

Medizinische Biophysik I.

0

Dr. Ferenc Tölgyesi
tolgyesi.ferenc@med.semmelweis-univ.hu
 Institut für Biophysik und Strahlenbiologie



1

Physik in der Medizin



Diagnostik

Röntgendiagnostik Sonographie Optische Tomographie MRI EKG Endosko

Therapie

Gamma-Messer Phototherapie Laserchirurgie Defibrillator Nierensteinzertrüm

Medizinische Forschung

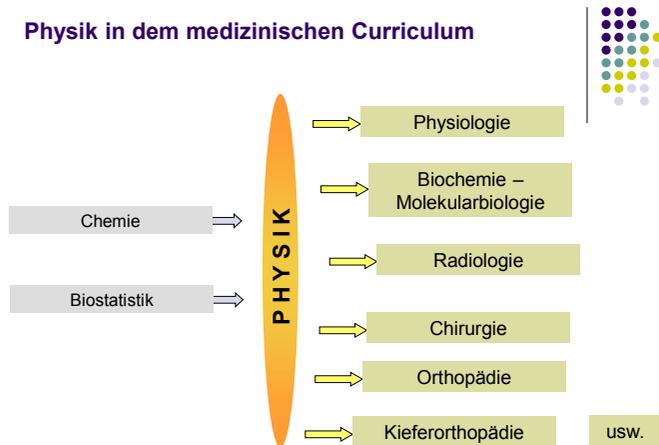
Röntgendiffraktion Optische Spektroskopie Mikroskopie Massenspektrometrie

Lebensprozesse

Diffusion Strömungen Hebelfunktion Wärmestrahlung elektrische Ströme ...

2

Physik in dem medizinischen Curriculum



3

Thematik der Vorlesungen

Unterrichts- woche	Datum	Thema	Vortragender
1	09.09.	Einführung. Struktur der Materie. Atomare, molekulare Wechselwirkungen. Aggregatzustände: Gase	Tölgyesi Ferenc
2	16.09.	Aggregatzustände: Flüssigkeiten, Festkörper, Flüssigkristalle	Tölgyesi Ferenc
3	23.09.	Thermische, elektrische und mechanische Eigenschaften von Stoffen	Tölgyesi Ferenc
4	30.09.	Licht in der Medizin. Medizinische Optik	Tölgyesi Ferenc
5	07.10.	Lichtenstellung, Emissionsspektrometrie	Tölgyesi Ferenc
6	14.10.	Temperaturstrahlung, IR-Diagnostik, Lumineszenz und ihre Anwendungen	Tölgyesi Ferenc
7	21.10.	Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie. Reflexion und Streuung	Tölgyesi Ferenc
8	28.10.	Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie. Absorptionsspektrometrie	Tölgyesi Ferenc
9	04.11.	Biologische Wirkungen des Lichtes. Laser	Tölgyesi Ferenc
10	11.11.	Das Auge und das Sehen	Tölgyesi Ferenc
11	18.11.	Strahlungen (Überblick) Strukturuntersuchungsmethoden in der Medizin	Smeller László
12	25.11.	Nuklearmedizin Atomkern, Radioaktivität	Bérecs Attila
13	02.12.	Wechselwirkungen der Kernstrahlungen mit der Materie. Detektoren	Bérecs Attila
14	09.12.	Anwendung von Radioisotopen - nuklearmedizinische Verfahren	Bérecs Attila

4

Abweichung für Zahnmediziner in den ersten drei Wochen:



Unterrichts-woche	Datum	Thema	Vortragender
1	09.09.	Einführung, Biostatistik Deskriptive Statistik	Tölgyesi Ferenc Kaposi András
2	16.09.	Deskriptive Statistik	Kaposi András
3	23.09.	Deskriptive Statistik	Kaposi András
4	30.09.	Licht in der Medizin. Medizinische Optik	Tölgyesi Ferenc

im Békésy Hörsaal

5

Praktika

UNICAM Spektrophotometer

Wilson Punkt (CT)

normale Hörschwelle
80 Jahre Alters-schwerhörigkeit
65 Jahre Lärm-schwerhörigkeit

Protokolle!

Hilfsmittel:

- Praktikum medizinische Biophysik, 2015, Semmelweis Verlag, Budapest
- Biophysik für Mediziner, 2008, Medicina Verlag, Budapest
- Physikalische Grundkenntnisse, *herunterladbar von der Webseite des Instituts*
- Aufgabensammlung zur medizinischen Biophysik, *herunterladbar von der Webseite des Instituts*

6

Studienregel



- Voraussetzungen der Anerkennung des Semesters
- Prüfungen
- Anerkennung von Scheinen aus früheren Studien
- ...

Webseite: <http://biofiz.semmelweis.hu>

7

Medizinische Biophysik

Struktur der Materie

I. Atome, Moleküle und ihre Wechselwirkungen

- Allgemein über Wechselwirkungen
 - Beispiele:
 - Beschreibung der Wechselwirkungen:
- Elektrische Wechselwirkung
 - Coulomb-Gesetz:
 - elektrische potenzielle Energie (E_{pot})
- Aufbau des Atoms
 - Bauelemente und ihre Wechselwirkungen
 - Energiezustände
 - Elektronegativität
- Atomare, molekulare Wechselwirkungen
 - Energiekurve
 - Primäre Bindungen
 - Sekundäre Bindungen
- Energiezustände in Molekülen

II. Aggregatzustände

- Allgemeine Beschreibung
- Einige grundlegenden Größen zur Beschreibung von Körpern
- Gasförmiger Aggregatzustand
 - Makroskopische Beschreibung
 - Mikroskopische Beschreibung
 - Kinetische Deutung der Temperatur
 - Maxwell-Boltzmann-Verteilung
 - Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)
 - Boltzmann-Verteilung

8

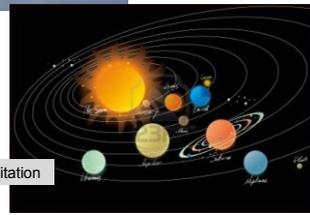
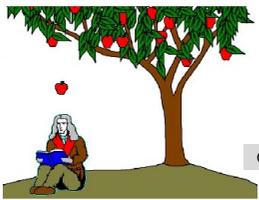
I. Atome, Moleküle und ihre Wechselwirkungen

1. Allgemein über Wechselwirkungen

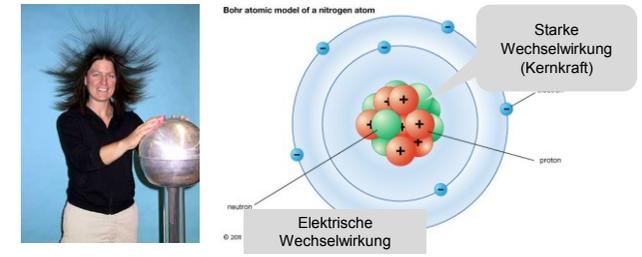
a) Beispiele:



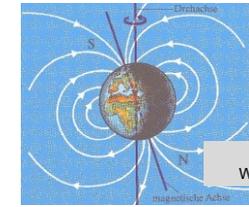
„Kontakt“ (molekulare Wechselwirkungen im Hintergrund)



Gravitation



Starke Wechselwirkung (Kernkraft)
Elektrische Wechselwirkung



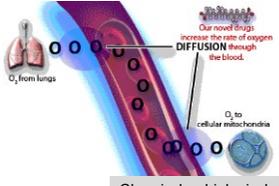
Magnetische Wechselwirkung

9

10



Thermische Wechselwirkung (Wärme)



Chemische, biologische, ... Wechselwirkungen

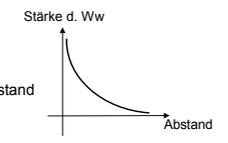
11

b) Beschreibung der Wechselwirkungen:

□ Symmetrie!



□ Bei fernwirkenden Ww: Abklingen mit wachsendem Abstand



□ Größen und Gesetze:

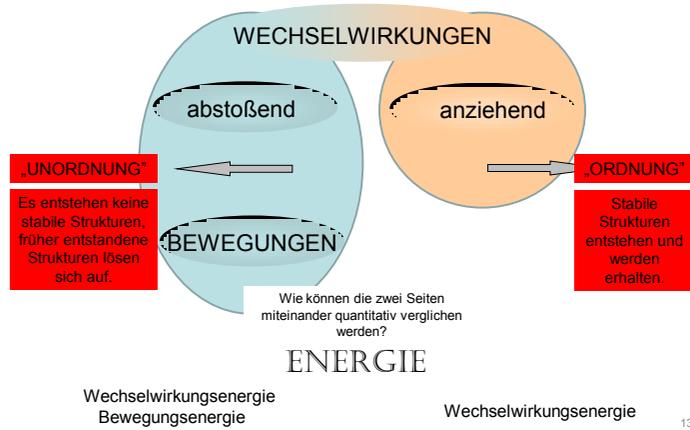
- Kraft, die newtonschen Gesetze und Beispiele für Kraftgesetze
- Arbeit und Energie
- Energieerhaltung
- Leistung
- Druck

Vorkenntnisse (s. Skript „Physikalische Grundkenntnisse“ Kapitel 4-6)

KRAFT ENERGIE

12

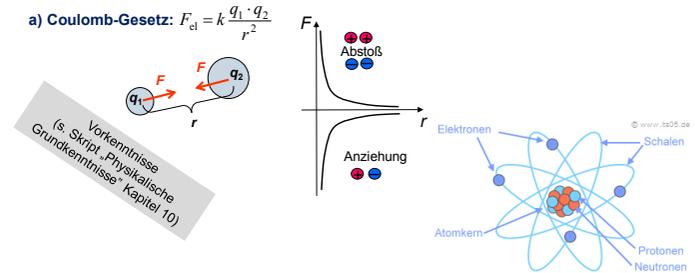
Entstehung von stabilen Strukturen - allgemeine Prinzipien



13

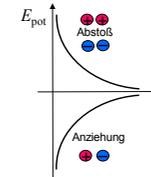
2. Elektrische Wechselwirkung

a) Coulomb-Gesetz: $F_{el} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$



b) elektrische potenzielle Energie (E_{pot}):

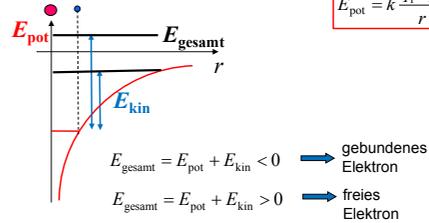
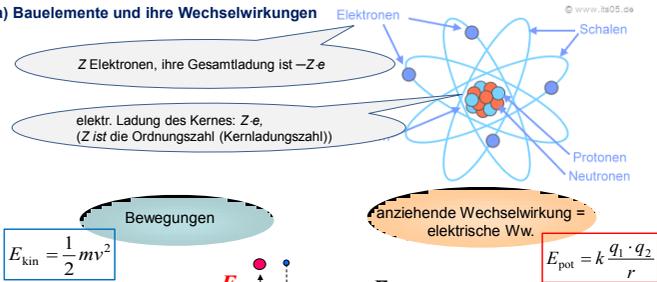
$$E_{pot} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r}$$



14

3. Aufbau des Atoms

a) Bauelemente und ihre Wechselwirkungen

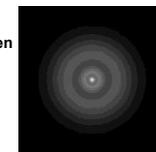
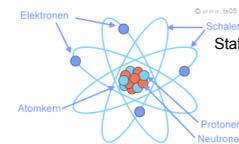
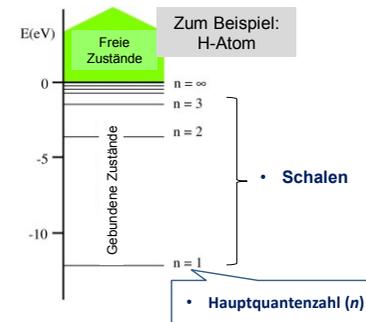


15

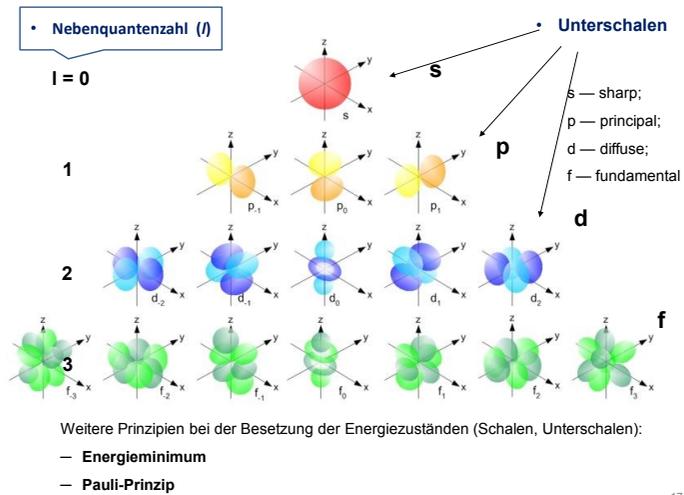
b) Energiezustände

Spezielle Eigenschaft der Mikrowelt:

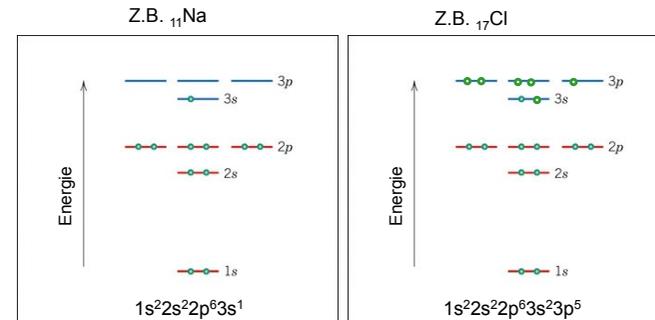
— diskrete Energiezustände



16



17



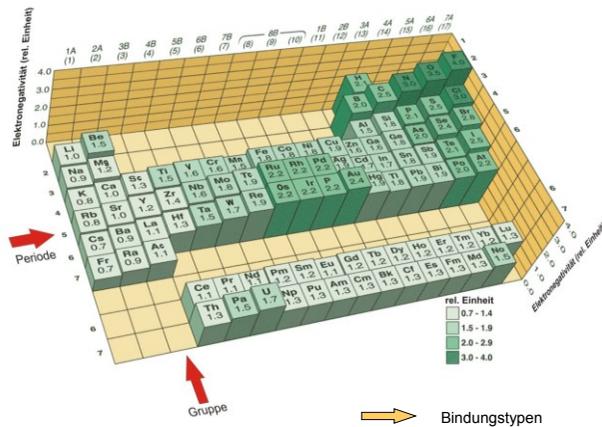
• **Ionisationsenergie (I):**
Zur Entfernung des äußersten Elektrons benötigte Energie (eV/Atom; kJ/mol)

• **Elektronenaffinität (A):**
Bei der Aufnahme eines Elektrons freigesetzte Energie (eV/Atom; kJ/mol)

c) **Elektronegativität (EN)** = $|I| + |A|$

18

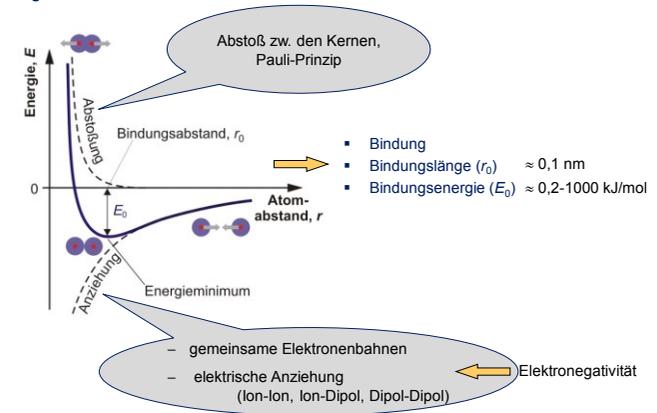
Elektronegativität - Pauling-Skala:



19

4. Atomare, molekulare Wechselwirkungen

a) **Energiekurve**

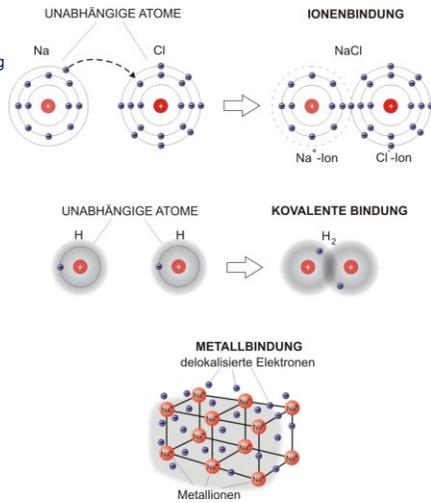


20

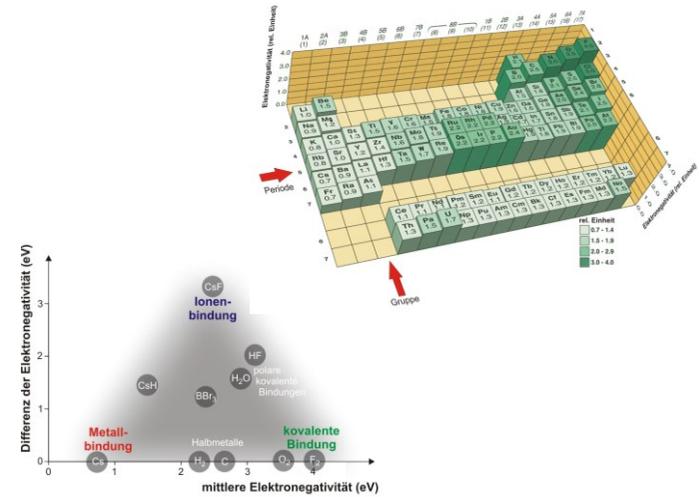
b) Primäre Bindungen

- Ionenbindung
- Kovalente Bindung
- Metallbindung

≈ 100-1000 kJ/mol



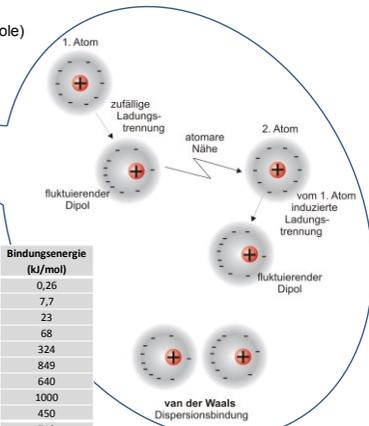
21



22

c) Sekundäre Bindungen ≈ 0,2-50 kJ/mol

- van der Waals (Dipol-Dipol)
 - Orientierung (2 permanente Dipole)
- Induktion (1 permanenter und 1 induzierter Dipol)
- Dispersion
- H-Brückenbindung



Bindungsstärke	Bindungstyp	Material	Bindungsenergie (kJ/mol)
schwach (sekundär)	van der Waals	Neon (Ne)	0,26
		Argon (Ar)	7,7
	H-Bindung	Wasser (H ₂ O)	23
stark (primär)	Metallbindung	Quecksilber (Hg)	68
		Aluminium (Al)	324
		Wolfram (W)	849
	Ionenbindung	NaCl	640
		MgO	1000
	kovalente Bindung	Silizium (Si)	450
		Kohlenstoff (C, Diamant)	713

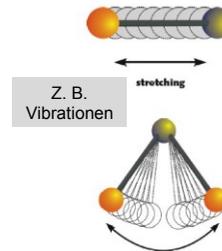
23

- Primäre und sekundäre Bindungen →
- Moleküle
 - Aggregatzustände (flüssige und feste Körper)

5. Energiezustände in Molekülen

$$E_{\text{Molekül}} = E_{\text{Elektron}} + E_{\text{Vibration}} + E_{\text{Rotation}}$$

≈ 1 eV
 ≈ 0,1 eV
 ≈ 0,01 eV



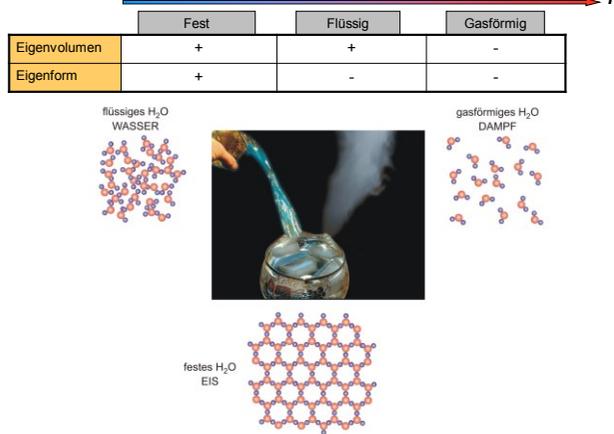
- alle Energieformen sind quantiert

(Rotationsniveaus sind nicht gezeigt.)

24

II. Aggregatzustände

1. Allgemeine Beschreibung



25

2. Einige grundlegenden Größen zur Beschreibung von Körpern:

- Zahl der Bauelemente (Atome oder Moleküle) im Körper (N)
 - Stoffmenge (ν) in Mol: 1 mol enthält $6,03 \cdot 10^{23}$ Bauelemente
- $$\nu = \frac{N}{N_A}$$
- Avogadro-Konstante (N_A): $N_A = 6,03 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$
- Masse (m)
 - Molare Masse (M): die Masse von einem Mol
- $$m = \nu \cdot M$$
- Volumen (V)

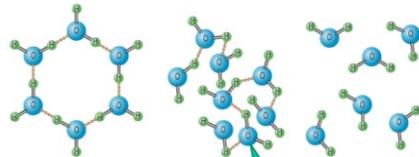
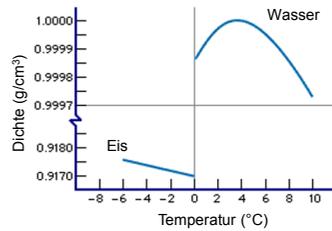
26

- Dichte (ρ): $\rho = \frac{m}{V} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$

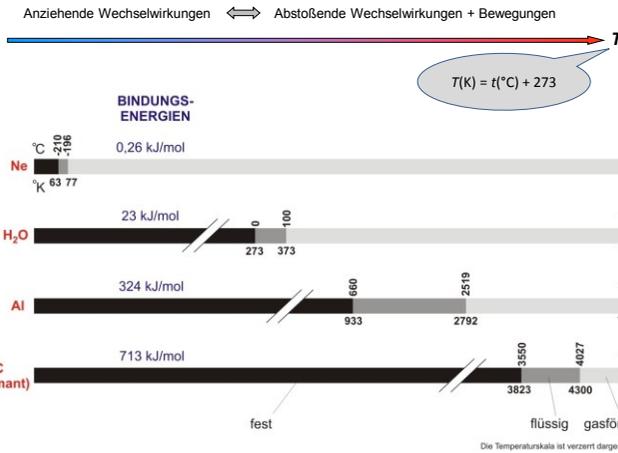
Stoff	ρ (g/cm ³)
Wasser	1
Fettgewebe	≈ 0,9
Blut	≈ 1,05
Knochen	≈ 1,8
Körpergewebe (Mittelwert)	≈ 1,04

Temperaturabhängigkeit:

$$\rho(T)$$



27

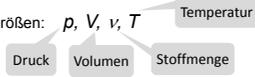


28

3. Gasförmiger Aggregatzustand

a) Makroskopische Beschreibung:

- Kein Eigenvolumen und keine Eigenform
- Isotrop
- Messbare Größen: p, V, v, T

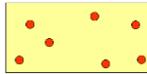


allgemeine Gaskonstante $R = 8,31 \text{ J/(molK)}$

$$pV = \nu RT \quad (\text{für ideale Gase})$$

b) Mikroskopische Beschreibung:

- Ungeordnet
- Starke und fast freie Bewegungen



c) Kinetische Deutung der Temperatur

durchschnittliche kinetische Energie eines Teilchens

$$\overline{E}_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \overline{v}^2 = \frac{3}{2} kT$$

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

Masse eines Teilchens, Geschwindigkeit des Teilchens, Temperatur

$kT = \text{„thermische Energie“}$

29

Eine andere Form:

durchschnittliche kinetische Energie von einem Mol

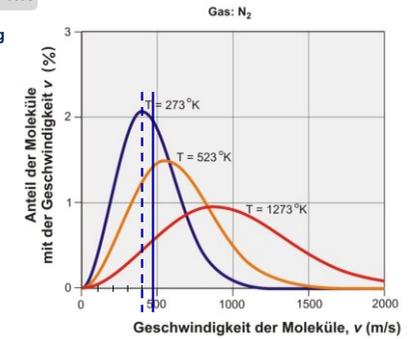
Allgemeine Gaskonstante $R = 8,34 \text{ J/(mol-K)}$

$$\overline{E}_{\text{kin, mol}} = \frac{1}{2} M \overline{v}^2 = \frac{3}{2} RT$$

$RT = \text{„molare thermische Energie“}$

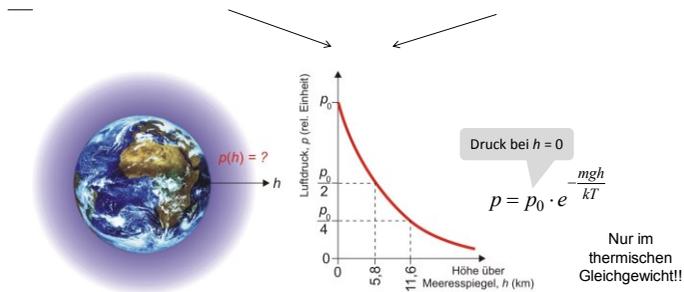
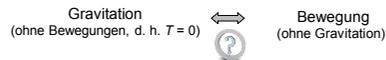
Molare Masse

d) Maxwell-Boltzmann-Verteilung

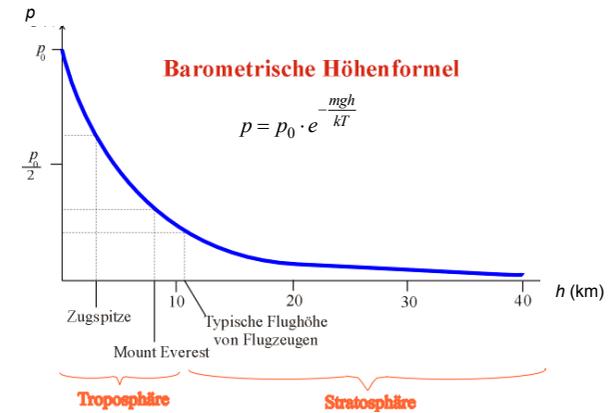


30

e) Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)



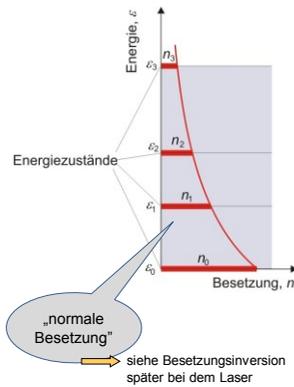
31



32

f) Boltzmann-Verteilung

Die Verteilung der Teilchen auf die Energiezustände im thermischen Gleichgewicht ($T = \text{konstant}$).



$$n_i = n_0 \cdot e^{-\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_0}{kT}} = n_0 \cdot e^{-\frac{\Delta\varepsilon}{kT}}$$

$$\left[n_i = n_0 \cdot e^{-\frac{\Delta E}{RT}} \quad \Delta E = \Delta\varepsilon \cdot N_A \right. \\ \left. R = k \cdot N_A \right]$$

Anwendungen der Boltzmann-Verteilung:

- Barometrische Höhenformel
- Thermische Elektronenemission von Metallen
- Konzentrationselemente, Nernst-Gleichung
- Chemische Reaktionen (Geschwindigkeits- und Gleichgewichtskonstante)
- Konzentration von thermischen Punktdefekten (in Kristallen und Makromolekülen)
- Elektrische Leitfähigkeit von Halbleitern
- ...

(Gilt aber nicht z. B. bei der Besetzung der Elektronenschalen in einem Atom!)

33

Hausaufgaben:

- Aufgabensammlung :
1.1, 3, 4, 5, 8, 9, 17, 20, 21, 22, 26, 27, 31, 34, 36, 38, 40



34