendix: Übersichten zu Halbleitern / Magnetismus / Supraleitung**

1. Inhaltsübersicht (6)

- Einführung
- I: Festkörperbeschreibung ohne Mikrostruktur
- II: Struktur von Materialien
- III: Festkörpermodelle in 1D (“Toy Models“)
- **IV: Kristallgitter**
- V: Streuung und Beugung
- VI: Elektronen im Festkörper
- Appendix: Übersichten zu Halbleitern / Magnetismus / Supraleitung

nicht relevant für Materialwissenschaften (V2)

1. Weitere empfohlene Lehrbücher (7)

- **Kopitzki, Herzog: Einführung in die Festkörperphysik**

Springer, 7. Auflage (2017), 524 S., € 59,99

Einführendes Standardwerk



- **Ibach, Lüth: Festkörperphysik - Einführung in die Grundlagen**

Springer, 7. Auflage (2009), 532 S., € 79,99

*Standardwerk, anspruchsvoller u. experimenteller orientiert
- derzeit in Überarbeitung -*



- **Kittel: Einführung in die Festkörperphysik**

Oldenbourg, 15. Auflage (2013), 754 S., vergriffen

*Standardwerk, breit angelegt,
übersichtliche Zusammenfassungen*



1. Weitere empfohlene Lehrbücher (8)

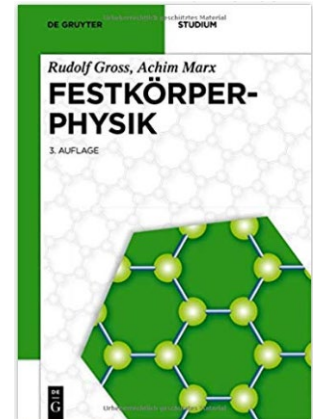
Für Studierende mit zukünftigem Schwerpunkt Festkörperphysik:

- **Gross, Marx: Festkörperphysik**

De Gruyter, 4. Auflage (2022), 1086 S., € 79,95

*Anspruchsvoller, aber verständlich geschrieben,
Aufgreifen moderner Forschungsthemen.*

Modernes Standardwerk



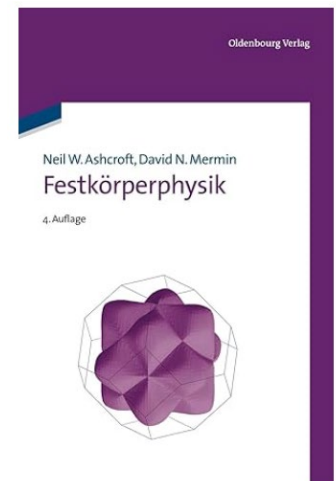
- **Ashcroft, Mermin: Einführung in die Festkörperphysik**

Oldenbourg, 4. Auflage (2012), 1080 S., € 144,44 Reprint

*Enzyklopädisches Werk zwei bekannter Theoretiker aus
den 1970er Jahren. Sehr gute Diskussionen subtiler
Aspekte, keine Berücksichtigung aktueller Themen.*

Standardwerk, aber als Einstieg nicht gut geeignet.

Für Enthusiasten!



1. Einführung (9)

Fest.körper.physik

Eine Zustands-
Beschreibung.

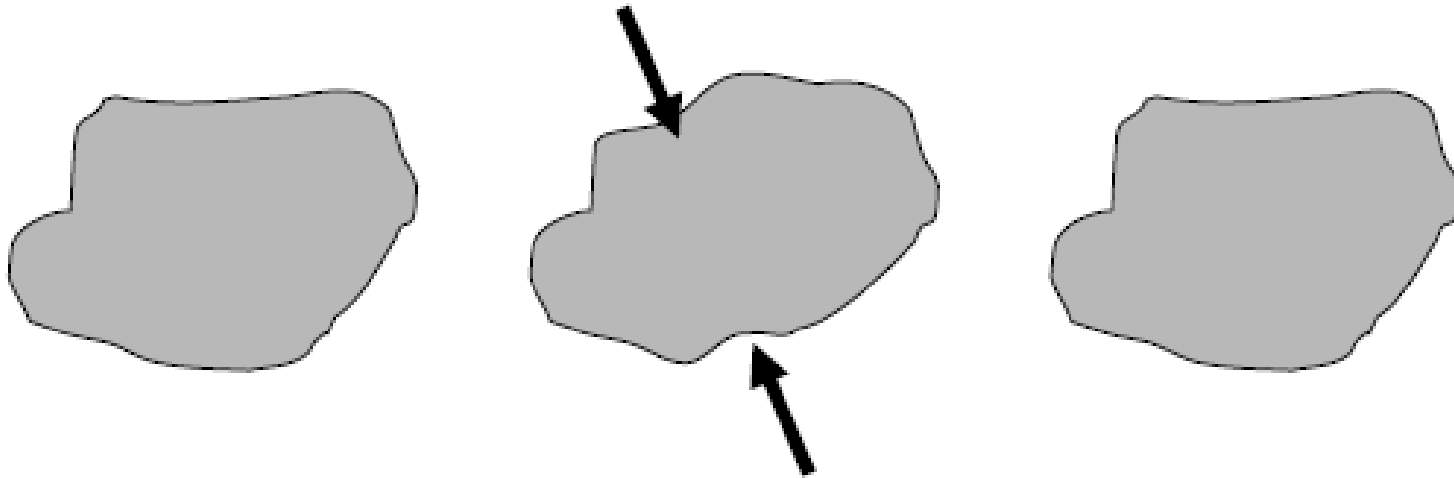
Ein Objekt, das Raum
einnimmt und Masse besitzt.

Beschreibung unseres Wissens
über die Natur,
in diesem Zusammenhang
unseres Wissens über Festkörper.

Exkurs: Was ist ein Festkörper?

Ein Festkörper ist ein Körper, der seine Form behält (Formstabilität).

Der Körper kann sich unter Beanspruchung deformieren, kehrt aber zur Ausgangsform zurück bei Wegfall der Belastung (= elastische Verformung).



Woraus besteht ein Festkörper?

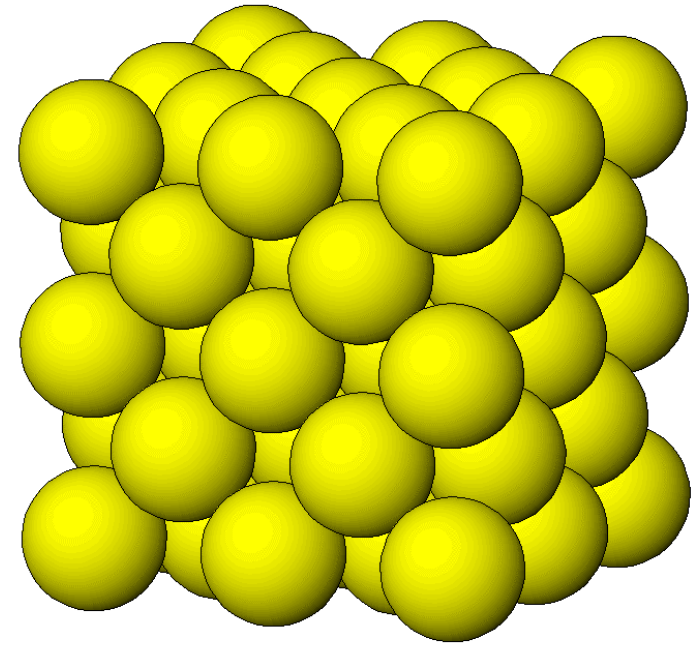
[illegible]

Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.

Design Copyright © 1997 [Michael Dayah](http://www.dayah.com) (michael@dayah.com). <http://www.dayah.com/periodic/>

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.

57 La Lanthan 138.9055	58 Ce Cer 140.116	59 Pr Praseodym 140.90765	60 Nd Neodym 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967
89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03588	92 U Uran 238.02891	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

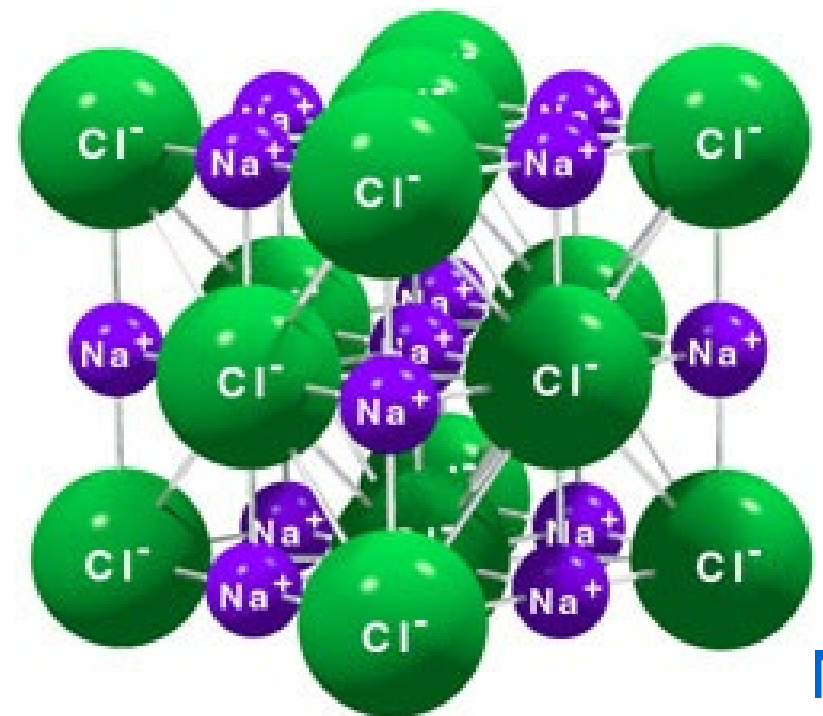


Metallische Bindung



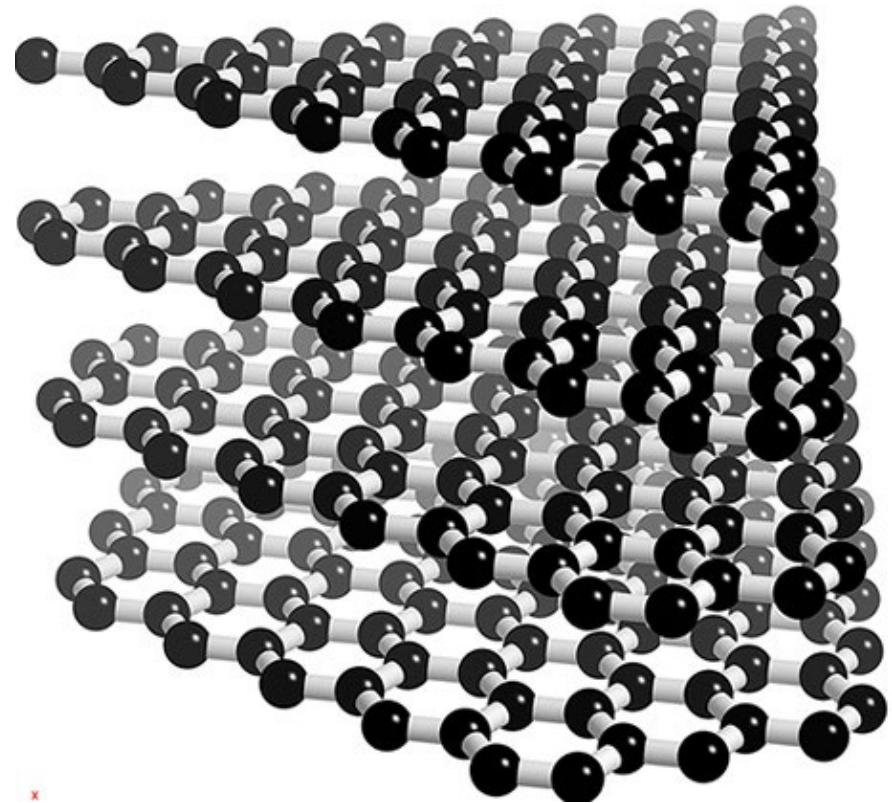


Ionische Bindung





Kovalente Bindung





News Front Page



Africa
Americas
Asia-Pacific
Europe
Middle East
South Asia
UK
Business
Health

Science/Nature

Technology

Entertainment

Last Updated: Friday, 22 October, 2004, 13:18 GMT 14:18 UK

 E-mail this to a friend

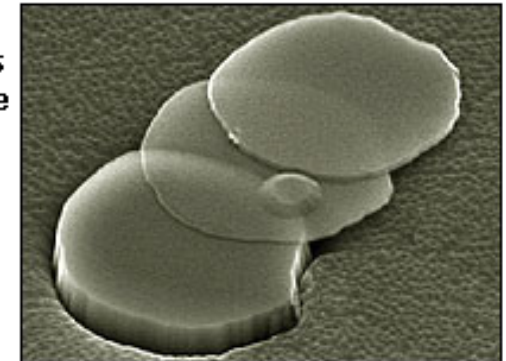
 Printable version

Radical fabric is one atom thick

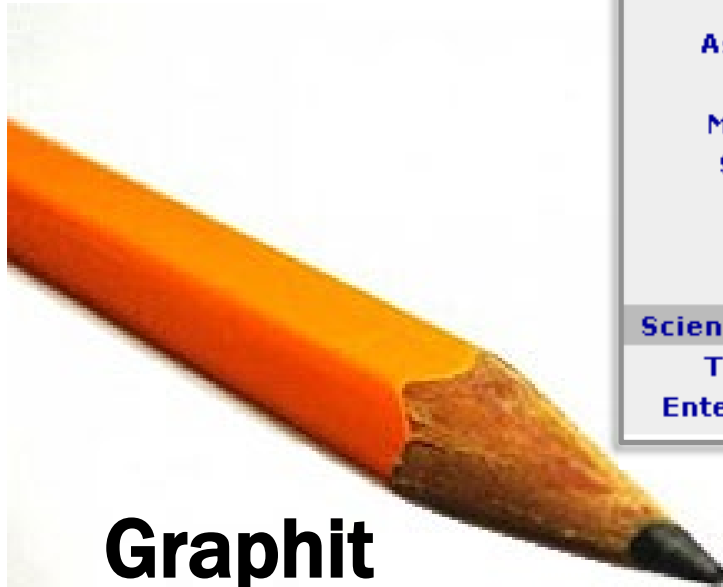
A new class of material, which brings computer chips made from a single molecule a step closer, has been discovered by scientists.

Called graphene, it is a two-dimensional, giant, flat molecule which is still only the thickness of an atom.

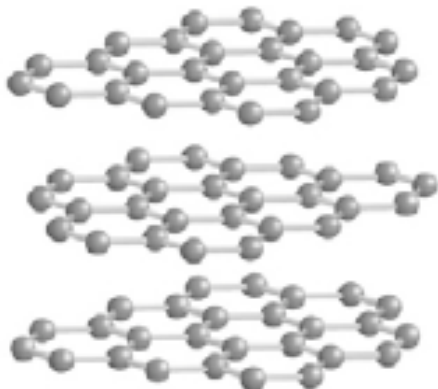
The nanofabric's remarkable electronic properties mean that an ultra-fast and stable transistor could be made.



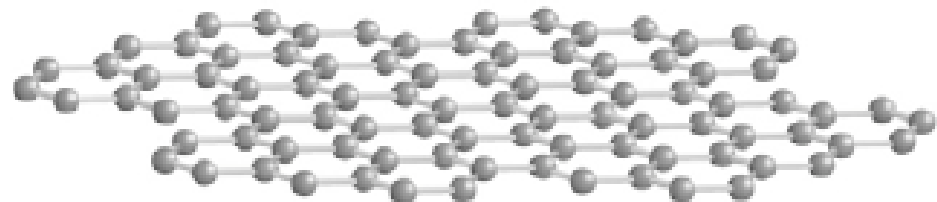
The new class of material is much more stable than others



Graphit



Graphen



Festkörperphysik als Grundlage der Elektronik

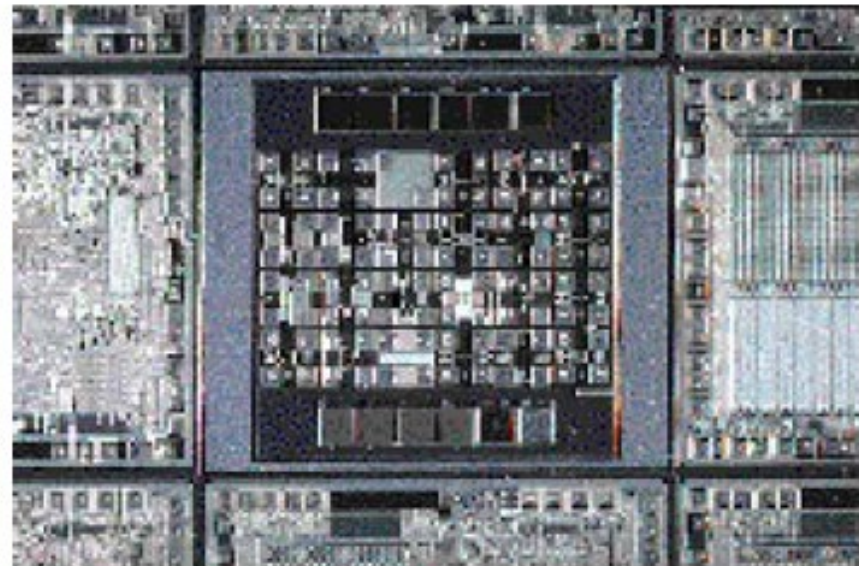
1. transistor



1948

Germanium

typical computer chip

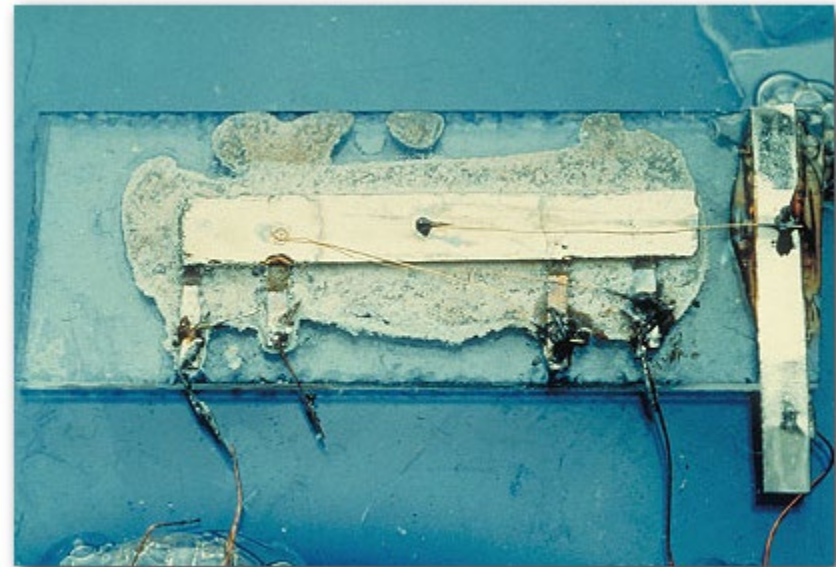
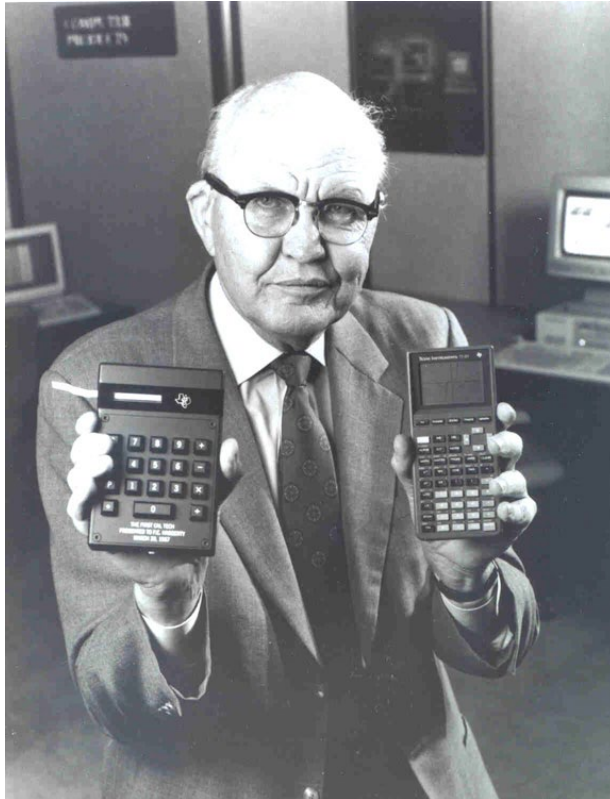


2005

Silizium

Nobelpreis für Physik im Jahr 2000

1958: Jack Kilby of Texas Instruments built the first integrated circuit (IC) using germanium (Ge) devices. It consisted of one transistor, three resistors, and one capacitor. The IC was implemented on a sliver of Ge that was glued on a glass slide.



Jack Kilby's first working integrated circuit, tested on September 12, 1958, consisting of a transistor and other components on a sliver of germanium, $7/16 \times 1/16$ inches, which revolutionized the electronics industry. Kilby often remarked that if he'd known he'd be showing the first working integrated circuit for the next 40-plus years, he would have "prettied it up a little."

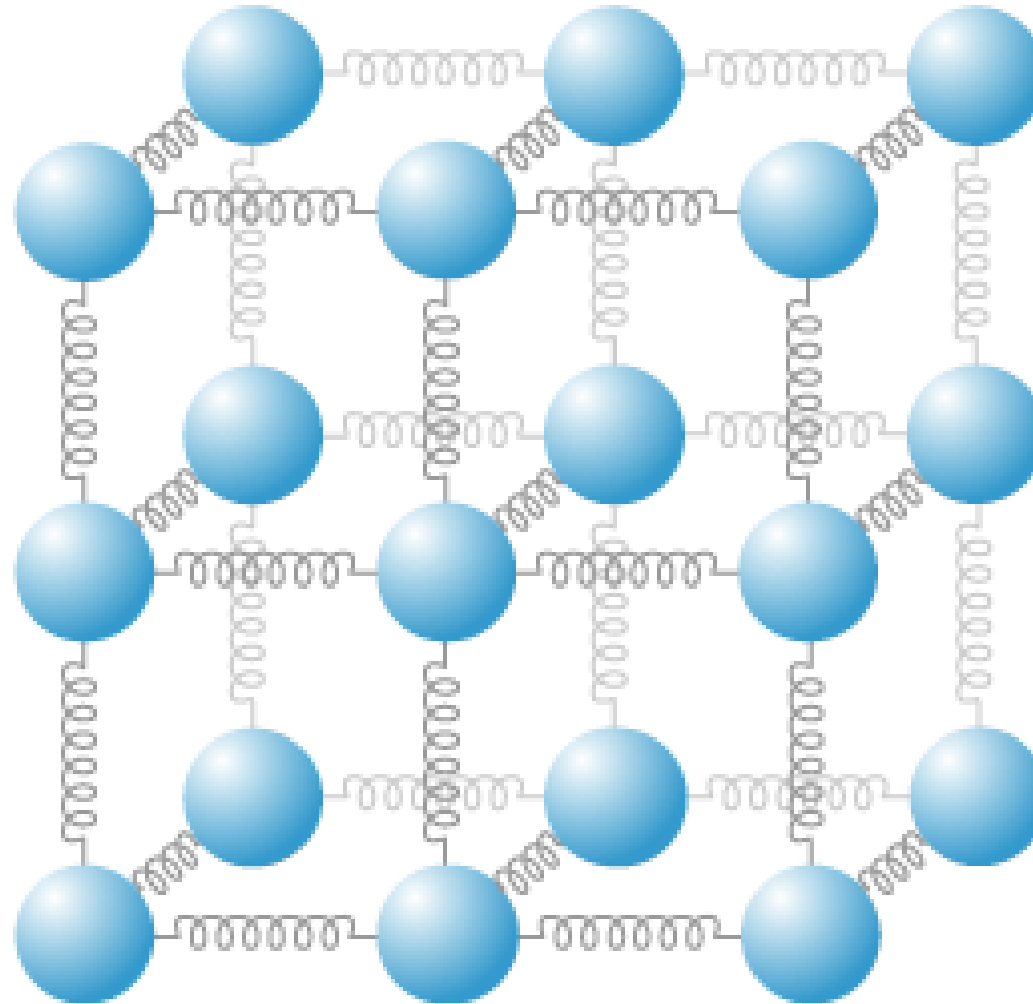
Typische Fragestellungen in der Festkörperphysik:

Wieso leiten Metalle Strom und Isolatoren nicht?

Warum werden Computer-Chips aus Halbleitern (zB. Silizium) hergestellt?

Wieso verhalten sich Elektronen im Kristall ähnlich wie freie Elektronen?

Weitere Fragen: Berücksichtigung von Gitterschwingungen?

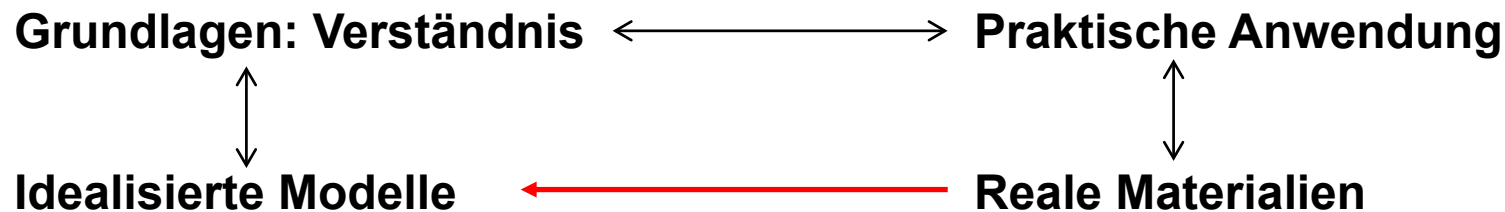


Zusammenhang mit thermischer Ausdehnung?



1. Phänomene u. Skalen in der Festkörperphysik (10)

Festkörper-Phänomene:



- Festkörperphysik wichtig für Anwendungen in Industrie u. Gesellschaft
- Gleichzeitig ein fantastisches Labor für Vielteilchenphysik!

1. Phänomene u. Skalen in der Festkörperphysik (11)

Table 1.1

Phenomena	Measurables	Variables
Structural	Space symmetries	T, P
	Interatomic spacing	
	Atomic and ionic volumes	
Mechanical	Elastic constants	$T, P, \text{structure}$
	Critical shear stress	
	Dislocation densities	
Thermal	Heat capacity	$T, P, V, \mathbf{B}, \text{structure}$
	Heats of transformation	
	Thermal conductivity	
	Atomic diffusion	
	Defect densities	
Electrical	Conductivity/resistivity	$T, P, E, \mathbf{B}, \hbar\omega, \text{structure}$
	Optical reflectivity	
	Polarizability	
	Thermoelectric power	
Magnetic	Dipole moment	$T, P, \mathbf{B}, \text{structure}$
	Susceptibility	
	Spectroscopic state	
	Magnetic structure	
Dielectric	Polarizability	$T, E, \hbar\omega, \text{structure}$
	Dielectric constant	
	Optical absorption	

When we consider other than the pure elements it is clear that chemical composition, as for an alloy or compound, is a very important variable; in many cases the preparation of suitable specimens can demand great skill and considerable effort.

Temperatur: mK – 3000 K

Druck: 10^{-10} – 10^{10} Pa

Magnetfeld: 10^{-15} – 50 T

Elektrisches Feld: $< 10^9$ V/m

Streuung von Teilchen:

Photonen, : meV – MeV

Neutronen

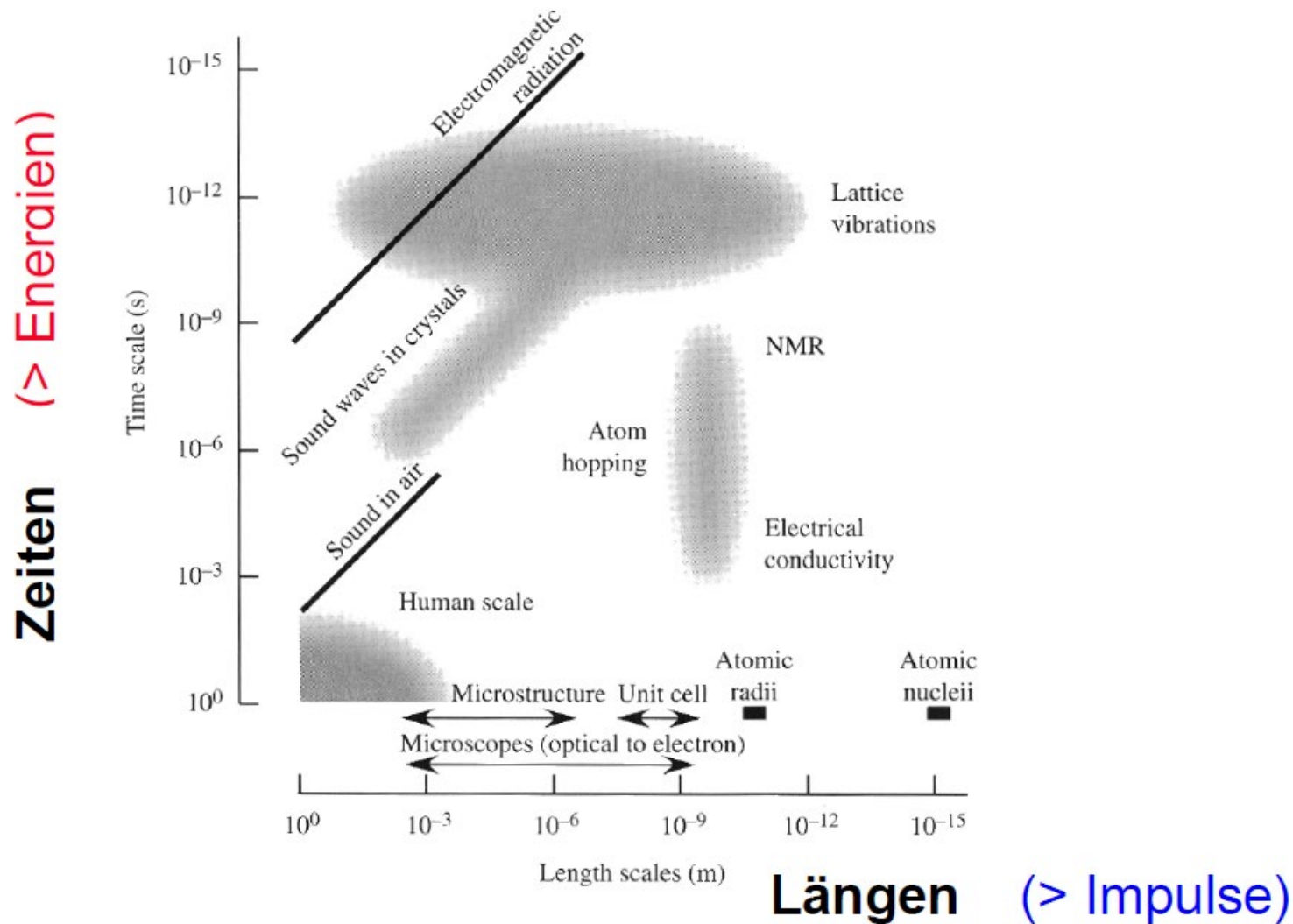
Elektronen: eV – MeV

Ionen: keV – MeV

Zum Vergleich:

Raumtemperatur entspricht
 $1/40 \text{ eV} = 25 \text{ meV}$

1. Phänomene u. Skalen in der Festkörperphysik (12)



1. Dispersionsrelationen (13)

Ursprung der Bezeichnung: lat. Dispergere „zerstreuen, verteilen“

Auffächerung weißen Lichtes in Farbspektrum nach Durchgang durch ein Prisma

Ursache: Brechungsindex hängt von der Wellenlänge ab: $n = n(\lambda)$

Heute verallgemeinerte Verwendung für jede wellenlängenabh. physikalische Größe, insbesondere Frequenzen (Energien) von Anregungen (z.B. Wellen).

Typische Angabe als Funktion der Wellezahl $k = 2\pi/\lambda$

Bsp.: Schallwellen der Fortpflanzungsgeschw. $c = \frac{\lambda}{T} = \frac{2\pi/T}{2\pi/\lambda} = \frac{\omega}{k}$

$\omega = c k$ lineare Dispersion (in $k = \frac{2\pi}{\lambda}$)

1. Einleitung: Entwicklung der Festkörperphysik (14)

Wichtige Etappen:

- Makroskopische Phänomenologie (1700-1900)

Bsp.: Elastizitätstheorie der Kristalle (Voigt)

- Durchsetzen atomistischer Vorstellungen (1900-1930)

Bsp.: Freies Elektronengas (Drude)

- Anwendung der Quantentheorie (seit 1930)

Bsp.: Freies Elektronengas (Sommerfeld)

Bsp.: Bloch-Wellen, Magnetismus (Heisenberg)

- Untersuchung extrem sauberer Oberflächen

Bsp.: UHV-Technologie (ab ca. 1960)

- Herstellung und Untersuchung künstlicher + kleiner Strukturen:

Bsp.: dünne Filme (seit 1980)

Bsp.: Quantendrähte und Punkte (seit 1990)

> Nanotechnologie