

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

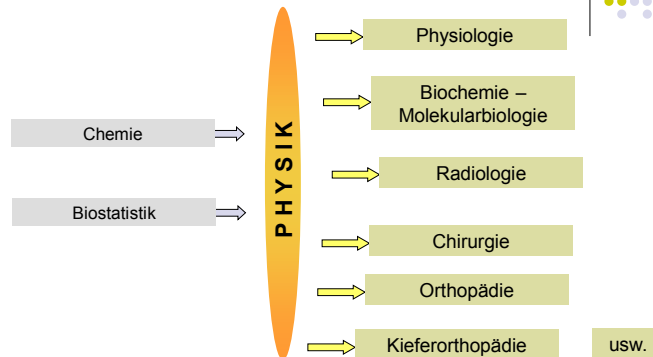
Röntgendiffraktion Optische Spektroskopie Mikroskopie Massenspektrometrie

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. Atome, 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.	Lichtentstehung, 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	Bérces Attila
13	02.12.	Wechselwirkungen der Kernstrahlungen mit der Materie. Detektoren	Bérces Attila
14	09.12.	Anwendung von Radioisotopen - nuklearmedizinische Verfahren	Bérces Attila

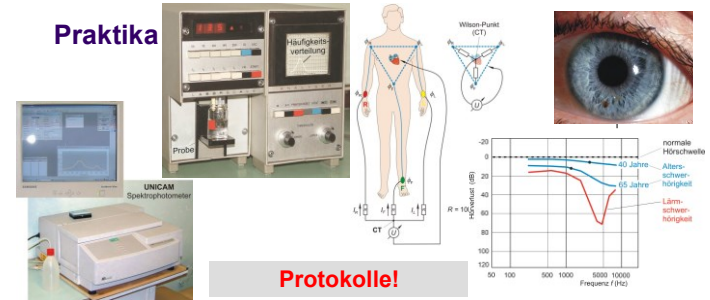
4

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

Praktika



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

Studienregel

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

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

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

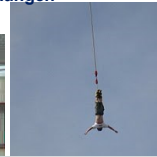
II. Aggregatzustände

- 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

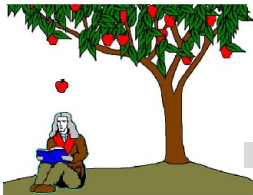
I. Atome, Moleküle und ihre Wechselwirkungen

1. Allgemein über Wechselwirkungen

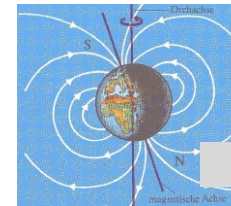
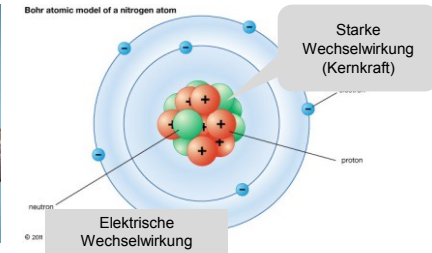
a) Beispiele:



„Kontakt“ (molekulare Wechselwirkungen im Hintergrund)



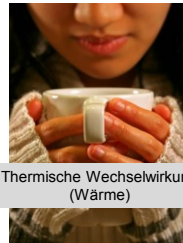
Gravitation



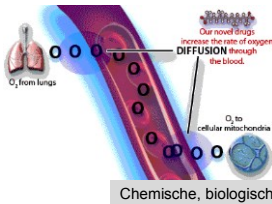
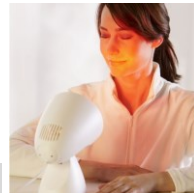
Magnetische Wechselwirkung

9

10



Thermische Wechselwirkung (Wärme)



Chemische, biologische, ... Wechselwirkungen

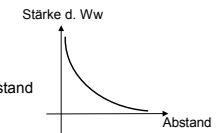
11

b) Beschreibung der Wechselwirkungen:

□ Symmetrie!



□ Bei fernwirkenden Ww: Abklingen mit wachsendem Abstand



□ Größen und Gesetze:

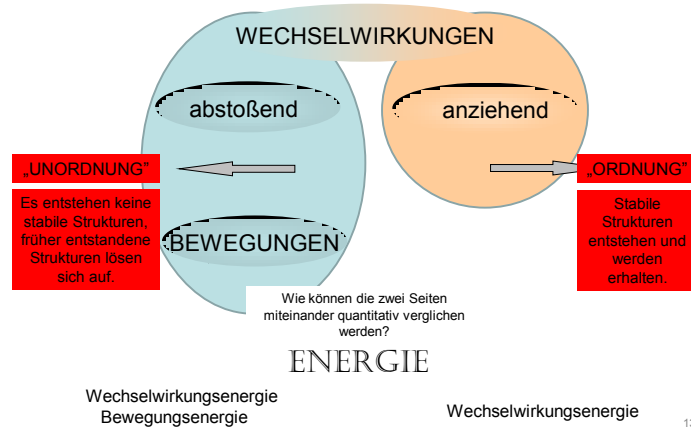
- Kraft, die newtonschen Gesetze und Beispiele für Kraftgesetze
- Arbeit und Energie
- Energieerhaltung
- Leistung
- Druck

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

KRAFT ENERGIE

12

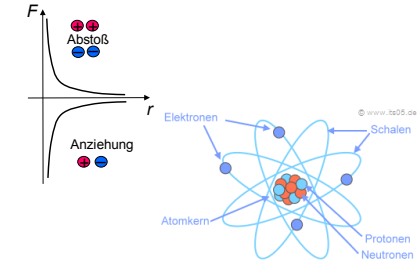
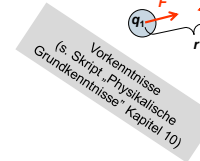
Entstehung von stabilen Strukturen - allgemeine Prinzipien



13

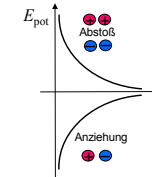
2. Elektrische Wechselwirkung

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



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

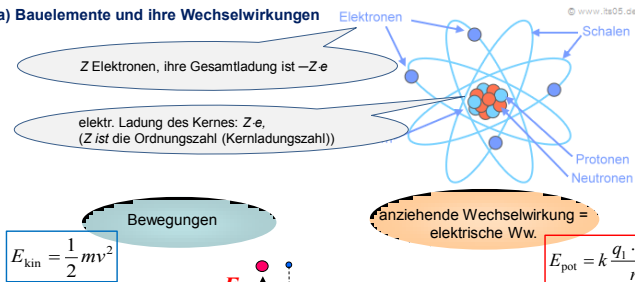
$$E_{pot} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r}$$



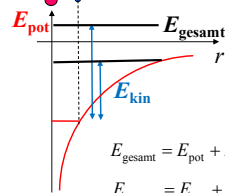
14

3. Aufbau des Atoms

a) Bauelemente und ihre Wechselwirkungen



$$E_{kin} = \frac{1}{2} mv^2$$



$$E_{gesamt} = E_{pot} + E_{kin} < 0 \rightarrow \text{gebundenes Elektron}$$

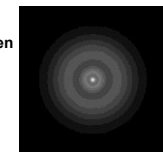
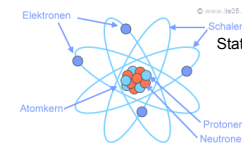
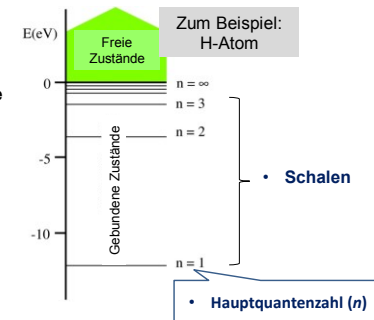
$$E_{gesamt} = E_{pot} + E_{kin} > 0 \rightarrow \text{freies Elektron}$$

15

b) Energiezustände

Spezielle Eigenschaft der Mikrowelt:

— diskrete Energiezustände



16

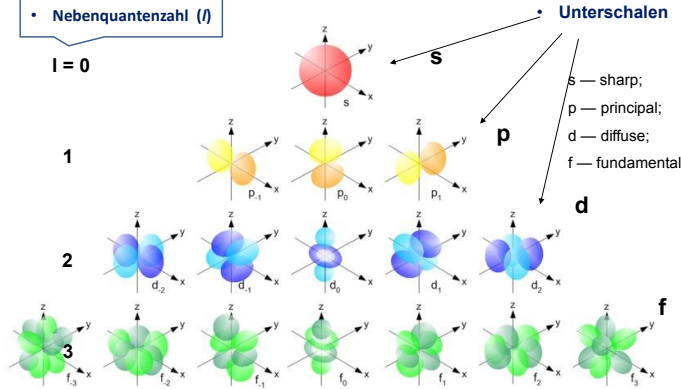
• Nebenquantenzahl (*l*)

$l = 0$

1

2

3

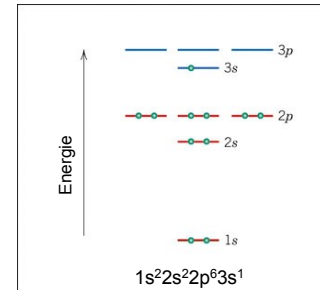


Weitere Prinzipien bei der Besetzung der Energiezustände (Schalen, Unterschalen):

- Energieminimum
- Pauli-Prinzip

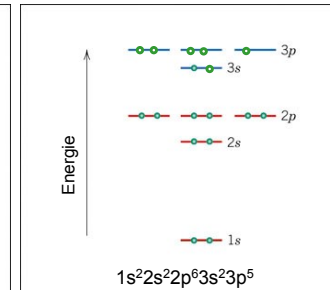
17

Z.B. $_{11}\text{Na}$



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

Z.B. $_{17}\text{Cl}$

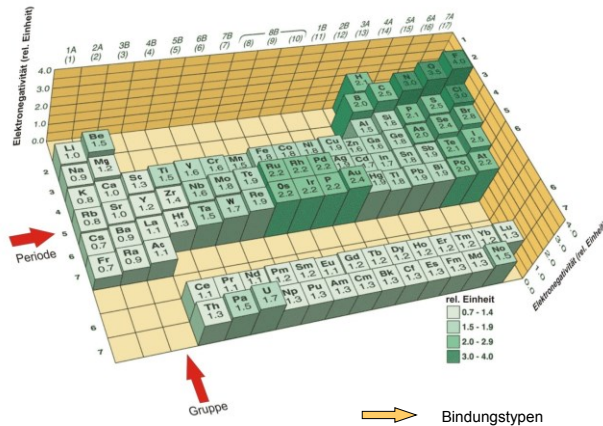


- Elektronenaffinität (*A*):
Bei der Aufnahme eines Elektrons freigesetzte Energie (eV/Atom; kJ/mol)

$$c) \text{ Elektronegativität (EN)} = |I| + |A|$$

18

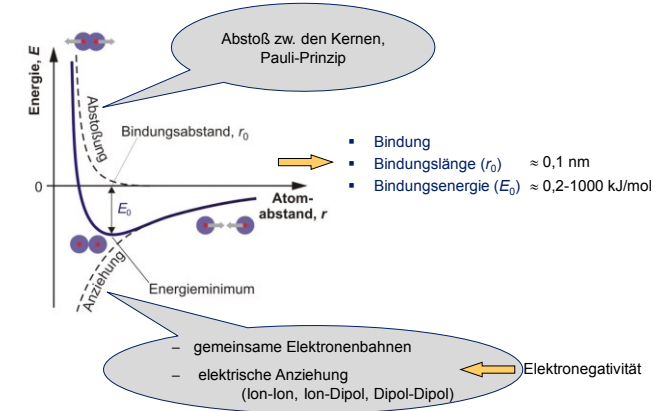
Elektronegativität - Pauling-Skala:



19

4. Atomare, molekulare Wechselwirkungen

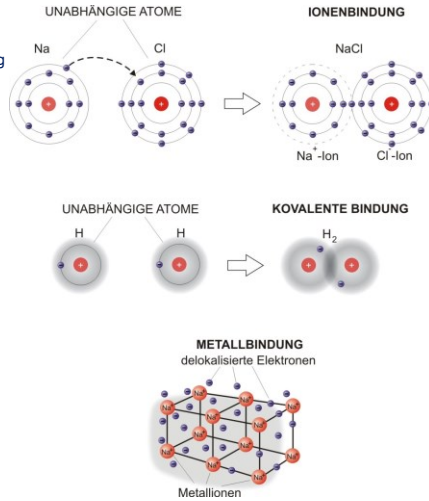
a) Energiekurve



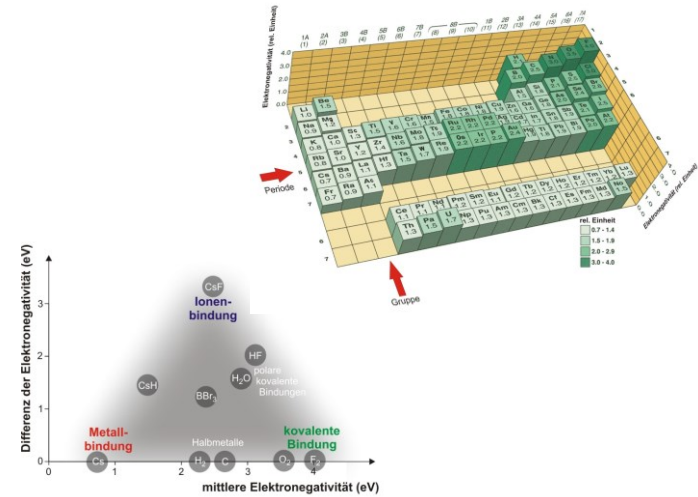
20

- Ionenbindung
- Kovalente Bindung
- Metallbindung

$\approx 100\text{-}1000 \text{ kJ/mol}$



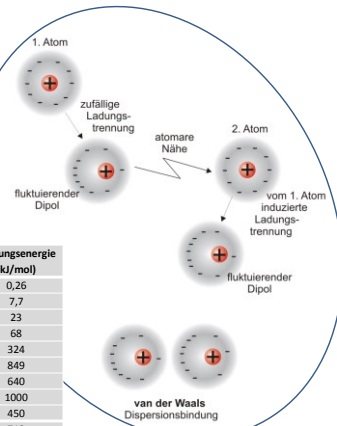
21



22

c) Sekundäre Bindungen $\approx 0,2-50 \text{ kJ/mol}$

- 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)	<i>van der Waals</i>	Neon (Ne)	0,26
		Argon (Ar)	7,7
	<i>H-Bindung</i>	Wasser (H ₂ O)	23
stark (primär)	<i>Metalbindung</i>	Quecksilber (Hg)	68
		Aluminium (Al)	324
		Wolfram (W)	849
	<i>Ionenbindung</i>	NaCl	640
		MgO	1000
	<i>kovalente Bindung</i>	Silizium (Si)	450
		Kohlenstoff (C, Diamant)	713

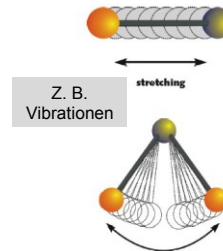
23

Primäre und sekundäre Bindungen

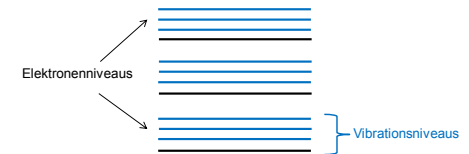
- Moleküle
- Aggregatzustände (flüssige und feste Körper)

5. Energiezustände in Molekülen

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

 $\approx 1 \text{ eV}$ $\approx 0,1 \text{ eV}$ $\approx 0,01 \text{ eV}$ 

- alle Energieformen sind quantisiert



(Rotationsniveaus sind nicht gezeigt.)

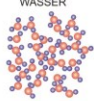
24


II. Aggregatzustände

1. Allgemeine Beschreibung

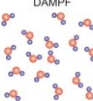
	Fest	Flüssig	Gasförmig
Eigenvolumen	+	+	-
Eigenform	+	-	-

flüssiges H₂O
WASSER

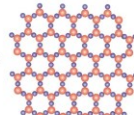




gasförmiges H₂O
DAMPF



festes H₂O
EIS



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)**

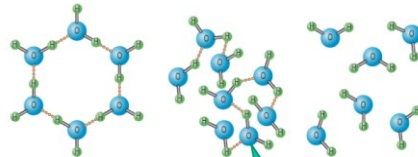
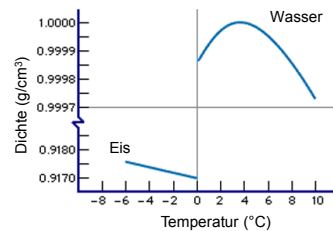
26

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

Stoff	$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)}$
Wasser	1
Fettgewebe	$\approx 0,9$
Blut	$\approx 1,05$
Knochen	$\approx 1,8$
Körpergewebe (Mittelwert)	$\approx 1,04$

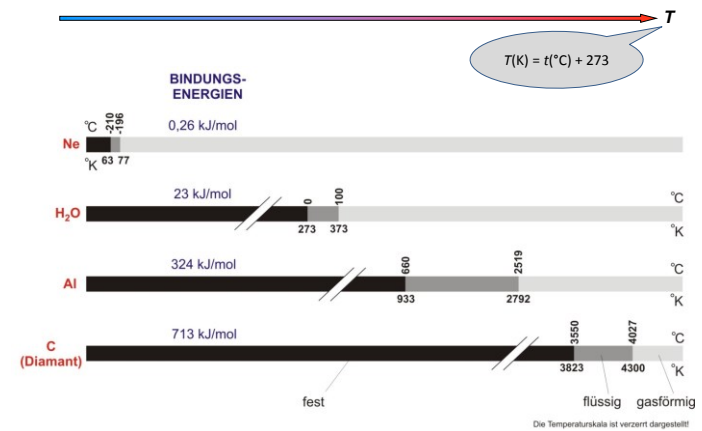
Temperaturabhängigkeit:

$\rho(T)$



27

Anziehende Wechselwirkungen \longleftrightarrow Abstoßende Wechselwirkungen + Bewegungen



28

3. Gasförmiger Aggregatzustand

a) Makroskopische Beschreibung:

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

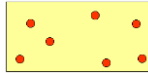
Druck Volumen Stoffmenge

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

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

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

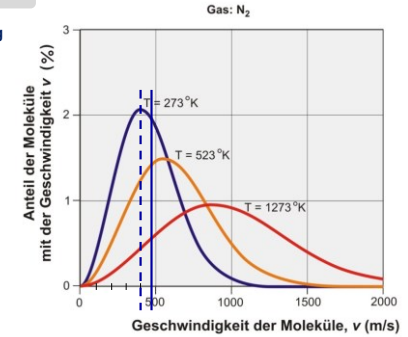
$$\overline{E}_{\text{kin, mol}} = \frac{1}{2} M \overline{v}^2 = \frac{3}{2} RT$$

Molare Masse

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

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

d) Maxwell-Boltzmann-Verteilung

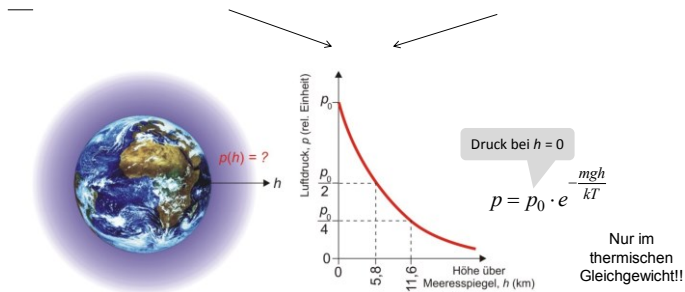


30

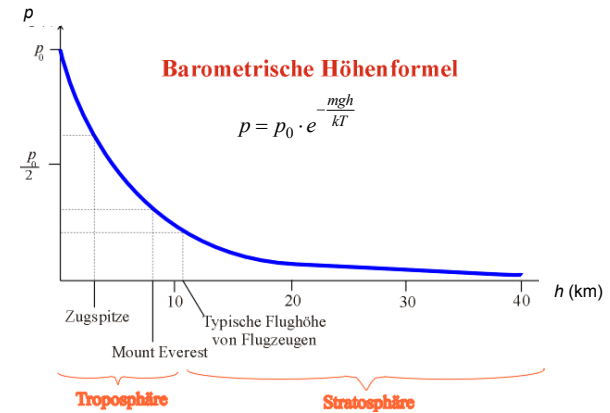
e) Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)

Gravitation
(ohne Bewegungen, d. h. $T = 0$)

Bewegung
(ohne Gravitation)



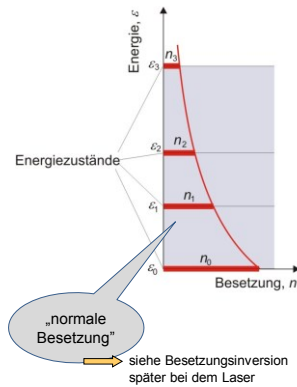
31



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