

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)

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

1

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

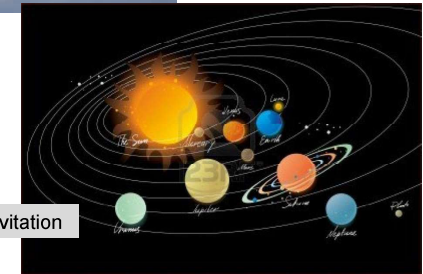
Beispiele:



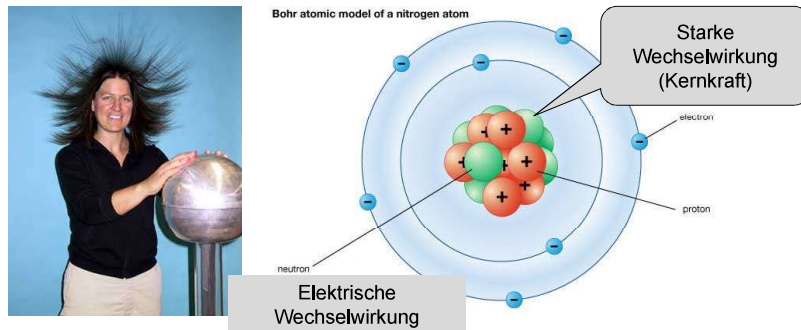
„Kontakt“ (molekulare Wechselwirkungen im Hintergrund)



Gravitation



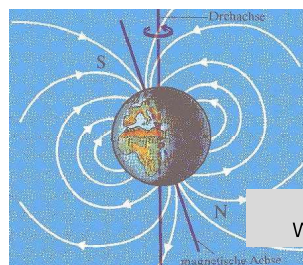
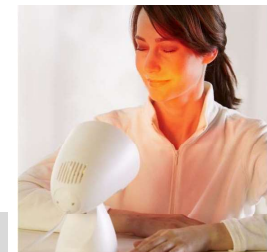
6



Elektrische Wechselwirkung



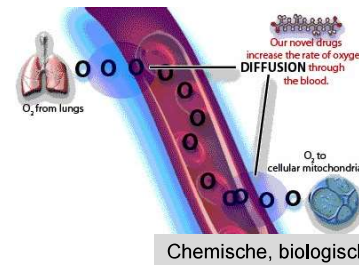
Thermische Wechselwirkung (Wärme)



Magnetische Wechselwirkung



7



Chemische, biologische, ... Wechselwirkungen



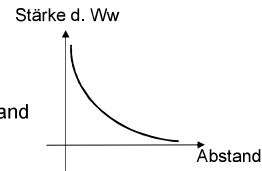
8

Beschreibung der Wechselwirkungen:

□ Symmetrie!



□ Bei fernwirkenden Ww: Abklingen mit wachsendem Abstand



□ Größen und Gesetze:

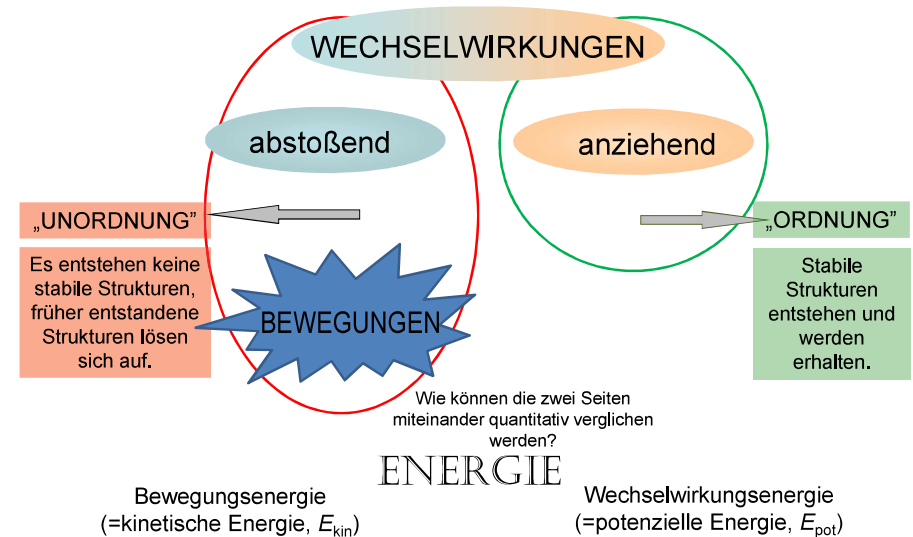
- **Kraft, die newtonschen Gesetze und Beispiele für Kraftgesetze**
- **Arbeit und Energie**
- **Energieerhaltung**
- **Leistung**
- **Druck**

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

KRAFT ENERGIE

9

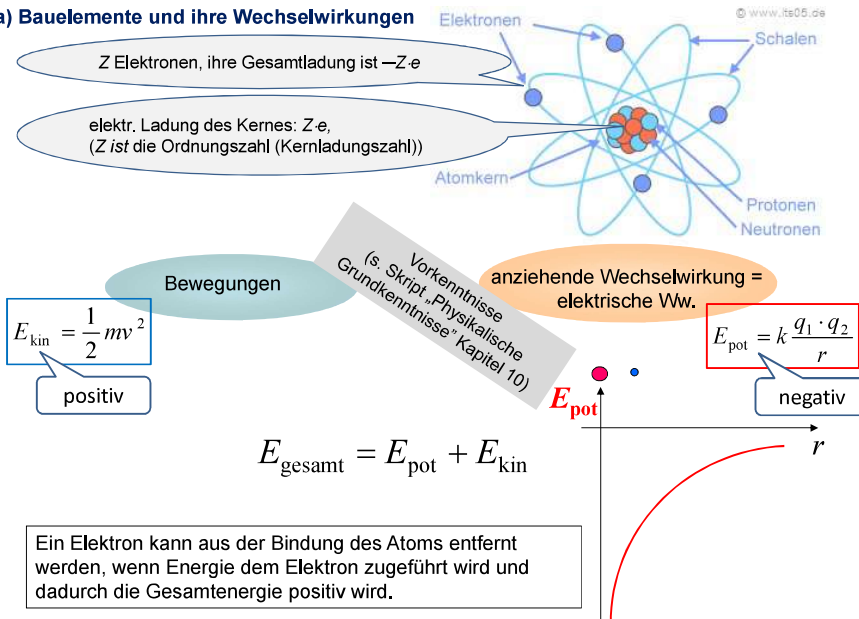
Entstehung von stabilen Strukturen - allgemeine Prinzipien



10

1. Aufbau des Atoms

a) Bauelemente und ihre Wechselwirkungen



11

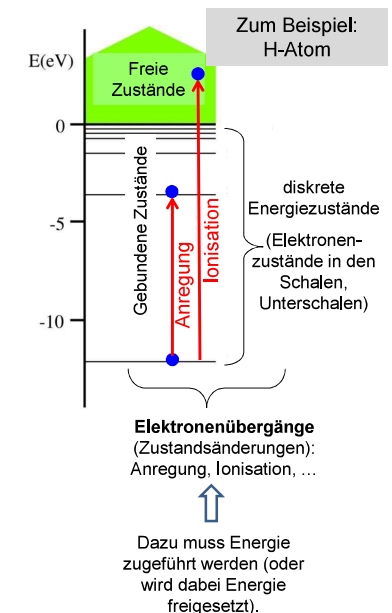
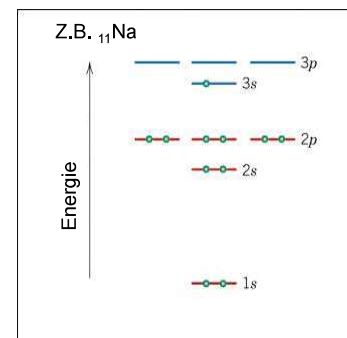
b) Energiezustände und Übergänge

Eine spezielle Eigenschaft der Mikrowelt:

- **diskrete (quantisierte) gebundene Energiezustände**

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

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



12

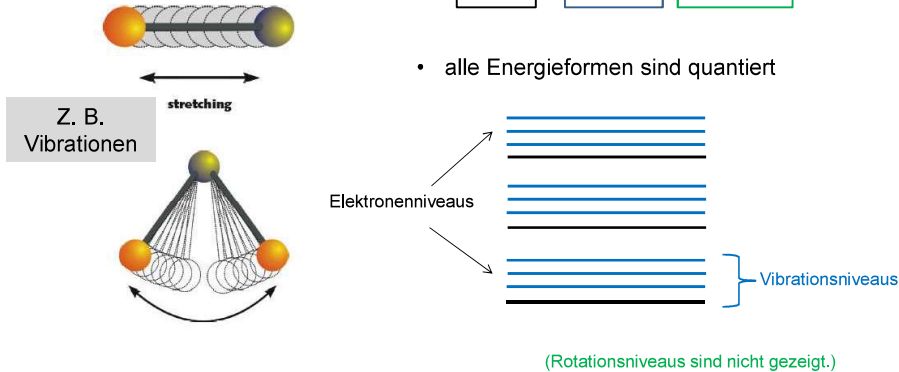
Durch primäre und sekundäre Bindungen (Wechselwirkungen) →

- Moleküle
- Aggregatzustände (flüssige und feste Körper)

2. Energiezustände in Molekülen

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

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



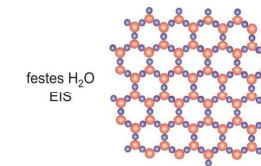
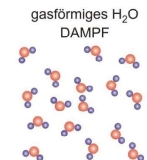
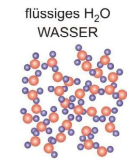
- alle Energieformen sind quantisiert

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)
- $$M = \frac{m}{\nu} \quad \text{oder} \quad m = \nu \cdot M$$

Volumenbezogen

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

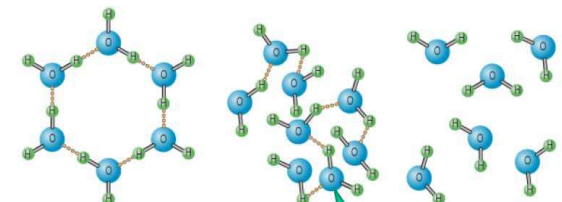
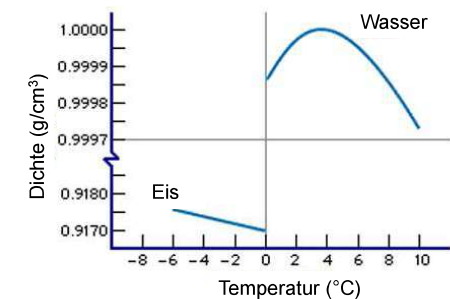
15

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)	$\approx 1,04$

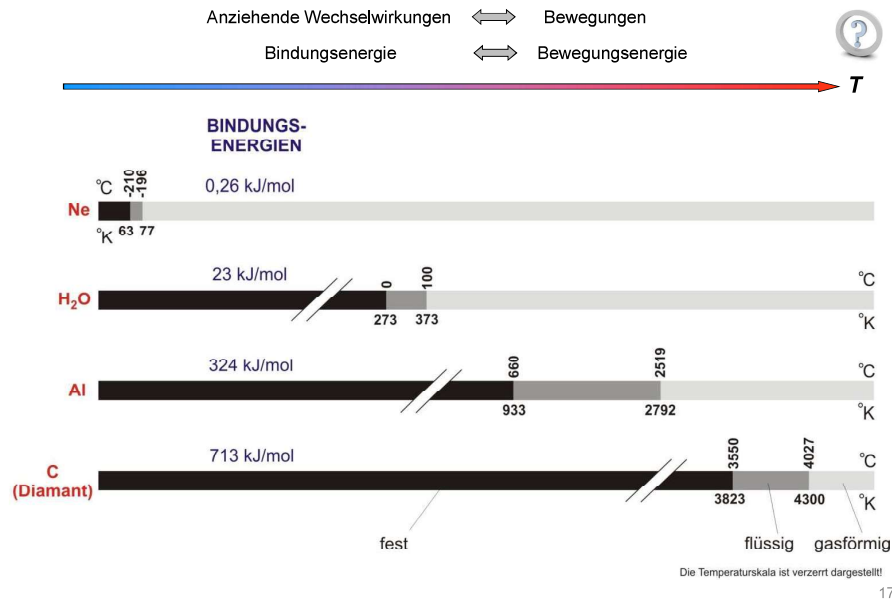
Temperaturabhängigkeit:

$\rho(T)$?



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

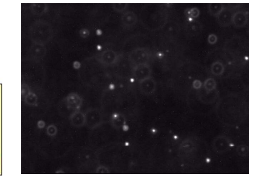
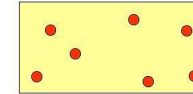
Vorkenntnisse
(s. Skript „Physikalische
Grundkenntnisse“ Kapitel 9)

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

$kT = \text{„thermische Energie“}$

18

Eine andere Form:

durchschnittliche kinetische
Energie von einem Mol

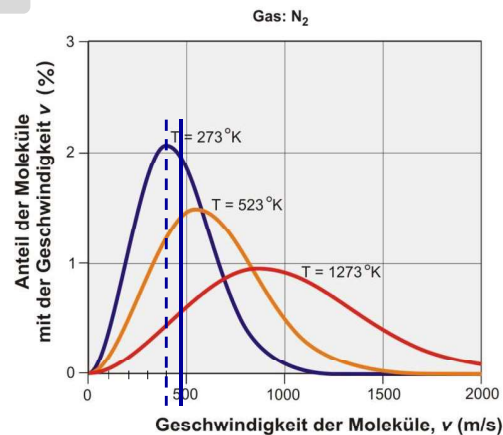
Allgemeine Gaskonstante
 $R = 8,34 \text{ J/(mol·K)}$

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

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

Molare Masse

d) Maxwell-Boltzmann-Verteilung

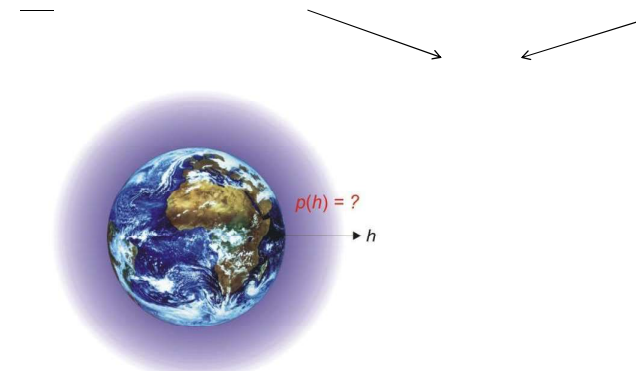


19

e) Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)

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

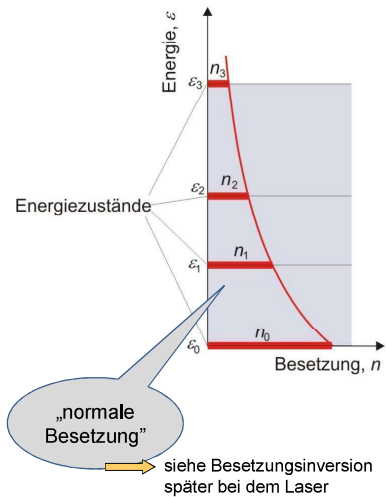
Bewegung
(ohne Gravitation)



20

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!)

21

Hausaufgaben:

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



28