

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



The most exciting phrase to hear in science, the one that heralds new discoveries, is not 'Eureka!' (I found it!), but 'That's funny...'

(Isaac Asimov)



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

(Konfuzius)



3

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)

4

Medizinische Biophysik

1. Vorlesung
13. 09. 2017

Struktur der Materie

- 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

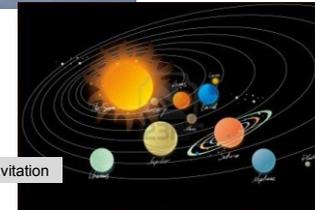
Beispiele:



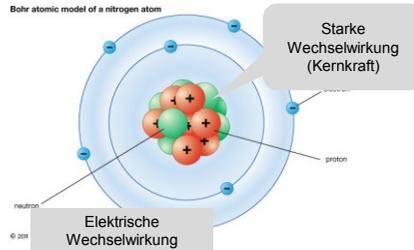
„Kontakt“ (molekulare Wechselwirkungen im Hintergrund)



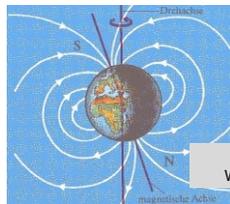
Gravitation



6



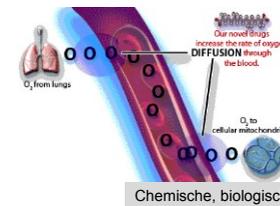
Thermische Wechselwirkung (Wärme)



Magnetische Wechselwirkung



7



Chemische, biologische, ... Wechselwirkungen



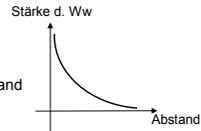
8

Beschreibung der Wechselwirkungen:

- Symmetrie!



- Bei fernwirkenden Ww: Abklingen mit wachsendem Abstand



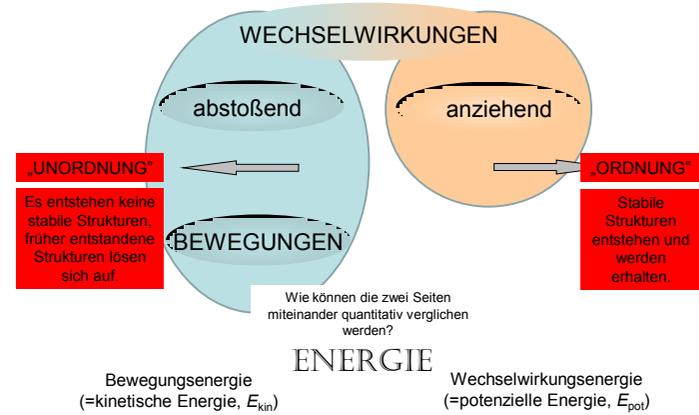
- Größen und Gesetze:

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

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

KRAFT ENERGIE

Entstehung von stabilen Strukturen - allgemeine Prinzipien



1. Aufbau des Atoms

a) Bauelemente und ihre Wechselwirkungen

Z Elektronen, ihre Gesamtladung ist $-Ze$

elektr. Ladung des Kernes: Ze , (Z ist die Ordnungszahl (Kernladungszahl))

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

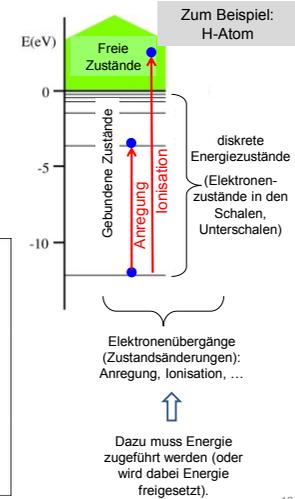
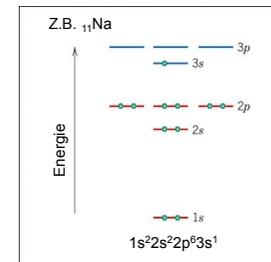
b) Energiezustände und Übergänge

Eine spezielle Eigenschaft der Mikrowelt:

- diskrete (quantierte) gebundene Energiezustände

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

- Energieminimum
- Pauli-Prinzip



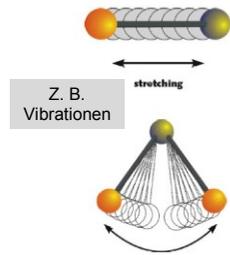
Durch primäre und sekundäre Bindungen (Wechselwirkungen) →

- Moleküle
- Aggregatzustände (flüssige und feste Körper)

2. Energiezustände in Molekülen

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

$$\begin{matrix} \approx 1 \text{ eV} & \approx 0,1 \text{ eV} & \approx 0,01 \text{ eV} \end{matrix}$$



- alle Energieformen sind quantiert



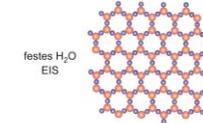
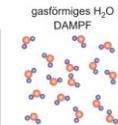
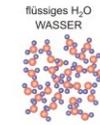
(Rotationsniveaus sind nicht gezeigt.)

13

II. Aggregatzustände

1. Allgemeine Beschreibung

| | Fest | Flüssig | Gasförmig |
|--------------|------|---------|-----------|
| Eigenvolumen | + | + | - |
| Eigenform | + | - | - |



14

2. Einige grundlegenden Größen zur Beschreibung der Eigenschaften 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)

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

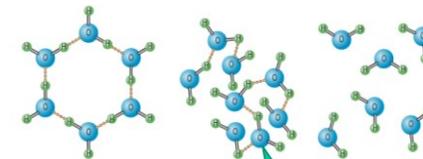
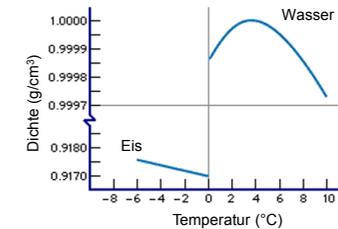
15

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) | $\approx 1,04$ |

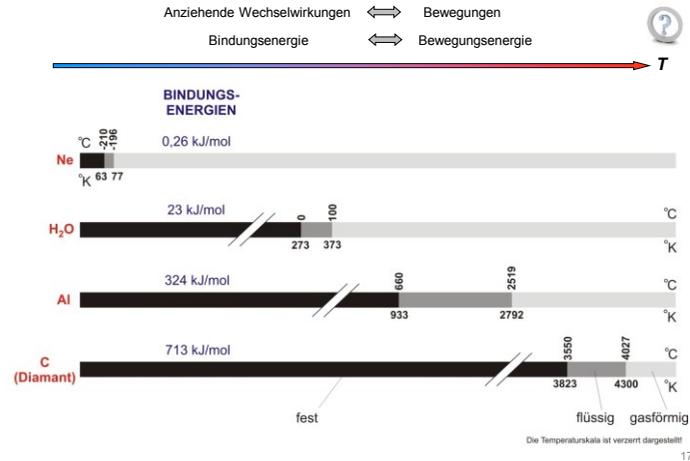
Temperaturabhängigkeit:

$\rho(T)$?



16

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



Eine andere Form:

durchschnittliche kinetische Energie von einem Mol

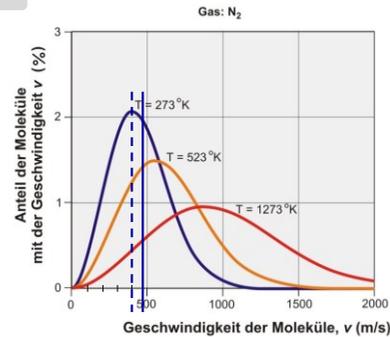
Allgemeine Gaskonstante $R = 8,34 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$

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

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

Molare Masse

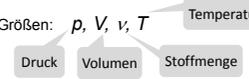
d) Maxwell-Boltzmann-Verteilung



3. Gasförmiger Aggregatzustand

a) Makroskopische Beschreibung:

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



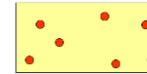
allgemeine Gaskonstante $R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$

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

Temperatur

b) Mikroskopische Beschreibung:

- Ungeordnet
- Starke und fast freie Bewegungen



c) Kinetische Deutung der Temperatur

durchschnittliche kinetische Energie eines Teilchens

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

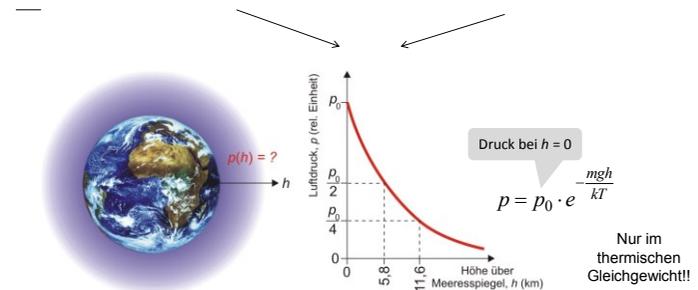
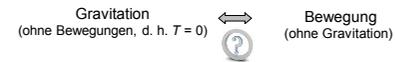
$$\overline{E}_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \overline{v}^2 = \frac{3}{2} kT$$

Temperatur

Masse eines Teilchens Geschwindigkeit des Teilchens

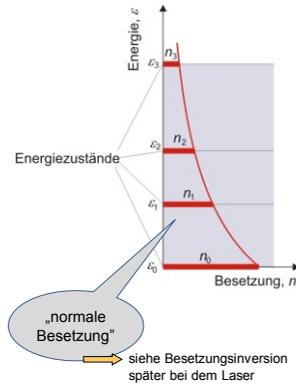
$kT = \text{„thermische Energie“}$

e) Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)



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!)

21

Hausaufgaben:

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



22