

Medizinische Biophysik I.

Prof. László Smeller
smeller.laszlo@med.semmelweis-univ.hu
Dr. András Kaposi
Dr. Attila Bérces

Institut für Biophysik und Strahlenbiologie

0
Einführung



"Sage es mir, und ich vergesse es; zeige es mir, und ich erinnere mich; lass es mich tun, und ich verstehe es.,"

(Konfuzius)

1

Physik in der Medizin



Lebensprozesse

Diffusion, Strömungen, Hebelfunktion, Wärmestrahlung, elektrische Ströme

Diagnostik

Röntgendiagnostik, Sonographie, Optische Tomographie, MRI, EKG, Endoskopie

Therapie

Gamma-Messer, Phototherapie, Laserchirurgie, Defibrillator, Nierensteinzertrümmerung

Medizinische Forschung

Röntgendiffraktion, Optische Spektroskopie, Mikroskopie, Massenspektrometrie

2

Beschreibung des Kurses, Thematik und Regeln

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

Hilfsmittel:

- Skript „Physikalische Grundkenntnisse“ (herunterladbar von der Webseite des Instituts)
- Wahlfach „Grundlagen der medizinischen Biophysik“
- Vorlesungsskripte (herunterladbar von der Webseite des Instituts in der Regel schon einen Tag vor der aktuellen Vorlesung)
- „Praktikum medizinische Biophysik“ 2017, Semmelweis Verlag, Budapest (erhältlich in der Buchhandlung des Verlags im EOK)
- Biophysik für Mediziner, 2008, Medicina Verlag, Budapest (erhältlich in der Buchhandlung des Verlags in der Üllői Str. gegenüber der Metrostation „Klinikák“)
- Aufgabensammlung zur medizinischen Biophysik (herunterladbar von der Webseite des Instituts)

3

4

Medizinische Biophysik

Struktur der Materie

1. Vorlesung
11. 09. 2019

I. Atome, Moleküle und ihre Wechselwirkungen

Allgemein über Wechselwirkungen

1. Aufbau des Atoms
 - a) Bauelemente und ihre Wechselwirkungen
 - b) Energiezustände und Übergänge
2. Energiezustände in Molekülen

II. Aggregatzustände

1. Allgemeine Beschreibung
2. Einige grundlegenden Größen zur Beschreibung von Körpern
3. Gasförmiger Aggregatzustand
 - a) Makroskopische Beschreibung
 - b) Mikroskopische Beschreibung
 - c) Kinetische Deutung der Temperatur
 - d) Maxwell-Boltzmann-Verteilung
 - e) Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)
 - f) Boltzmann-Verteilung

5

I. Atome, Moleküle und ihre Wechselwirkungen

Allgemein über Wechselwirkungen

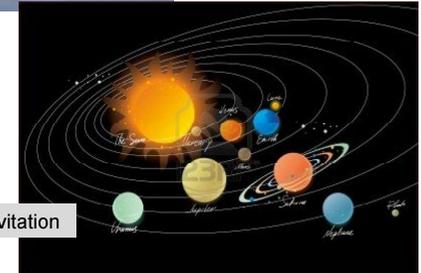
Beispiele:



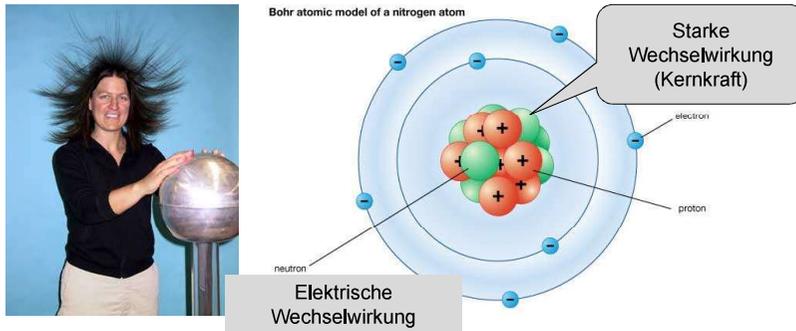
„Kontakt“ (molekulare Wechselwirkungen im Hintergrund)



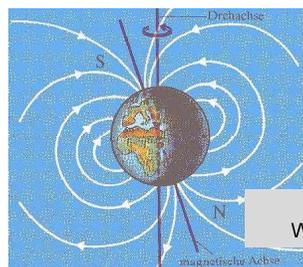
Gravitation



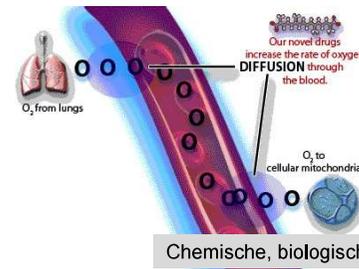
6



Thermische Wechselwirkung (Wärme)



Magnetische Wechselwirkung



Chemische, biologische, ... Wechselwirkungen

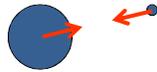


7

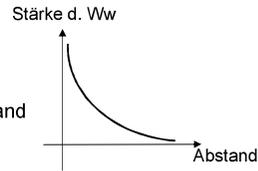
8

Beschreibung der Wechselwirkungen:

□ Symmetrie!



□ Bei fernwirkenden Ww: Abklingen mit wachsendem Abstand



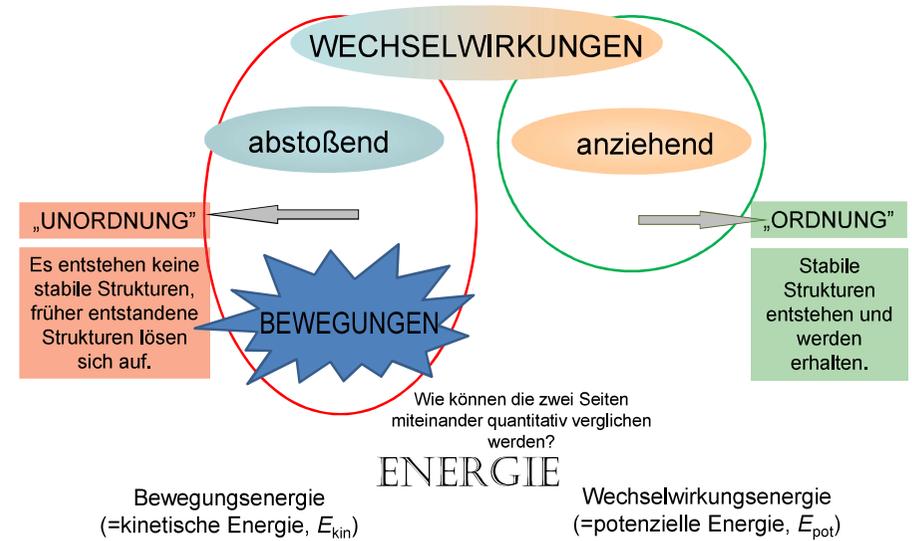
□ Größen und Gesetze:

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

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

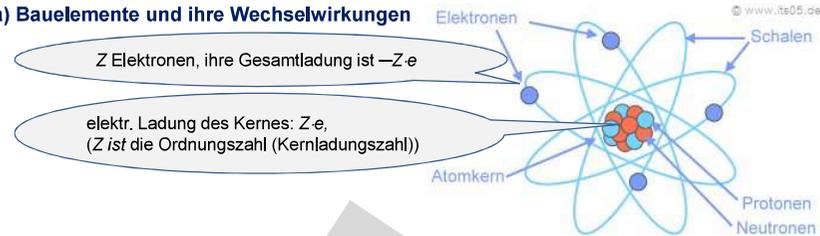
KRAFT ENERGIE

Entstehung von stabilen Strukturen - allgemeine Prinzipien



1. Aufbau des Atoms

a) Bauelemente und ihre Wechselwirkungen



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

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

$E_{gesamt} = E_{pot} + E_{kin}$

Ein Elektron kann aus der Bindung des Atoms entfernt werden, wenn Energie dem Elektron zugeführt wird und dadurch die Gesamtenergie positiv wird.

Vorkenntnisse
(s. Skript „Physikalische Grundkenntnisse“ Kapitel 10)

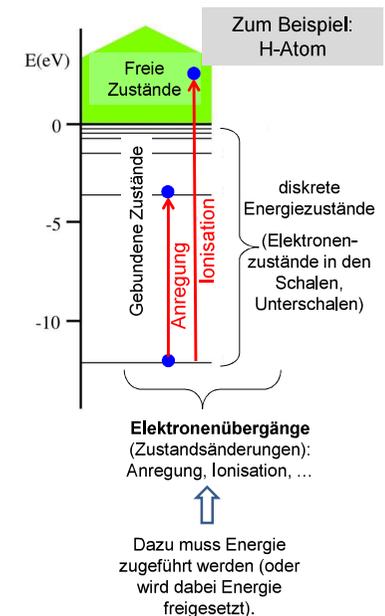
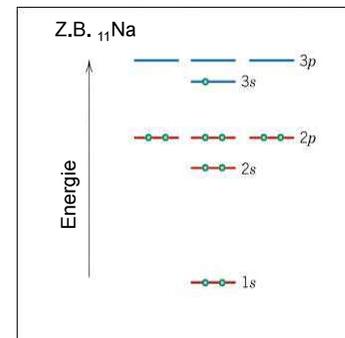
b) Energiezustände und Übergänge

Eine spezielle Eigenschaft der Mikrowelt:

– **diskrete (quantierte) gebundene Energiezustände**

Prinzipien bei der Besetzung der Energiezuständen (Schalen, Unterschalen):

- **Energieminimum**
- **Pauli-Prinzip**



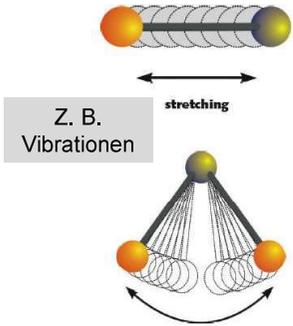
Durch primäre und sekundäre Bindungen (Wechselwirkungen) →

- Moleküle
- Aggregatzustände (flüssige und feste Körper)

2. 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 quantiert



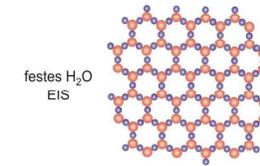
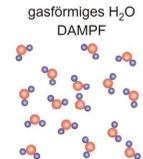
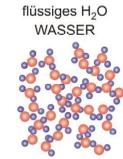
(Rotationsniveaus sind nicht gezeigt.)

13

II. Aggregatzustände

1. Allgemeine Beschreibung

	Fest	Flüssig	Gasförmig
Eigenvolumen	+	+	-
Eigenform	+	-	-



14

2. Einige grundlegenden Größen zur Beschreibung eines Körpers

Mengengrößen

- Masse (m)
- Volumen (V)
- Stoffmenge (ν)
- Teilchenanzahl (N)
(Anzahl der Bauelemente (Atome oder Moleküle) im Körper)

$$\nu = \frac{N}{N_A} \quad \text{oder} \quad N = \nu \cdot N_A$$

Avogadro-Konstante (N_A): $N_A = 6,03 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$

Bezogene Größen

Stoffmengenbezogen (molare Größen)

- Molare Masse (M) $M = \frac{m}{\nu}$ oder $m = \nu \cdot M$

Volumenbezogen

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

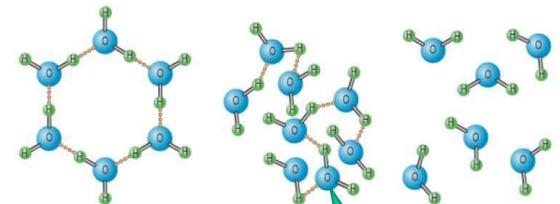
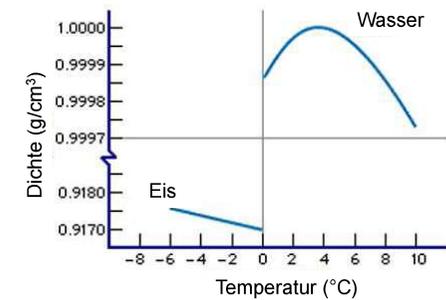
15

Mehr über die Dichte:

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

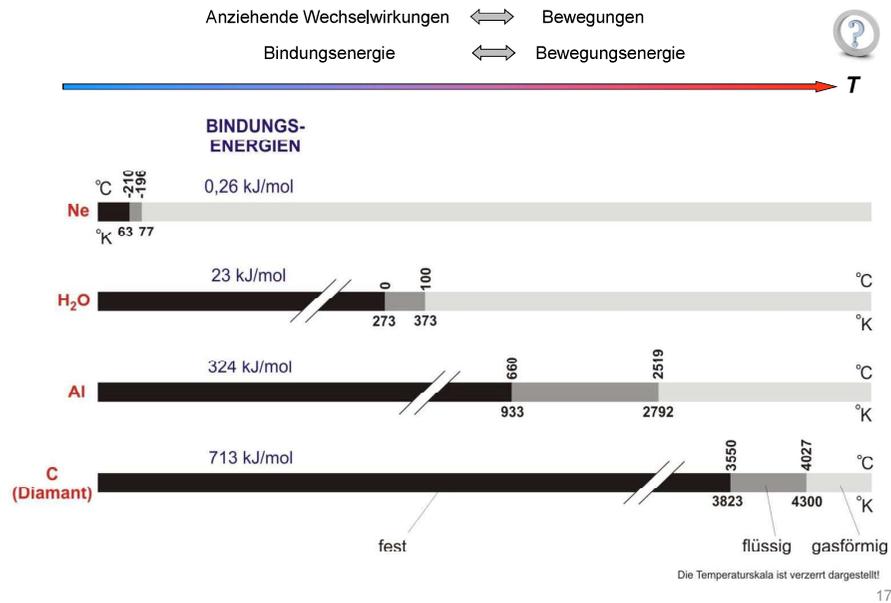
Temperaturabhängigkeit:

$\rho(T)$?



16

Was entscheidet darüber, in welchem Aggregatzustand sich ein Stoff bei einer gegebenen Temperatur befindet?



3. Gasförmiger Aggregatzustand

a) Makroskopische Beschreibung:

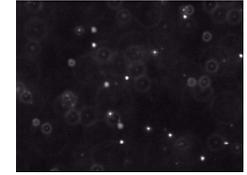
- Kein Eigenvolumen und keine Eigenform
- Isotrop
- Messbare Größen: p, V, ν, T

Druck Volumen Stoffmenge

Vorkenntnisse
(s. Skript „Physikalische
Grundkenntnisse“ Kapitel 9)

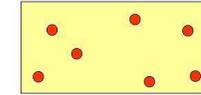
allgemeine Gaskonstante
 $R = 8,31 \text{ J/(molK)}$

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



b) Mikroskopische Beschreibung:

- Ungeordnet
- Starke und fast freie Bewegungen



c) Kinetische Deutung der Temperatur:

durchschnittliche kinetische
Energie eines Teilchens

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

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

Masse eines
Teilchens

Geschwindigkeit
des Teilchens

Temperatur

$kT = \text{„thermische Energie“}$

Eine andere Form:

durchschnittliche kinetische
Energie von einem Mol

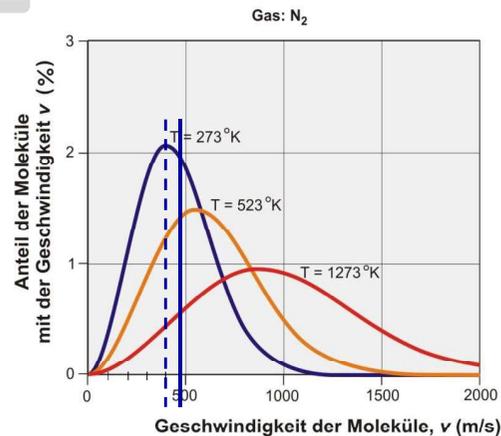
Allgemeine Gaskonstante
 $R = 8,34 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$

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

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

Molare Masse

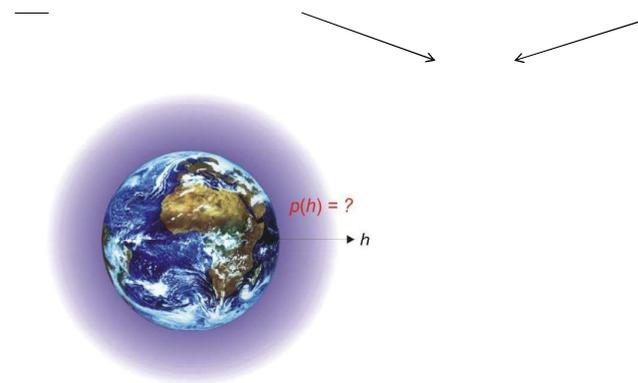
d) Maxwell-Boltzmann-Verteilung



e) Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)

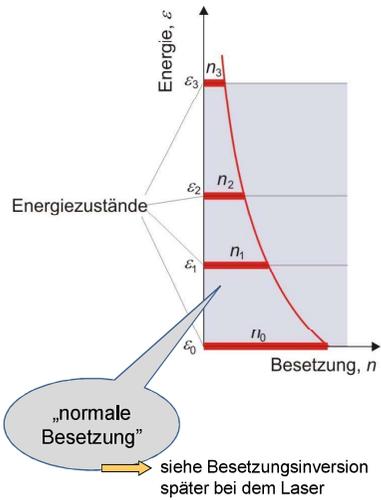
Gravitation
(ohne Bewegungen, d. h. $T = 0$)

Bewegung
(ohne Gravitation)



f) Boltzmann-Verteilung

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



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

$$\left(\begin{array}{l} n_i = n_0 \cdot e^{-\frac{\Delta E}{RT}} \quad \Delta E = \Delta\varepsilon \cdot N_A \\ R = k \cdot N_A \end{array} \right)$$

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!)

Hausaufgaben:

- Aufgabensammlung :
1. 22, 26, 27, 31, 34, 36, 40

