

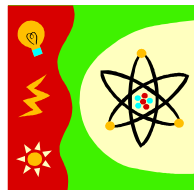
BIOPHYSIK 2025 - 2026

Wintersemester

**Technische Einleitung:
Persönliche Information
Skript/Hilfsmittel und Vorlesungs Informationen
weiter Bemerkungen**

**Si Einheiten, Größenordnungen, Gr. Alphabet, Phys.
Konstanten usw.**

**Vorlesung I & Vorlesung II
(Struktur der Materie)**



BIOPHYSIK

Die Rolle der Biophysik in der Veterinärmedizin

- physikalische Grundlagen von Lebensprozessen
- physikalische Methoden in der Therapie und Diagnostik

Skript: <http://www.kfki.hu/~barnai/univet/>

Rontó, Tarján: Einführung in die Biophysik
Sammelweis Verlag, Budapest 1998

Hilfsmittel

Damjanovich, Fidy, Szöllösi: Medizinische Biophysik
Medicina, Budapest 2007(?)

Inoffiziell: Wikipedia oder sogar youtube ☺,

leider ohne meine Verantwortung ☹

Persönliche Info:

Imre Ferenc Barna, Phd

physiker, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der
Wigner Forschungszentrum in Budapest

Geb: 1972 nov. 13 Studium: TU Budapest 1991-97

Phd: Justus-Liebig Universität, Giessen in 2002

Post doc Wissenschaftler:

2002- 2004 Max Planck Institute für Komplexe Systeme, Dresden

2004 -2005 später an der TU Wien

Alte Forschungsthemen: Theoretische Atomphysik, (genau Ionisation)

Neulich: mathematische Physik, Laser-Atom Wechselwirkungen ☺

Web page: <http://www.kfki.hu/~barnai/>

E-mail: barna.imre@wigner.hun-ren.hu Tel: 392-2222/3504

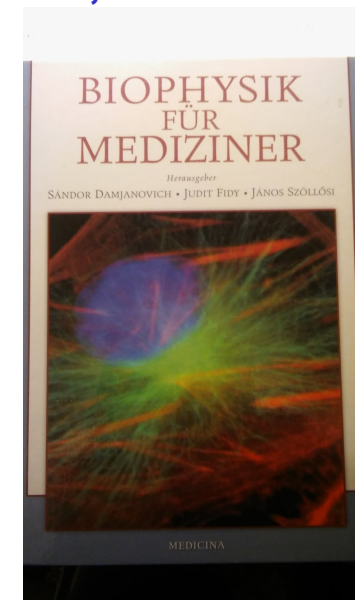


Hilfsmittel, Buch

Damjanovich, Fidy, Szöllösi:

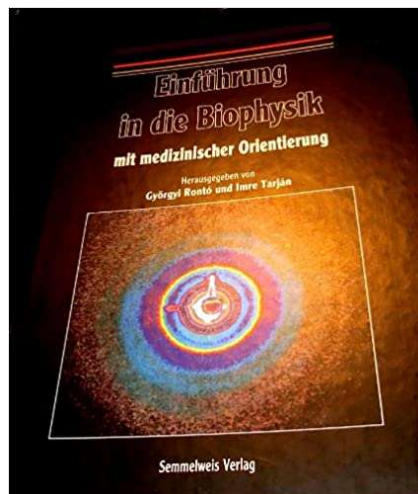
Medizinische Biophysik

Medicina, Budapest 2007

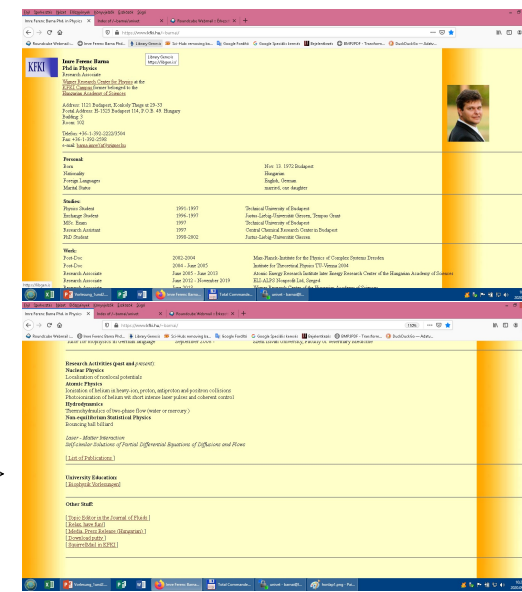


Hilfsmittel, Buch

György Rontó und Imre Tarján
Einführung in die Biophysik
Sammelweis Verlag,
Budapest 1998



Skript: <http://www.kfki.hu/~barnai/univet/>



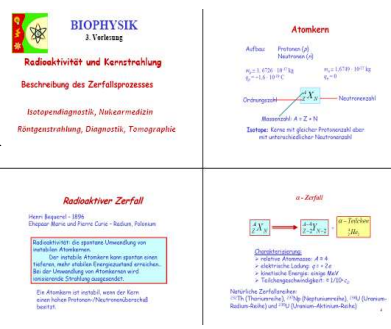
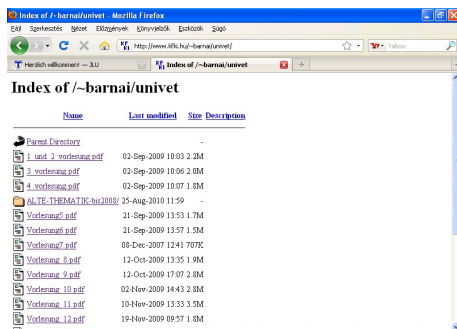
Biophysik Vorlesungen →

BIOPHYSIK

Hilfsmittel

Skript: <http://www.kfki.hu/~barnai/univet/>

- sind farbige .pdf files
- immer 4 Power Point Slides auf der Seite
- eine Vorlesung ist max 89 Folien lang



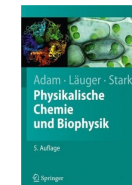
Weitere Hilfsmittel...

aus Library Genesis...

Ein paar deutschsprachige Bücher:
Volker Schünemann
Biophysik: Eine Einführung



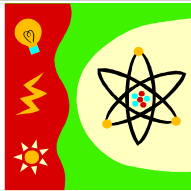
Gerold Adam, Peter Läger, Günther Stark
Physikalische Chemie Und Biophysik



Dr. Helmut Pfützner
Angewandte Biophysik



Sie brauchen keine extra Bücher, nur
das Vorlesungsmaterial für die Prüfung!!!



BIOPHYSIK

Vorlesungsinformationen

Biophysik nur im Herbstsemester, also 1 Semester lang

28 Stunden = 14 Doppelvorlesungen

immer am Dienstag 8:15 bis max 10:00 im Chemie Hörsaal

ohne Pause, (dynamisch 70 - 90 Minuten) **manchmal haben Rechenaufgaben**

Gibt keine Hausaufgaben oder Klasur, oder Praktikum ☺

Schriftliche Prüfung, 45 Minuten Langer Test, 30 - 34 Fragen,

“Multichoice”

4. Prüfungstermine:

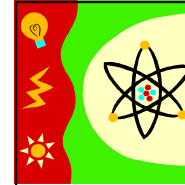
1. vor Weihnachten, 2. Anfang Januar, 3. mitte 4. ende Januar

von 16 Dez. bis 23 Dez.?? 9. Januar?? 16 Januar?? 23. Januar??

Thematik der Vorlesungen

- 1. Einleitung SI Einheiten, Grössenordnungen, Einteilung der Physik, minimale Mathematik **9. Sept.**
- 2. Struktur der Materie Atome, Atomkerne, Gase, Flüssigkeiten, Flüssigkristalle, Festkörper **16. Sept.**
- 3. Ionisierende Strahlungen, Kernstrahlungen, Röntgenstrahlung, Isotopen, Röntgendiagnostik **23. Sept.**
- 4. Dosimetrie, Strahlungsdetektoren, Strahlungsschutz **30. Sept.**
- 5. Strahlenoptik Reflexion, Brechung, Endoskopie, Optische Abbildung, Linsen, Mikroskop **30. Sep.**
- 6. Wellenoptik Licht als Welle, Beugung, Interferenz, Polarization **7. Okt.**
- 7. Quantenoptik Licht als Teilchenstrahlung. Emissionsspektroskopie **14. Okt.**
- 8. Lichtabsorption Absorptionsspektroskopie, Lichtstreuung, Biol. Wirkung des Lichtes **21. Okt.**
- 9. Temperaturstrahlung Thermographie, Lumineszenz, Laser **28. Okt.**
- 10. Sehen, Optik des Auges **4. Nov.**
- 11. Ultraschall **11. Nov.**
- 12. Akustik, Hören **18. Nov.**
- 13. Elektrizität & Magnetismus Anwendungen EKG, MRI **25. Nov.**
- 14. Transport Prozessen Strömung, Diffusion, Wärmeleitung, Grundlagen der irreversiblen Thermodynamik **2. Dez.**
- 15. Biomechanik Formstabilität, Mechanische Beanspruchungen, Mechanische Eigenschaften von biologischen Stoffen **9. Dez.**

Vorlesungszeit: 8 Sept. bis 12. Dez.,



BIOPHYSIK

Prüfung

30 - 34 Fragen, Multichoice (1,2 oder 3 richtige Antworten)
zweiseitiges A4 Blatt, Ein Beispiel:

Name:

Gruppe:

Punkte:

Note:

Biophysik Prüfungsfragen (10. Jan 2018)

- 1) Zellenmembran erhalten(1) ~~X~~ Lyotrope Flüssigkristallen, B hochviskose Schmelzen, C Apatit kristalle
D Uranatomen
- 2) Bernoullisches Gesetz gilt für(1) A ideale Flüssigkeiten, B Radioaktive
Zerfall, C Licht Absorption für dünne Lösungen, D für das Membranpotenzial.
- 3) Ein Neonatom ist etwa(2): A 10^{-10} meter, B 10^{-18} kg, C etwa 20mal schwerer als der
Proton, D 10^{-15} meter gross.
- 4) Spektrum des absolut schwarzen Körpers hat **KEIN** zusammenhang mit(2) A Wiensches
Verschiebungsgesetz, B Plancksches Gesetz, C Hooksches Gesetz, D Lambert-Beersches Gesetz.
- 5) Lichtgeschwindigkeit ist(2): A im Vakuum das Grösste, B im Blut ist etwa 40,000 km/s,
C im Medium ist grösser als im Luft, D 300,000 km/s im Vakuum.

Ein paar allgemeine Bemerkungen

GRIECHISCHES ALPHABET

Benennung	kleiner Buchstabe	großer Buchstabe			
Alpha	α	A			
Beta	β	B	Π	π	Π
Gamma	γ	Γ			
Delta	δ	Δ	Rho	ρ	Ρ
Epsilon	ε	Ε	Sigma	σ	Σ
Zeta	ζ	Ζ	Tau	τ	Τ
Eta	η	Η	Ypsilon	υ	Υ
Theta	θ	Θ			
Iota	ι	Ι	Phi	φ	Φ
Kappa	κ	Κ	Chi	χ	Χ
Lambda	λ	Λ	Psi	ψ	Ψ
My	μ	Μ			
Ny	ν	Ν	Omega	ω	Ω
Xi	ξ	Ξ			
Omkron	ο	Ο			

Alfa, beta, gamma, delta, epsilon, lambda, omega wird gefragt ☺

GRUNDEINHEITEN DES INTERNATIONALEN MASSSYSTEMS (SYSTEME INTERNATIONALE D'UNITES; SYMBOL: SI)

Grundgrößen	Grundeinheiten	
	Bezeichnung	Symbol
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	Amper	A
Thermodynamische Temperatur	Kelvin	K
Stoffmenge	Mol	mol
Lichtstärke	Candelle (candela)	cd

<https://de.wikipedia.org/wiki/Basisgrösse>

Abgeleitete SI-Einheiten mit Spezialbezeichnungen

Größen	Bezeichnung	SI-Einheit Symbol	mit anderen SI-Einheiten ausgedrückt
Ebener Winkel	Radian	rad	m·m ⁻¹
Raumwinkel	Steradian	sr	m ² ·m ⁻²
Frequenz	Hertz	Hz	s ⁻¹
Kraft	Newton	N	J·m ⁻¹
Druck	Pascal	Pa	N·m ⁻²
Arbeit, Energie, Wärmemenge	Joule	J	N·m
Leistung	Watt	W	J·s ⁻¹
Elektrische Ladung	Coulomb	C	A·s
Elektrische Spannung (Potentialdifferenz)	Volt	V	W·A ⁻¹
Elektrische Kapazität	Farad	F	C·V ⁻¹
Elektrischer Widerstand	Ohm	W	V·A ⁻¹
Elektrischer Leitwert	Siemens	S	A·V ⁻¹
Magnetischer Fluxus	Weber	Wb	V·s
Magnetische Induktion	Tesla	T	Wb·m ⁻²
Induktivität	Henry	H	Wb·A ⁻¹
Lichtstrom	Lumen	lm	cd·sr
Beleuchtungsstärke	Lux	lx	lm·m ⁻²
Aktivität von radioaktiven Strahlungsquellen	Becquerel	Bq	s ⁻¹
Energiedosis	Gray	Gy	J·kg ⁻¹
Äquivalentdosis	Sievert	Sv	J·kg ⁻¹

SI-Vorsilben

Vorsilbe	Symbol	der entsprechende Multiplikator
Bezeichnung		
exa	E	10 ¹⁸
peta	P	10 ¹⁵
tera	T	10 ¹²
giga	G	10 ⁹
mega	M	10 ⁶
kilo	k	10 ³
hekto	h	10 ²
deka	da	10
deci	d	10 ⁻¹
centi	c	10 ⁻²
milli	m	10 ⁻³
mikro	μ	10 ⁻⁶
nano	n	10 ⁻⁹
piko	p	10 ⁻¹²
femto	f	10 ⁻¹⁵
atto	a	10 ⁻¹⁸

Beispiel 12 ng = 12·10⁻⁹gramm

Immer eine schöne Prüfungsfrage...

Konstanten und Daten

Universelle Gaskonstante	$R = 8,31 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$
Loschmidtsche (Avogadro) Zahl	$L = 6 \cdot 10^{23} / \text{mol}$
Boltzmann-Konstante	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
Faraday-Konstante	$F = 96500 \text{ C/(mol-Wertigkeit)}$
Planck-Konstante	$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
Lichtgeschwindigkeit (im Vakuum)	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Ladung des Elektrons	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Ruhemasse des Elektrons	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Ruhemasse des Protons	$m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Ruhemasse des Neutrons	$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Koeffizient der Temperaturstrahlung	$\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ J/(m}^2\cdot\text{K}^4\cdot\text{s)}$
Reynoldssche Zahl	$Re = 1160$
Umrechnung zwischen den Logarithmen- systemen	$\ln A = 2,3 \lg A; \log_2 A = 3,3 \lg A$
Grundzahl des natürlichen Logarithmus	$e = 2,718...$

←
Größenordnungen
müssen Sie wissen

Immer eine schöne Prüfungsfrage..

17

Spezifische Wärmekapazität	Wasser:	4,18 kJ/(kg·K)
	Muskel:	3,76 kJ/(kg·K)
	Blut:	3,9 kJ/(kg·K)
	Knochen:	1,3-1,7 kJ/(kg·K)
	Fettgewebe:	3 kJ/(kg·K)
	Körpergewebe (durchschnittlich):	3,5 kJ/(kg·K)
	Oxygen: c_v c_p	0,65 kJ/(kg·K) 0,92 kJ/(kg·K)
Schmelzwärme	Eis:	334,4 kJ/kg
Verdampfungswärme	Wasser (bei 100°C 101 kPa Druck):	2257 kJ/kg
Chemisches Standardpotential	Glukose:	-902,5 kJ/mol
Brechzahl	Luft:	1
	Wasser:	1,333
	Zedernholzöl:	1,5
Massenschwächungs- koeffizient	μ_m (^{24}Na , Pb Abs.):	$5 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$
Hörschwelle	bei 1 kHz:	10^{-12} W/m^2

Immer eine schöne Prüfungsfrage.

←
Für normales
Material immer < 2
Ausnahme Diamant

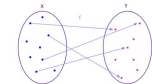
Relative Atommasse	Nitrogen:	14
	Oxygen:	16

Dichte	Aluminium (Al):	2,7 g/cm ³
	Blei (Pb):	11,3 g/cm ³
	menschliches Körpergewebe:	1,04 g/cm ³
	Blut (durchschnittlich):	1,05 g/cm ³
	Luft (bei 0°C 100 kPa Druck):	1,29 kg/m ³
	Knochen:	$(1,7-2,0) \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
Viskosität	Fettgewebe:	$(0,92-0,94) \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
	Wasser (bei 27°C):	0,85 mPa·s
	Blut (bei 37°C):	4,5 mPa·s

Minimale Mathematik (Funktionen)

- In der Mathematik ist eine **Funktion** oder **Abbildung** eine Beziehung zwischen zwei Mengen, die jedem Element der einen Menge (Eingangsgröße, Funktionsargument, unabhängige Variable, x-Wert) ein Element der anderen Menge (Ausgangsgröße, Funktionswert, abhängige Variable, y-Wert) zuordnet

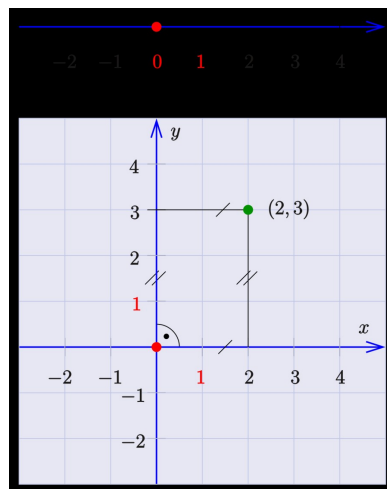
- Zuordnungsvorschrift: oder $f(x) = x^2$



- Für Uns wichtige Funktionen:
- Potenzfunktion: $f(x) = 1/x$, $f(x) = c$, $f(x) = a \cdot x + b$, $f(x) = a \cdot x^2$, $f(x) = a \cdot x^4$
- Wurzelfunktion: $f(x) = \sqrt{x}$
- Exponentialfunktion: $f(x) = e^x$ oder $f(x) = e^{-x}$
- Logarithmusfunktion: $f(x) = \ln(x)$,
- Trigonometrische Funktionen: $f(x) = \sin(x)$, $f(x) = \cos(x)$

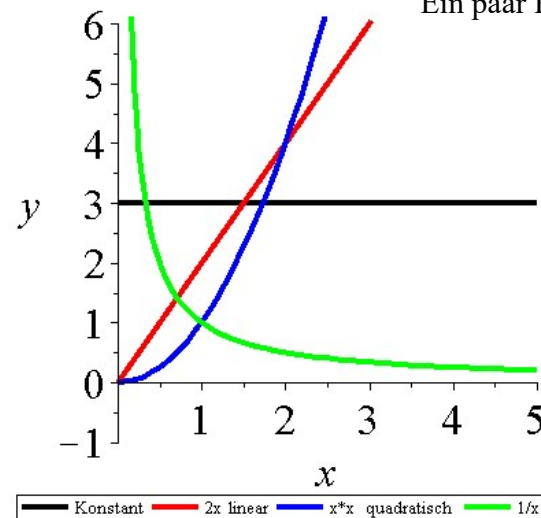
Minimale Mathematik (Funktionen)

Die Funktionen sind normalerweise im kartesischen Koordinatensystem dargestellt

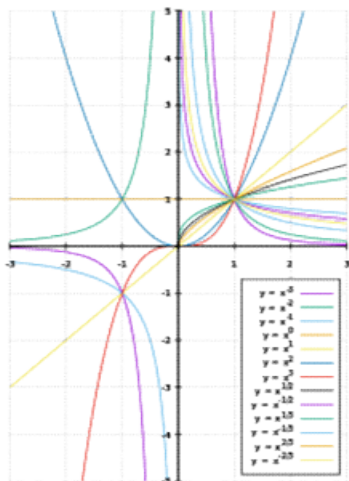


Minimale Mathematik (Funktionen)

Ein paar Potenzfunktionen



Ein paar weitere Potenzfunktionen



Regeln für Potenzfunktionen:

Grundlegende Potenzregeln

$a^0 = 1$	Potenz mit dem Exponent 0
$a^1 = a$	Potenz mit dem Exponent 1
$a^m \cdot a^n = a^{m+n}$	Multiplikation von Potenzen mit gleicher Basis: Potenzen mit gleicher Basis werden multipliziert, indem ihre Exponenten addiert werden.
$(a^n)^m = a^{n \cdot m}$	Potenzierung von Potenzen: Potenzen werden potenziert, indem alle Exponenten miteinander multipliziert werden.
$a^n \cdot b^n = (a \cdot b)^n$	Multiplikation von Potenzen mit gleichem Exponent: Potenzen mit gleichem Exponent werden multipliziert, indem die Basen multipliziert werden.
$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$	Potenz mit negativem Exponenten
$\frac{a^n}{a^m} = a^{n-m}$	Division von Potenzen mit gleicher Basis
$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$	Potenz deren Exponent das Inverse einer natürlichen Zahl ist
$a^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{a}$	Potenz deren Exponent ein Bruch ist. (Achtung: wenn n gerade ist, muss a größer als 0 sein!)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Potenzfunktion>

www.formelsammlung-mathe.de/potenzen.html

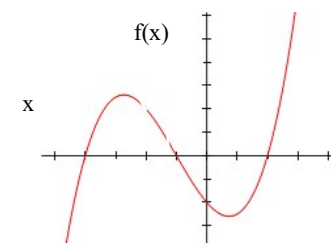
Polinomen:

Ein Beispiel

Polynom

Ein Polynom summiert die Vielfachen von Potenzen einer Variabler:

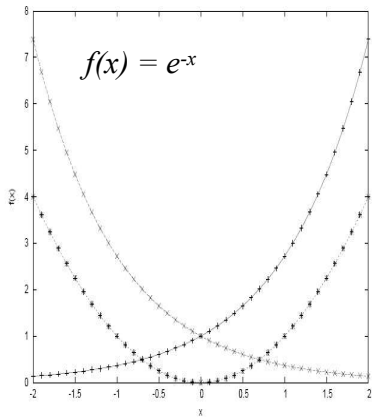
$$f(x) = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i x^i$$



$$f(x) = \frac{(x+4)(x+1)(x-2)}{4} = \frac{x^3 + 3x^2 - 6x - 8}{4}$$

Exponentialfunktion

„Steiler als alle Potenzfunktionen
für grössere Argumente“



$$f(x) = e^x$$

$$f(x) = x^2$$

Rechenregeln Exponentialfunktion:

$$e^a \cdot e^b = e^{a+b}$$

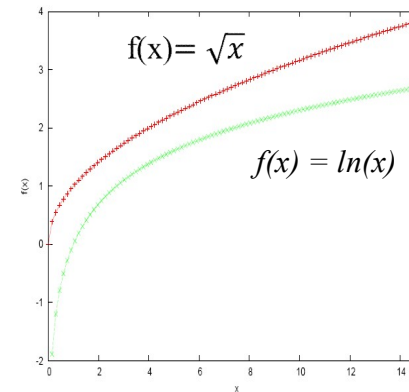
$$(e^a)^b = e^{a \cdot b}$$

$$e^{-a} = \frac{1}{e^a} = \left(\frac{1}{e}\right)^a$$

Logarithmusfunktion

Inversfunktion von Exponentialfunktion

$$e^x = \exp(x) = a \Leftrightarrow x = \ln(a) = \log(a)$$



Rechenregeln Logarithmus:

$$\log(e^a) = e^{\log(a)} = a$$

$$\log(a \cdot b) = \log(a) + \log(b)$$

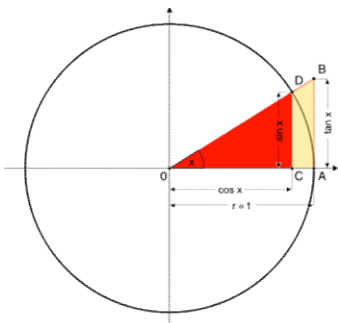
$$\log\left(\frac{a}{b}\right) = \log(a) - \log(b)$$

$$\log(a^b) = b \cdot \log(a)$$

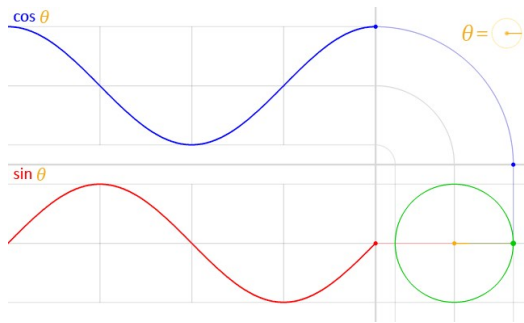
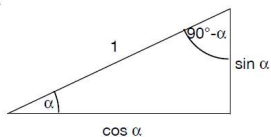
$$a^b = e^{b \cdot \log(a)}$$

Trigonometrische Funktionen

Cosinus und Sinus Funktionen



Merkdreieck

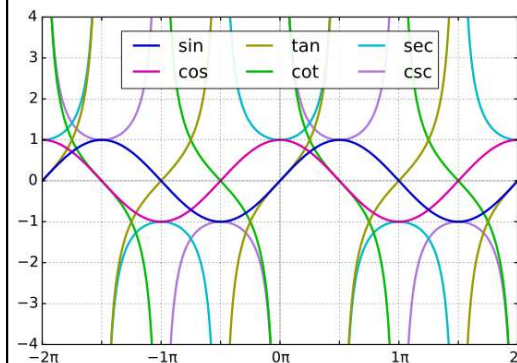


Periodisch auf 360° oder 2 Pi

https://de.wikipedia.org/wiki/Trigonometrische_Funktion

Trigonometrische Funktionen

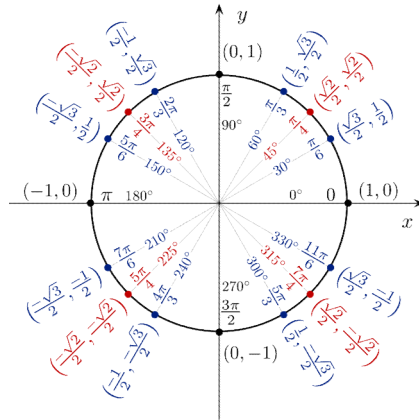
$$\tan(x) = \sin(x)/\cos(x), \quad \cot(x) = \cos(x)/\sin(x)$$



Weitere seltene Funktionen
secans(x) = 1/sin(x)
cosecant(x) = 1/cos(x)

Trigonometrische Funktionen

Wichtige Funktionswerte



Trigonometrische Funktionen

Additionstheoreme:

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \sin \alpha \cdot \sin \beta$$

Formeln für doppelte Winkel (Additionstheoreme für $\alpha = \beta$)

$$\sin(2\alpha) = 2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad \cos(2\alpha) = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 2 \cdot \cos^2 \alpha - 1$$

Ein wichtiges Mathematik Buch

Bronstein - Semendjajev



Existiert auf dem web als .pdf...

Einteilung der Physik

- Die **Physik** (griechisch *φυσική*, *physike* „die Natürliche“) ist die grundlegende Naturwissenschaft in dem Sinne, dass die Gesetze der Physik alle Systeme der Natur beschreiben.
- Entweder Experimental oder Theoretische Physik (neu Computer)
- Klassische oder Moderne Physik (alles nach dem Quantenmechanik)
- Klassische Disziplinen: **Mechanik** Bewegungen, Kräfte, Deformation, Wellen

Elektrodynamik und Optik Elektrizität, Magnetismus, Licht

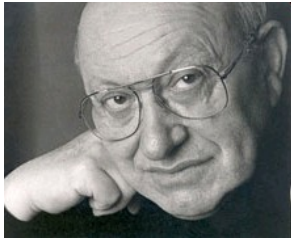
Thermodynamik und Statistische Physik Gas- Flüssigkeiten, Diffusion, Transportphänomene

Moderne Disziplinen: Atom-Kernphysik, Teilchenphysik, Relativitätstheorie

Biophysik ist keine unabhängige Disziplin sondern eine „Mischung“ von Klassische Disziplinen

Warum lernen? Warum physik?

- „Mann muss lernen dass Leben besser verwöhnen zu können“



Marcel Reich-Ranicki
der Literaturpapst
1920 - 2013
In 2002 im RTL beim
Stefan Raab ☺

- Tiermediziner = Akademiker = Intelligent = muss(te) eine gewisse Allgemeinbildung über Naturphänomene haben

Vorlesung I

Struktur der Materie

Festkörper

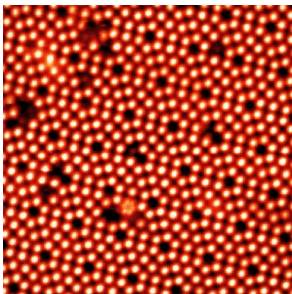
Mikrowelt

Wichtigere Stationen:

- Demokritos 4. Jh. v. Chr. (atomos: „unzerlegbar“)
- Daltonsches Gesetz 19. Jh. (multiple Proportionen der Massenverhältnisse)
- moderne Struktur Untersuchungsmethoden
- Mikroskopie, Spektrometrie, Diffraktionsmethoden, ...



atomarer Aufbau
der Materie



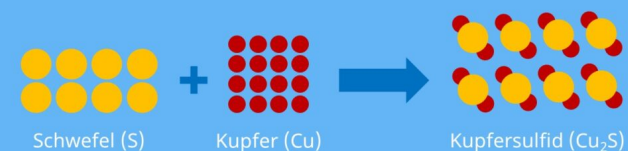
Scanning Tunneling
Microscopy
STM Aufnahme von der
Oberfläche eines Silizium
Kristalls

Mikrowelt

Wichtigere Stationen:

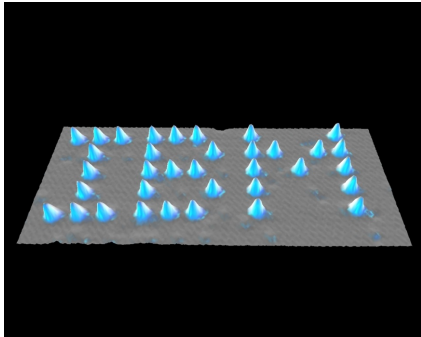
Daltonsches Gesetz 19. Jh. (multiple Proportionen der Massenverhältnisse)

Daltons Atommodell: Chemische Reaktion



Mikrowelt

Manipulation von einzelnen Atomen



IBM
35 Xenon Atomen (auf Si)
In 1989 November 11
von Prof. Don Eigler

<https://phys.org/news/2009-09-ibm-celebrates-20th-anniversary-atoms.html>

Das Atom

- Radius $\approx 0,1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$
- Masse $\approx 10^{-26} \text{ kg}$ $\longrightarrow$ *relative Atommassen*
Bezugsatom: ^{12}C
 $m_u = 1/12 m_{^{12}\text{C}} = u = \text{Da}$

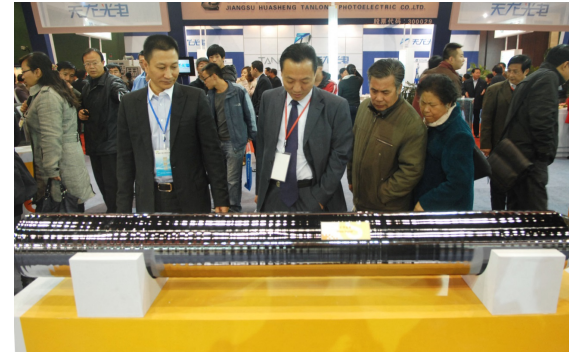
- Rutherford 1911
- Bohr 1913



Atomaufbau

Mikrowelt

Aus Silizium lassen sich riesige **Einkristalle** züchten, ohne mängel, ohne Fremdatomen



Besucher einer Industriemesse in Jinzhou im Nordosten Chinas betrachten einen langen **Silizium-Einkristall** – aus diesem Zylinder werden Scheiben geschnitten (2023)

Foto: YANG QING/Xinhua via AFP



In 2011
Source: Courtesy MEMC

www.t.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_5/illustr/i5_3_1.html

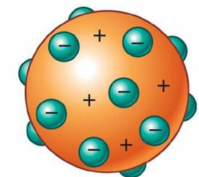
Atommodells

- Im Jahr 1897 konnte Joseph John Thomson nachweisen, dass Kathodenstrahlen aus geladenen Teilchen, den Elektronen, bestehen

Elektronen haben negative Ladung, aber wie ist die Verteilung im Atom?

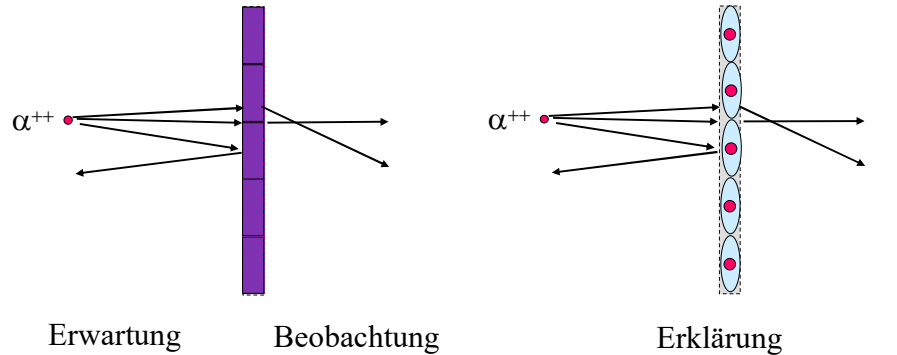
Aufgrund der angenommenen Anordnung der Elektronen in der Masse, vergleichbar mit Rosinen in einem Kuchen, wird es auch als „Plumpudding“- oder „Rosinenkuchenmodell“ bezeichnet (wegen Energie minimum)

Das erste Atommodell



Experimente

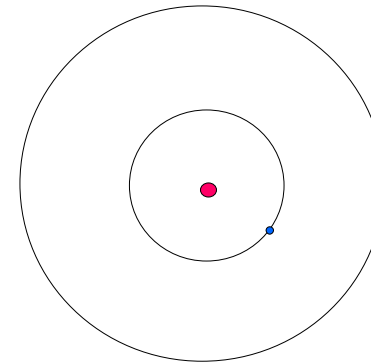
E. Rutherford
(1911):



Fazit: Rosinenkuchenmode ist falsch!!

41

Bohrsches Atommodell

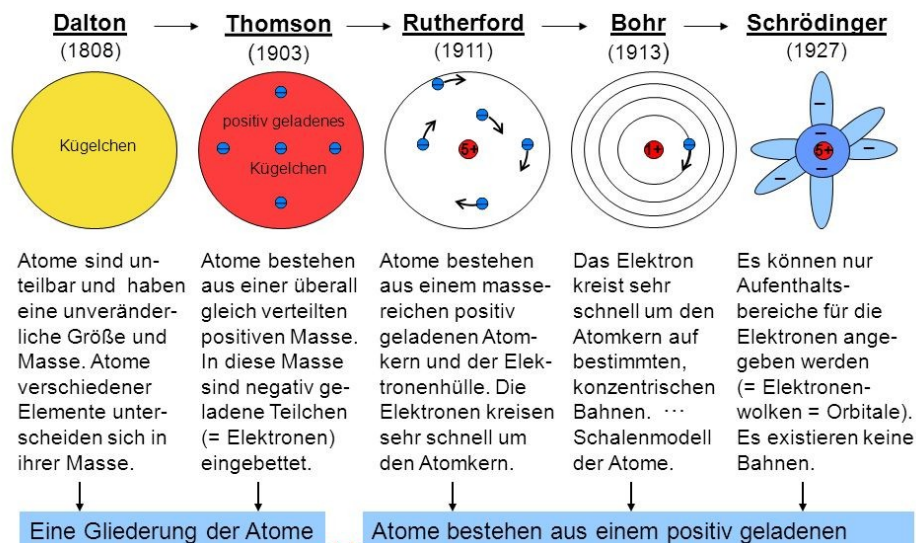


- *positiver Atomkern*
 - Radius $\approx 10^{-15}$ m
 - Masse $\approx 10^{-26}$ kg
 - $\approx$ die ganze Masse des Atoms
- *negatives Elektron*
 - Radius $\approx 10^{-17}$ m
 - Masse $\approx 10^{-30}$ kg

42

Zeitliche Entwicklung

Atommodelle (Überblick)



Aufbau der Kerne

- Bausteine der Kerne (Nukleonen)
 - Protonen
 - ♦ $m = 938,27 \text{ MeV}/c^2$
 - Neutronen
 - ♦ $m = 939,57 \text{ MeV}/c^2$
- Isotop
 - gleiches Z
- Isobar
 - gleiches A
- Isoton
 - gleiches N
- Nomenklatur
 - Element X
 - Massenzahl A
 - Kernladungszahl Z
 - Neutronenzahl N
- Massendefekt

$$\Delta m = Nm_n + Zm_p - m_A = -\frac{B}{c^2}$$
 - Bindungsenergie B

44

Aufbau des Atomkerns

- rel. Atommassen liegen in der Nähe von ganzen Zahlen

Atomkern



- positives Proton (etwa gleiche Massen)
- neutrales Neutron

Z. B. ^{12}C enthält 6 Protonen und 6 Neutronen

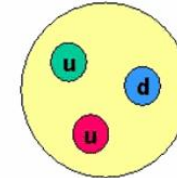


Isotope
Radioaktivität, Kernstrahlungen
45

Ergänzungsmaterial:

Bausteine der Atomkerne

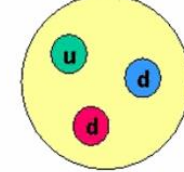
Proton



Quarks: up up down

$$\text{Ladung: } +\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = +1$$

Neutron



Quarks: up down down

$$\text{Ladung: } +\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$$

Teilchen, die aus drei Quarks aufgebaut sind heißen BARYONEN

46

Elementarteilchen

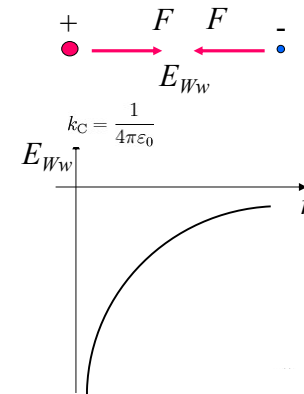
Ergänzungsmaterial:

Drei Generationen der Materie (Fermionen)					
	I	II	III		
Masse	2,3 MeV	1,275 GeV	173,07 GeV	0	125,09 GeV
Ladung	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
Spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
Name	u up	c charm	t top	γ Photon	H Higgs Boson
Quarks	d down	s strange	b bottom	g Gluon	
	$\bar{\nu}_e$ Elektron-Neutrino	$\bar{\nu}_\mu$ Myon-Neutrino	$\bar{\nu}_\tau$ Tau-Neutrino	Z^0 Z Boson	
	e Elektron	μ Myon	τ Tau	$W^\pm$ W Boson	
Leptonen					

47

Was hält die Atomen zusammen?

Coulombsche elektrische Wechselwirkung:



$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

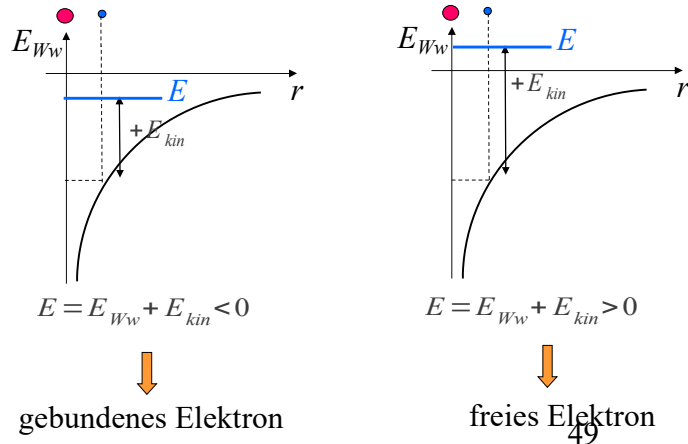
$$E_{Ww} = -k \frac{q_1 q_2}{r}$$

$$k \approx 8,987551787 \cdot 10^9 \frac{\text{Vm}}{\text{As}}$$

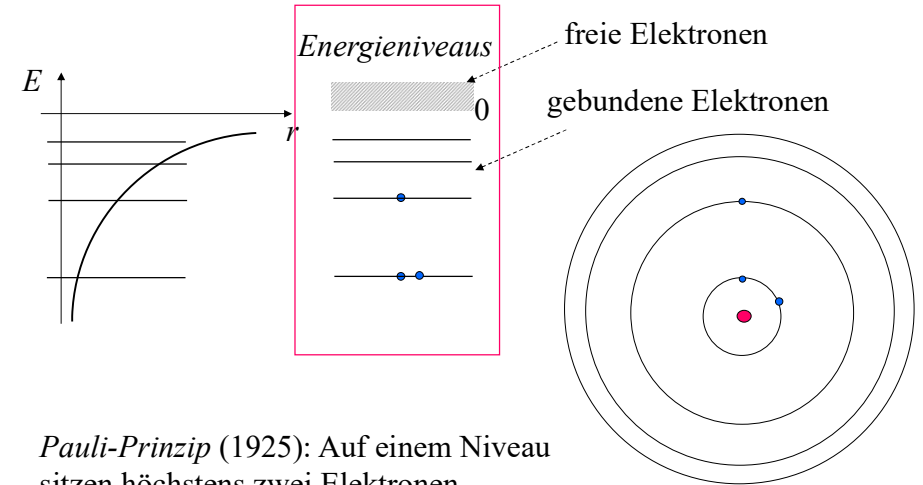
48

Bewegungen gegen den anziehenden Wechselwirkungen!

Gesamtenergie: $E = E_{Ww} + E_{kin}$ $\left(E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 \right)$

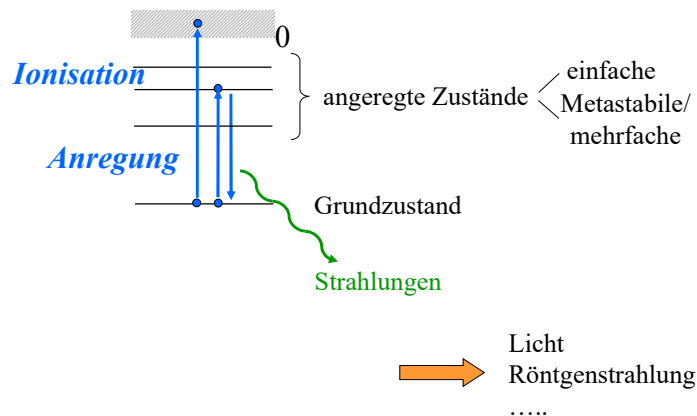


Mikrowelt: **diskrete Zustände !**



50

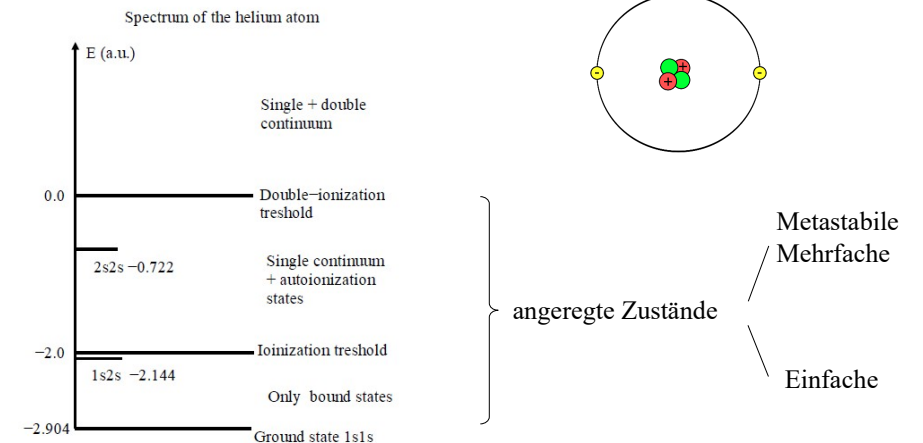
Ereignisse in dem Atom:



51

Ergänzungsmaterial:

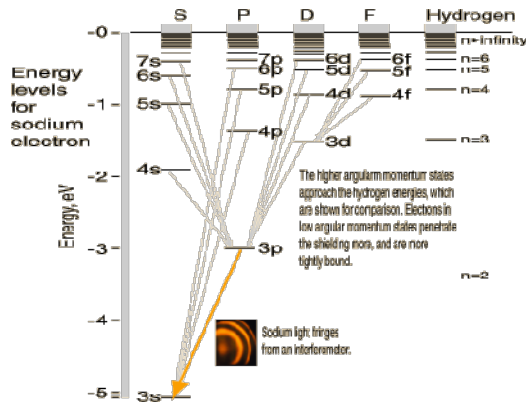
Ein Beispiel He Atom
 Mein PhD©



52

Ein Beispiel Na Atom

Ergänzungsmaterial:



Die atomare Niveaus sind ganz komplex

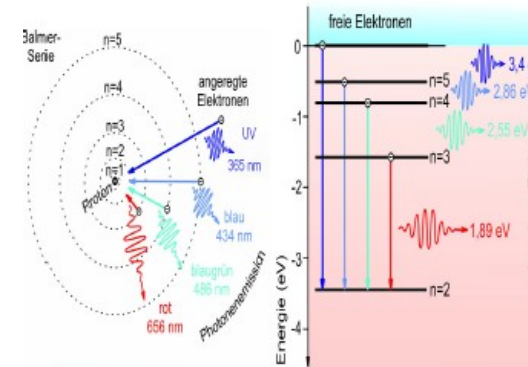
53

Atome versus Moleküle

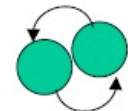
Atome haben Grundzustand, Angeregte Zustände und Ionisations Zustände

Molekülen haben zusätzlichen Rotationszustände und Vibrationszustände die **die Atome nicht haben**

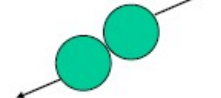
Immer eine schöne Prüfungsfrage...



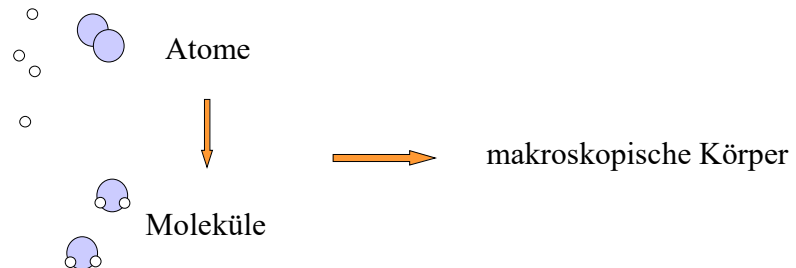
Rotationszustände:



Vibrationszustände:



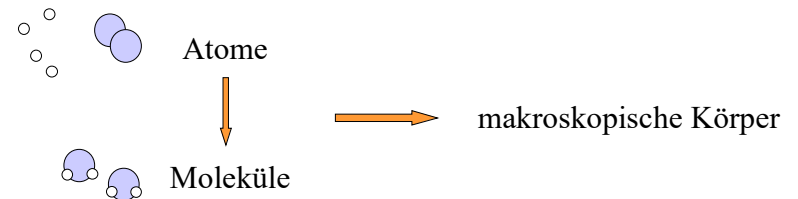
22



Makrowelt

55

Makrowelt



Wechselwirkung zw. Atomen, Molekülen: *intermolekulare Kräfte*, E_{Ww}

Bewegung der Atomen, Molekülen: E_{kin} (proportional zur Temperatur)

$$E_{kin} > E_{Ww} \text{ oder } E_{kin} < E_{Ww}$$

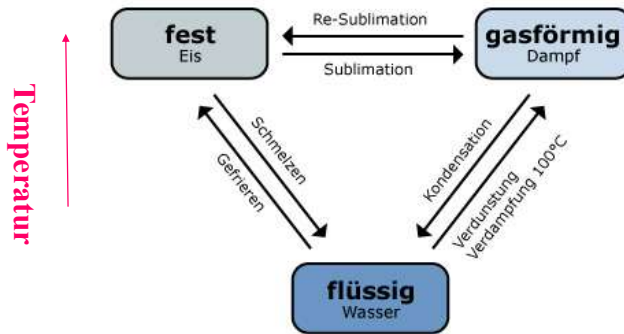
keine stabile Konfiguration

stabile Konfiguration - Bindung

56

Aggregatzustände & Phasenübergänge

- gasförmig
- flüssig
- flüssigkristallin
- fest



57

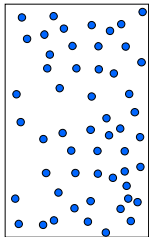
Aggregatzustände extra ☺

- Quark-Gluon Plasma bei extreme Druck und Temperatur $T = 1.66 \cdot 10^{12} \text{ K}$.
- Plasma - ionisiertes Gas $T \approx 10000 \text{ K}$ schwer zu definieren
- gasförmig
- flüssig
- flüssigkristallin
- Fest
- einige Materialien bilden Bose-Einstein Kondensat $T = 1.7 \cdot 10^{-7} \text{ K}$

Temperatur

58

Gase



- keine Struktur, „Unordnung“
- freie Bewegung
- weder Form-, noch Volumenstabilität
- Isotropie (Homogenität)

Ideales Gas:

- punktförmige Teilchen (Atome, Moleküle)
- keine Wechselwirkung zw. Teilchen mit der Ausnahme der elastischen Stöße

59

Definitionen von Isotropie und Homogenität

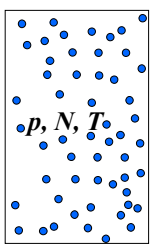
Isotropie (altgr. ἴσος *isos* ‚gleich‘ und τρόπος *tropos* ‚Drehung‘, ‚Richtung‘) **ist die Unabhängigkeit einer Eigenschaft von der Richtung.**

Bei der betrachteten Eigenschaft kann es sich um irgendeine Eigenschaft handeln (z. B. physikalische Eigenschaft, biologischer Parameter, gesellschaftliche oder soziale Kenngröße).

Die Richtungsunabhängigkeit solcher Eigenschaften ist gleichbedeutend mit ihrer homogenen räumlichen Struktur. Das Gegenteil der Isotropie ist die Anisotropie.

Bei **Homogenität** sind in gleichen Volumina gleich viele Anteile, bei Isotropie ist die Anzahl der Anteile in alle Richtungen gleich groß.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Isotropie>



p, N, T

Ideales Gasgesetz:

Druck

Volumen

$$pV = NkT$$

Teilchenzahl

Temperatur

Boltzmann-Konstante
 $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

$p = nkT$

Teilchendichte

Kinetische Deutung des Druckes:
Stöße der Teilchen mit der Wand → Druck

$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT$

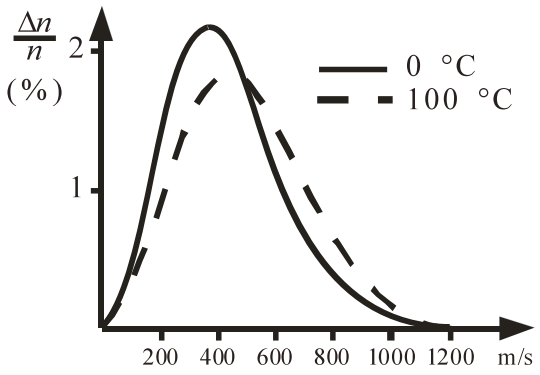
kinetische Wärmetheorie

61

Der Zusammenhang gilt für die mittlere kinetische Energie. Die kin. Energien und die Geschwindigkeiten der einzelnen Teilchen sind unterschiedlich.

→

Maxwellsche Verteilung



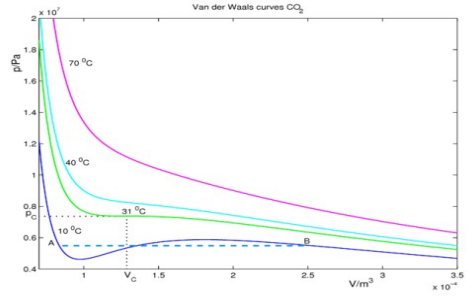
Bemerkung: kT — „thermische Energie“

63

Nicht-Ideale Gase, Flüssigkeiten

- Verallgemeinerung des Ideales Gasgesetzes = Zustandsgleichung
- Ein funktionaler Zusammenhang zwischen Temperatur T , Druck p , Volumen V und Stoffmenge n stellt eine thermische Zustandsgleichung dar. Die meisten thermischen Zustandsgleichungen enthalten den Druck explizit: $p = f(T, V, n)$
- Ein Beispiel Van-der-Waals

$$p(V) = \frac{nRT}{V - nb} - a \frac{n^2}{V^2}$$



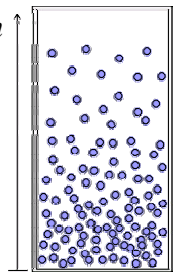
Barometrische Höhenformel

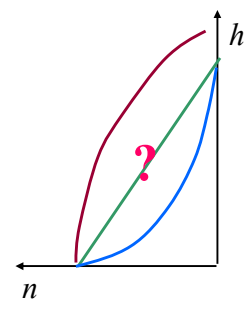
Gas im Gravitationsfeld: Bewegung ↔ Erdanziehung

↓

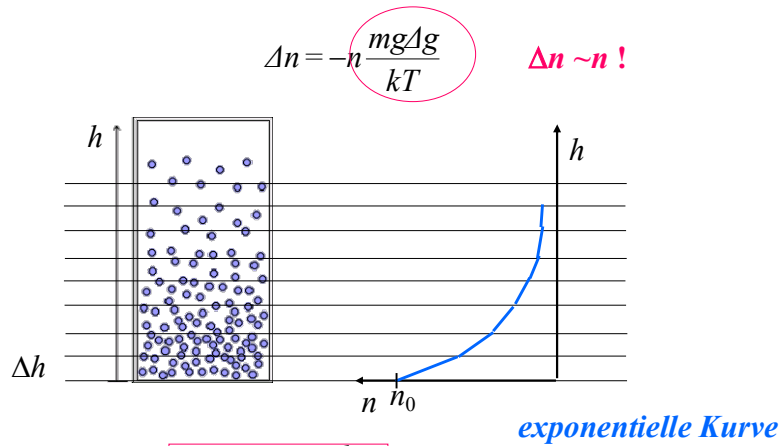
Gleichgewichtsverteilung

$n(h)$? oder $p(h)$?





64



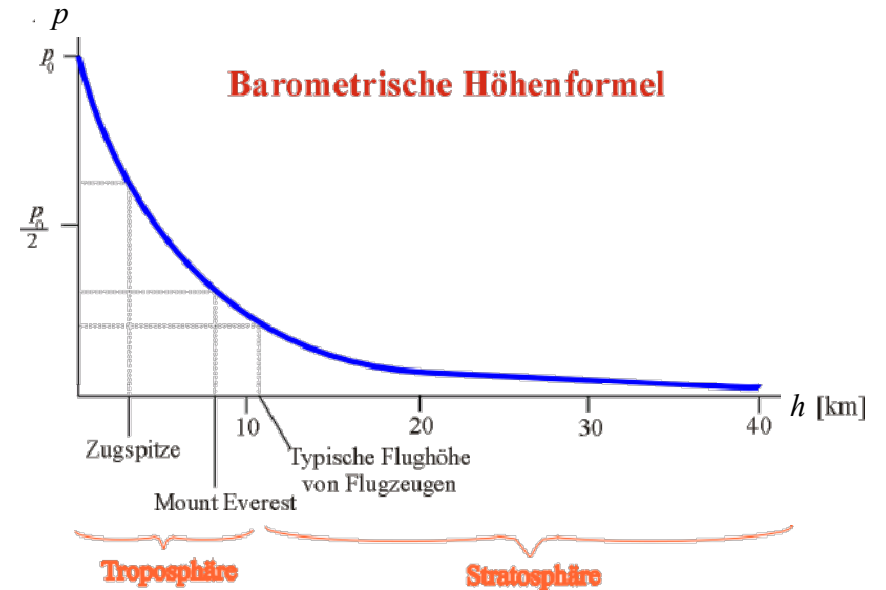
$$n = n_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

barometrische Höhenformel

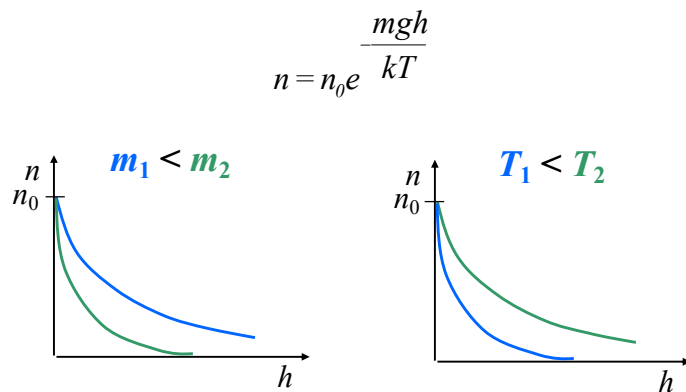
$$p = p_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

(Boltzmann-Verteilung)

65



66



z.B. H_2 und CO_2

z.B. $0^\circ C$ und $40^\circ C$

$$\left(\varepsilon_{pot} = mgh \right)$$

67

Boltzmann-Verteilung

Teilchenmenge in einem Kraftfeld im thermischen Gleichgewicht ($T = \text{konst}$):

$$\begin{array}{l} n_2 \text{ --- } \varepsilon_2 \\ n_1 \text{ --- } \varepsilon_1 \end{array}$$

$$n_2 = n_1 e^{-\frac{\Delta \varepsilon}{kT}} = n_1 e^{-\frac{\Delta E}{RT}}$$

$$\left(\begin{array}{l} \Delta E = \Delta \varepsilon N_A \\ R = k N_A \end{array} \right)$$

universelle Gaskonstante
 $R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

molare
Energiewerte

68

Beispiele für die Boltzmann-Verteilung:

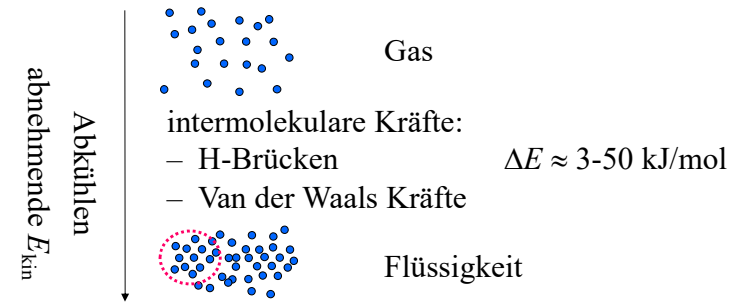
barometrische Höhenformel

Verteilung der Teilchen zw. flüssiger und gasförmiger Phase → gesättigter Dampfdruck

Verteilung der Teilchen zw. fester und gasförmiger Phase → Konzentration der Gitterdefekte

Verteilung von Molekülen zw. Grundzustand und aktiviertem Zustand → Geschwindigkeitskonstante von chemischen Reaktionen

69



Flüssigkeiten

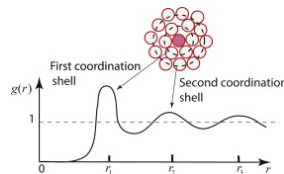
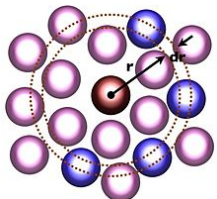
- höhere Dichte
- gewisse Struktur in kleineren Bereichen, „Nahordnung“
- begrenzte Bewegung — freie Schwingung und Rotation, aber begrenzte Translation
- Volumenstabilität (kleine Kompressibilität), keine Formstabilität
- Isotropie

70

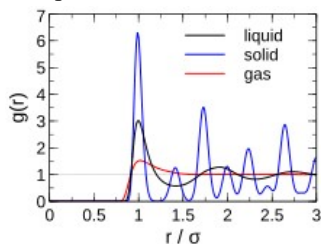
Flüssigkeiten Struktur „Nahordnung“

Bei Flüssigkeiten existieren wohl definierbare 1^{ste} und 2^{te} Nahbaren die sind messbar mit dem $g(r)$ radialen Verteilungsfunktion oder Paarkorrelationsfunktion

Koordinationszahl: Zahl der Hahbarn



Hauptunterschied beim Phasen:



Ein Beispiel Argon

$T = 50 \text{ K}$ fest

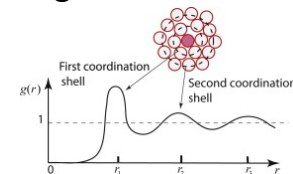
$T = 80 \text{ K}$ flüssig

$T = 300 \text{ K}$ gas

$\sigma = 3.88 \text{ Angström (Molec. Diameter)}$

Flüssigkeiten Struktur „Nahordnung“

Die Paarkorrelationsfunktion $g(r)$ ist indirekt messbar mit Röntgen oder Neutronenstreuung dann makroskopische



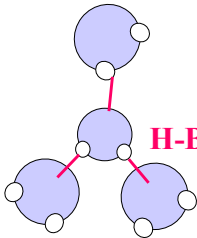
Eigenschaften, wie Dichte ρ , Kompressibilität κ , Druck p sind rechenbare Größen

Wasser

H_2O



elektrisches Dipol



H-Brücken

- hohe Wärmekapazität
- hohe Verdampfungswärme
- hoher Dampfdruck

↓

biologische Bedeutung

73

Abkühlen
abnehmende E_{kin}

Flüssigkeit

- Ionenbindung
- metallische Bindung
- kovalente Bindung

$\Delta E \approx 80\text{-}600 \text{ kJ/mol}$

Festkörper

The diagram illustrates the phase transition from liquid to solid. On the left, a vertical arrow points downwards, labeled 'Abkühlen' (cooling) and 'abnehmende E_{kin} ' (decreasing kinetic energy). To the right of the arrow, the 'Flüssigkeit' (liquid) state is shown at the top with a disordered arrangement of blue dots. Below it, the 'Festkörper' (solid) state is shown with a more ordered arrangement of blue dots. Between these two states, a list of bond types is provided: 'Ionenbindung' (ionic bonding), 'metallische Bindung' (metallic bonding), and 'kovalente Bindung' (covalent bonding). Below this list, the energy change is given as $\Delta E \approx 80\text{-}600 \text{ kJ/mol}$. To the right of the text, four microscopic images of snowflakes are displayed, showing their intricate crystalline structures.

Die Phasendiagramm vom Wasser

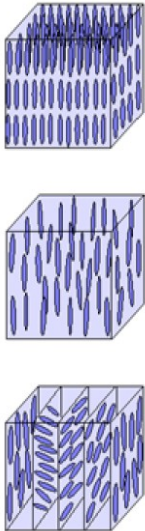
Ergänzungsmaterial:

Temperatur – Druck
Diagramm

Es ist ganz ganz komplex
für wasser, sind viele art
vom Eis, die Gitterstruktur
ist immer anderes

75

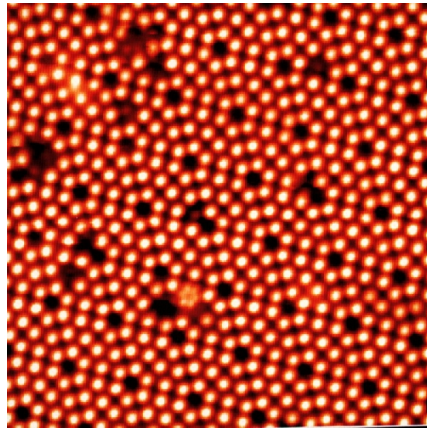
Vorlesung II Festkörper Flüssigkristalle



76

Festkörper = Kristalle

- noch höhere Dichte
- periodische Struktur in großen Bereichen, „Fernordnung“
- stark begrenzte Bewegung — freie Schwingung und Rotation, aber fast keine Translation
- Volumen- und Formstabilität
- Anisotropie

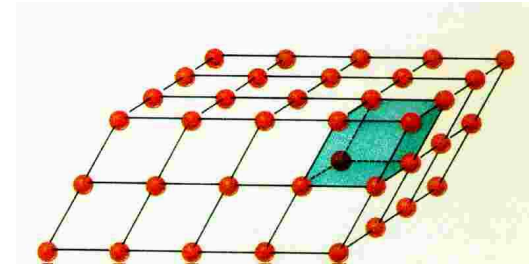


STM Aufnahme von der Oberfläche eines Silizium Kristalls

77

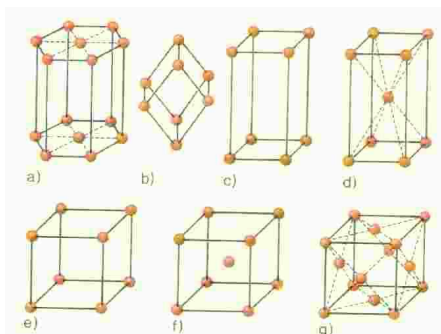
Gitterstruktur

Periodische Struktur: Eine Elementarzelle wiederholt sich.

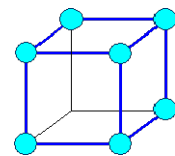


78

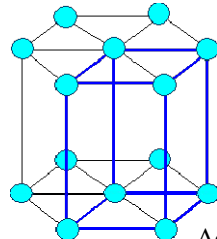
Elementarzelle



Einige Beispiele:



kubische Kristalle
NaCl

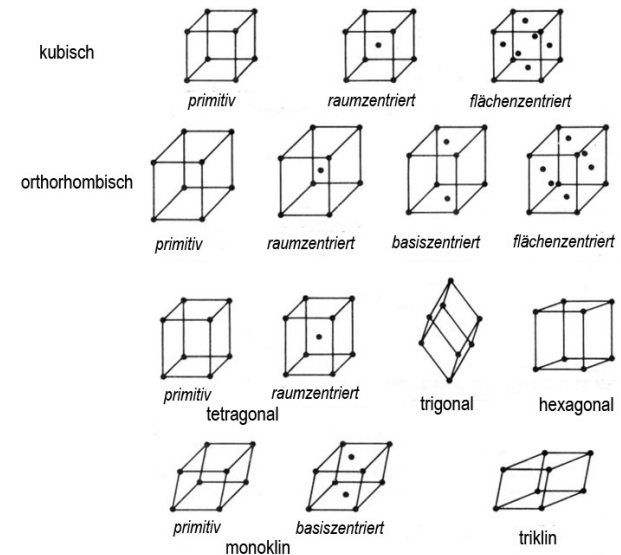


hexagonale Kristalle
Aquamarin, Rubin, Apatit

79

Alle 14 Elementarzellen

Ergänzungsmaterial:



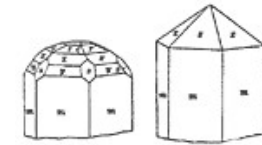


hexagonale Kristalle
Aquamarin, Rubin, Apatit



81

Apatite



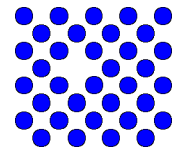
Rolle:
anorganische Komponente des Knochengewebes
(20-60 nm lange, 6 nm dicke Kristallchen)



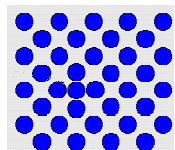
Biomechanik
82

Gitterdefekte

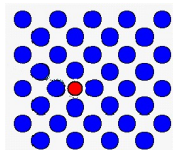
Punktdefekte:



Leerstelle



Zwischengitterstelle



Fremdatom

Bindungsenergie

$$n_2 = n_1 \cdot e^{-\frac{\Delta \epsilon}{kT}}$$

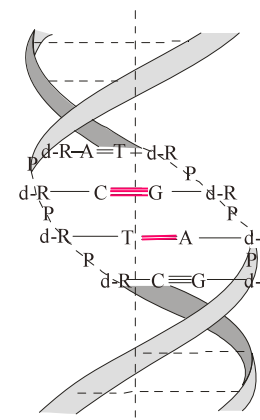
Anzahl der
Leerstellen

Anzahl der
Gitterpunkte

83

Analogie mit biologischen Makromolekülen (Proteine, DNA):

Leerstelle entspricht z.B. einer aufgespalteten H-Brücke.



Anzahl der aufgespalteten H-Brücken

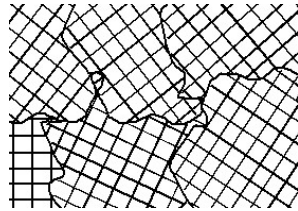
$$n_2 = n_1 \cdot e^{-\frac{\Delta \epsilon}{kT}}$$

Bindungsenergie

Anzahl der intakten H-Brücken

84

Liniendefekte und Oberflächendefekte:



Bedeutung der Gitterdefekte:

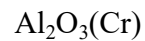
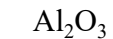
Die Gitterdefekte verändern die Eigenschaften der Kristalle.

z. B. mechanische

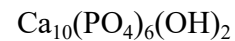
optische

chemische

Kupferröhre



(Rubin)

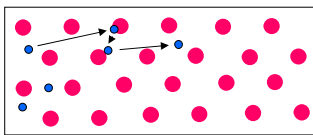


85

Elektronenstruktur d. Festkörper

elektrische Eigenschaften,
wie elektrische Leitfähigkeit

(elektr. Strom = Wanderung von el. Ladungsträgern (z.B. Elektronen))



„freie“ Elektronen — sind fähig für die Aufnahme und Abgabe von kleinen Energiemengen

87

Andere feste Körper (nicht Festkörper!)

Gläser — hochviskose Schmelzen, oder gefrorene Flüssigkeiten.

Amorphe Körper bestehen aus mikrokristallinen Bruchstückstrukturen (z. B. Ruß, Tonerde).



86

Elektronenzustände in einem Atom

Elektronenzustände in einem Festkörper

Wechselwirkung zw. Atomen

verbotene
Zonen

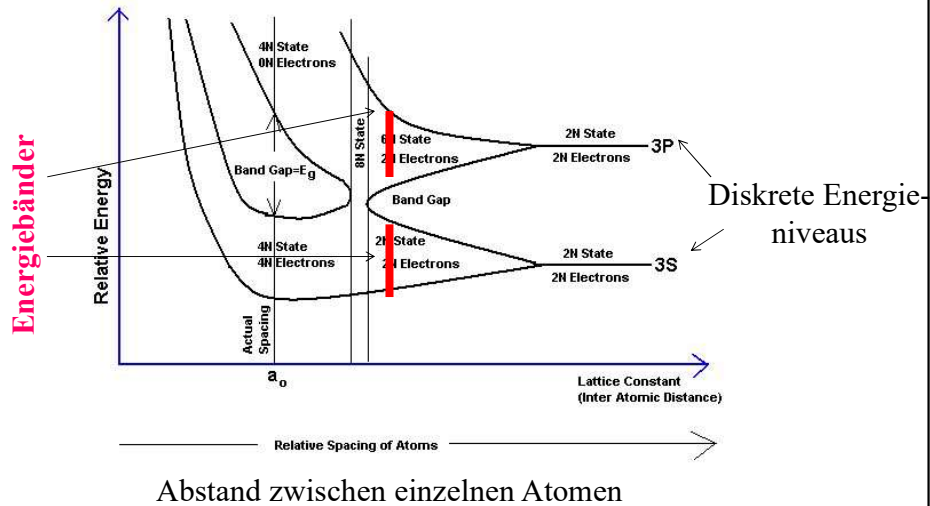
Energiebänder

Energie

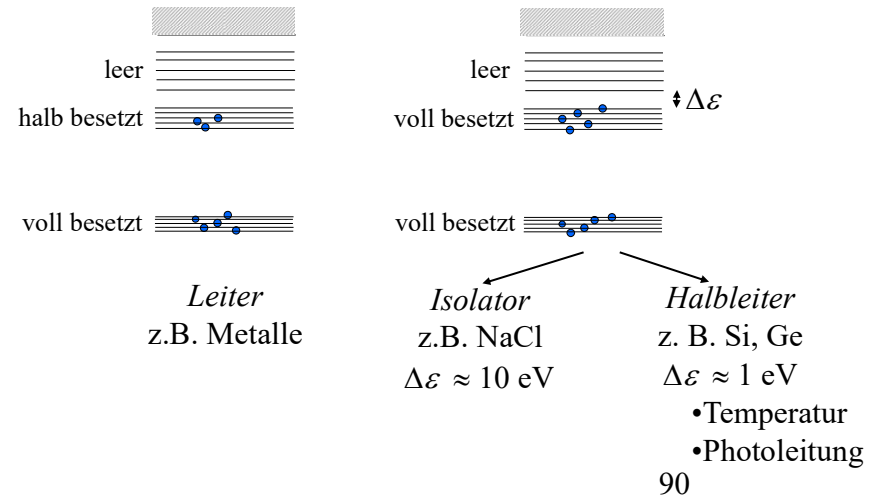
Einzelatom	zweiatomiges Molekül	dreiatomiges Molekül	H-Atome (Festkörper)
------------	----------------------	----------------------	----------------------

88

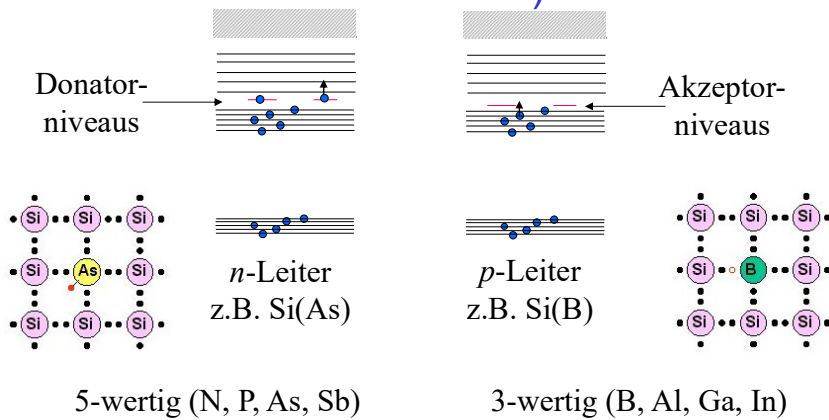
Festkörper einzelne Atome



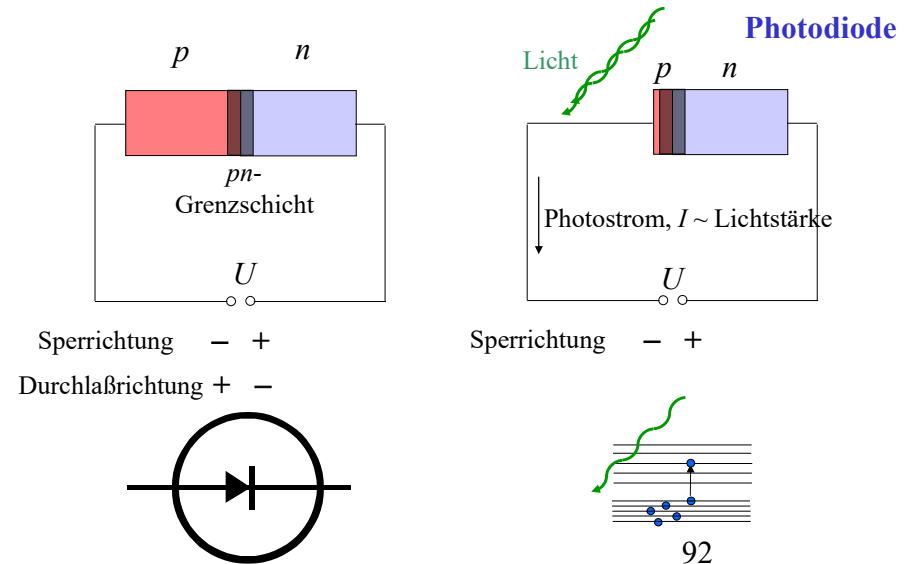
Besetzung der Energiebänder



Effekt von Fremdatomen (dotierte Halbleiter)

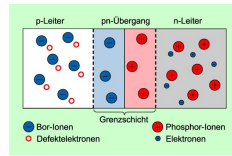


Halbleiterdiode

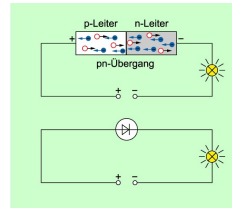


Wie funktioniert die Halbleiterdiode?

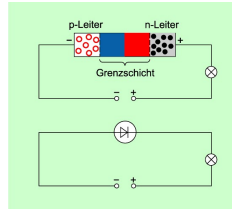
Aufbau einer Siliciumdiode



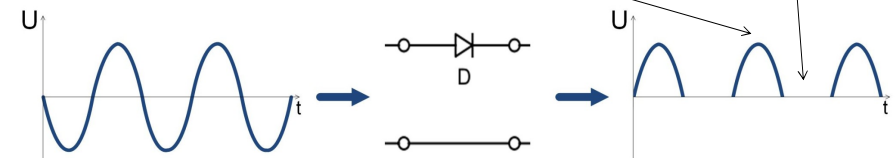
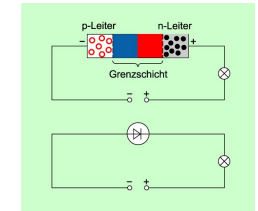
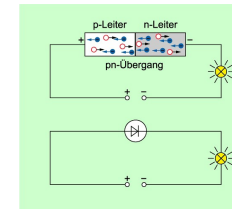
Diode in Durchlassrichtung: Der pn-Übergang wird von Ladungsträgern überflutet



Diode in Sperrrichtung: Der an Ladungsträgern verarmte pn-Übergang verhindert den Stromfluss.



Wie funktioniert die Halbleiterdiode?



Aggregatzustände:

- gasförmig
- flüssig
- flüssigkristallin
- fest

1888 Reinitzer:

Cholesterinbenzoat zw. 146 °C und 179 °C

- fließt wie Flüssigkeiten
- bricht Licht wie Kristalle



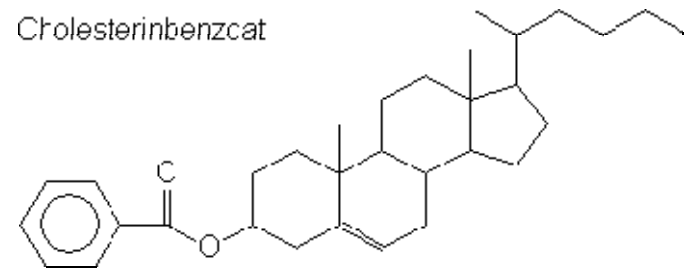
Mesophase **Flüssigkristall**

Crystal	Liquid crystals (Mesophase)			Liquid
3D lattice Anisotropic Solid	1 or 2D lattice Anisotropic Fluid	No lattice Anisotropic Fluid	No lattice Isotropic Fluid	No lattice Isotropic Fluid

Strukturmerkmale von Flüssigkristallen

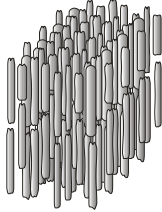
Stäbchen-, faden-, oder scheibenförmige Moleküle, wie z.B.:

Cholesterinbenzoat

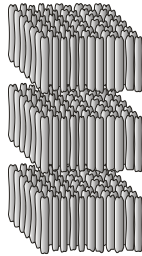


Klassifizierung der Mesophasen

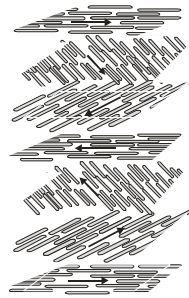
thermotrope Flüssigkristalle



nematisch



smektisch



cholesterisch

97

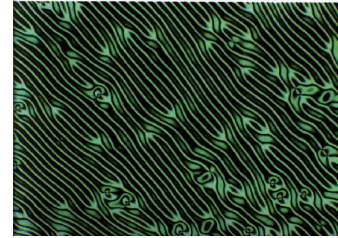
Eigenschaften der Mesophasen

- teilweise geordnete Strukturen
- schwache Bindungen
- viele Defekte
- Bewegungen in bestimmten Richtungen rel. frei
- Volumenstabilität, aber keine Formstabilität
- Anisotropie

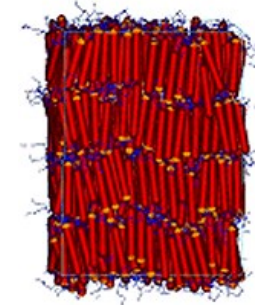
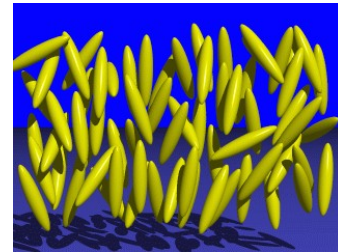
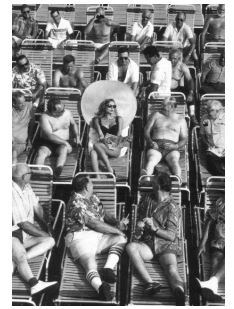
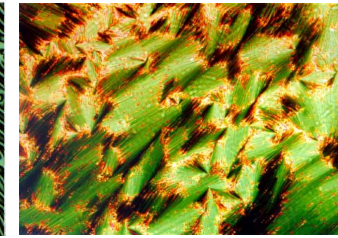
→ hohe Empfindlichkeit gegen äußeren Einflüssen

99

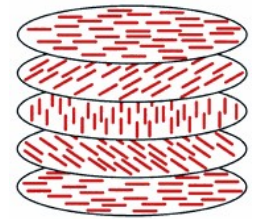
nematisch



smektisch



cholesterisch



Medizinische Anwendungen von thermotropen Flüssigkristallen

- Kontaktthermographie oder Plattenthermographie
⇒ thermooptisches Phänomen
- flüssigkristalline Anzeigegeräte (LCD — liquid crystal display)
⇒ elektrooptisches Phänomen

schwache äußere Einwirkung
(Temperaturänderung, el.
Spannung,...)



Strukturänderung



Änderung d.
optischen
Eigenschaften

100

Plattenthermographie

Thermooptisches Phänomen

Temperaturänderung → Strukturänderung → Änderung d. Farbe

Technische Einzelheiten:

- dünne Folie mit cholesterischen Flüssigkristallen
- in 10-30 Sekunden nach Auflegen
- 0,1 °C Auflösung
- billig, mehrmals verwendbar, für kleinere Gebiete

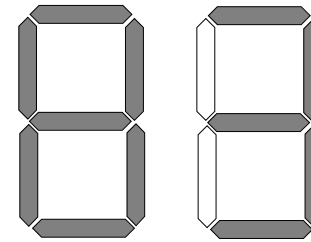
vgl. mit IR-Diagnostik ⇒

101

LCD

Elektrooptisches Phänomen

el. Spannung → Strukturänderung → Änderung d. opt. Eigenschaften



Aufbau und Funktion s. später ⇒

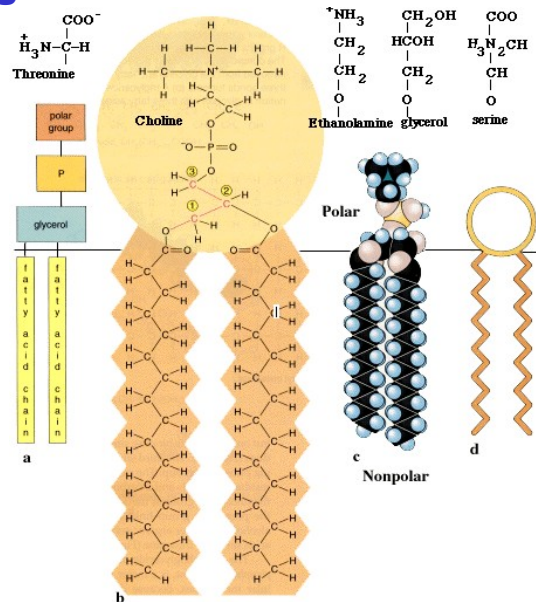
102

Lyotrope Flüssigkristalle

z.B. Phospholipid
Moleküle

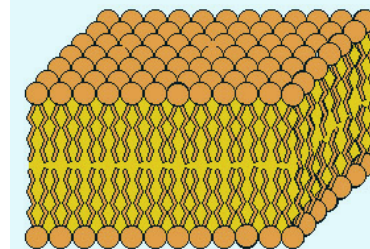
und andere
amphiphile
Moleküle,
Proteine,
Nukleinsäure, ...

+
Wasser

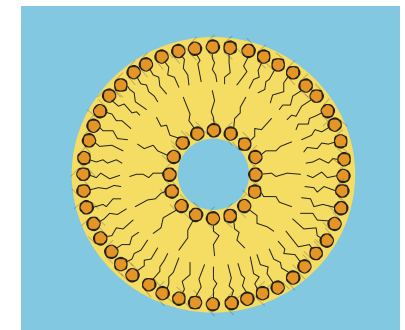
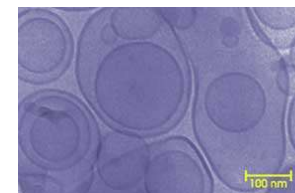


Schichtenstruktur:

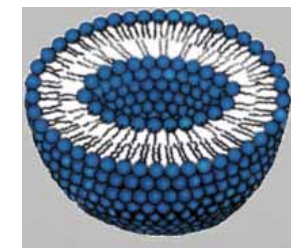
H₂O



H₂O



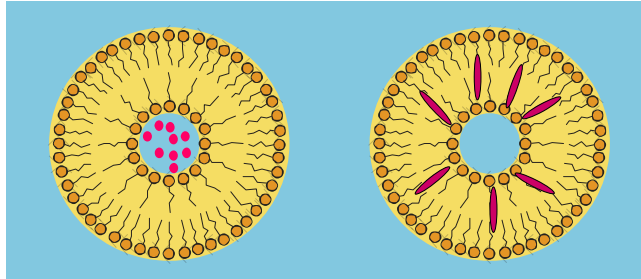
Liposom



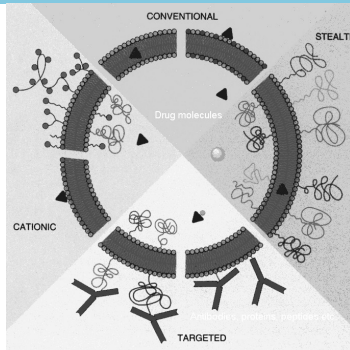
104

Anwendung von Liposomen

Wirkstoff-träger:



Modell der Zellmembrane



105

Gründe für den Einsatz von Flüssigkristallen in der Pharmazie

Verbesserte Verarbeitungsmöglichkeiten von bestimmten Arzneistoffen



Mögliche Vorteile

Vereinfachen oder Ermöglichen bestimmter Anwendungen

Verzögerung der Wirkstofffreisetzung



Verringerte Anwendungshäufigkeit von Arzneimitteln

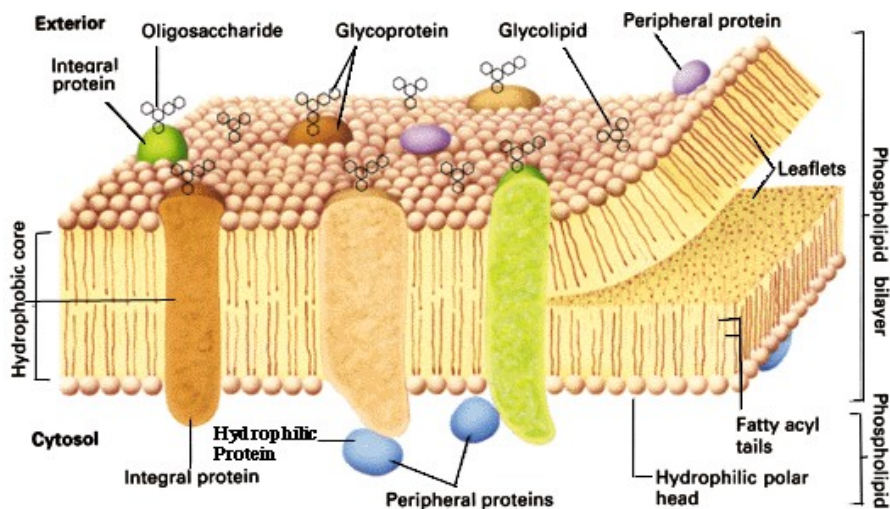
Gerichteter Arzneistofftransport im Organismus



Verbesserte Verträglichkeit und höhere Effizienz des Wirkstoffs

106

Zellmembrane ~ Doppelschicht von Lyotrope Flüssigkristallen



Zusammenfassung:

- eine Allgemeine Einleitung
- Struktur von Gasen
- Struktur von Festkörpern
- Struktur von Flüssigkeiten/Flüssigkristallen

Vielen Dank für ihre



Aufmerksamkeit!

Fragen, Bemerkungen, Kommentare?...

109