KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

# BIOPHYSICS

**Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego w projekcie pt.**

***„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń - zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej - zarządzanie Uczelnią, nowoczesna oferta edukacyjna i wzmacniania zdolności do zatrudniania osób niepełnosprawnych”***

Lecture 1

# THERMODYNAMICS(1)

**Bogdan Walkowiak**

*Department of Biophysics*
*Institute of Materials Science and Engineering*
*Technical University of Lodz*

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

# Introduction

*Areas of interest:*

- *ecosystems*
- *macro-scale objects*
- *micro-scale objects*
- *language of biophysics*

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

# Schedule of the lectures

1. Introduction to thermodynamics
2. Thermodynamics of open systems - information
3. Macromolecules
4. Transport of substrates
5. Potentials, forces and fluxes
6. Muscle structure and operation
7. Blood flow
8. Electric and magnetic properties of materials
9. Bioelectrochemistry and biomaterials

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

# Introduction to Thermodynamics

- An area of interest of classical (phenomenological) and statistical thermodynamics
  - a heat transmission and mechanical work
  - a black box and in-out relations
  - an internal structure and statistics
- Relationship between thermodynamics and modern physics
  - correspondence principle
  - discrepancy between thermodynamics and the Einstein's formula $E=mc^2$
- Usefulness and restrictions of thermodynamics

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

# Classification of Thermodynamic Systems

- isolated system
  (lack of exchange of any form of energy and matter with an environment) - a theoretical system

- adiabatic system
  (energy is exchanged with en environment, excluding the heat energy) – a theoretical system

- closed (isothermal) system
  (exchange of all forms of energy but not matter)
  - a real system

- open system
  (exchange of all forms of energy and matter)
  - a real system

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

# Parameters Describing a System State

- ***extensive parameters*** - *additive (mass, volume, linear size)*
- ***intensive parameters*** - *no additive (pressure, concentration, temperature)*

$$T = (m_1 T_1 c_1 + m_2 T_2 c_2)/(m_1 + m_2)$$

# Thermodynamic Work

## parameters

| work | intensive | extensive | formula |
|---|---|---|---|
| Volumetric | Pressure (p) | Volume (V) | dW = - pdV |
| Surface | Surface pressure (S) | Surface (A) | dW = - SdA |
| Electrochemical | Electromotive force (E) | Charge (Z) | dW = - EdZ |
| Magnetic | Magnetic induction (B) | Magnetic moment (M) | dW = - BdM |

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

# States of a System

- ***Equilibrium state*** *(internal parameters of a system are totally determined by external parameters)*

- ***Stationary state*** *(internal parameters are constant but are not equal to external parameters. The state is achieved due to the existence of fluxes between the system and environment. The state known also as* ***Equilibrium exchange state*** *)*

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

# Changes in a System State

- ***The state equation***

*(an equation describing a system state with the use of thermodynamical parameters, for example: pV=nRT)*

- ***Thermodynamical process***

*(transition of a system from the one to the other one state, for example: gas in a cylinder pressured to a lower volume)*

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

# State Functions (V=const)

- ***Internal energy U***

*U=Q+W ;* $Q_v = dU$ *when* $W=0$

- ***Free energy F***

*F=U-TS ;* *S – entropy*

*F - Part of internal energy available for work performing*

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

# State Functions (p=const)

- ***Enthalpy H***

$H=U+pV;$ $Q_p = dH,$

*(Amount of heat energy, delivered to a system at p=const, used for increase of internal energy and work performance, dH=dU+pdV*

- ***Free enthalpy G***

$G=H-TS;$ *(Gibbs potential)*

*G - Part of enthalpy available for performance of work other than volumetric one, dG=H-TdS)*

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

# Exothermic and Endothermic Processes

**Change in free enthalpy and free energy:**

- **In exothermic processes**

  $dG < 0$ $dF < 0$

- **In endothermic processes**

  $dG > 0$ $dF > 0$

*A measure of the heat of chemical reaction in isochoric processes is the change of internal energy ($Q_V = dU$), and in isobaric processes the change of enthalpy ($Q_p = dH$)*

***Hess's Law:*** *heat of the reaction is dependent not on the manner of its performance, but on the initial and final state of the reagents*

# Entropy (1)

- ***reduced heat*** $Q/T$
- ***degraded form of energy*** $dS = dQ/T,$
- ***measure of disorder (Boltzman's equation)*** $S = k \ln W,$

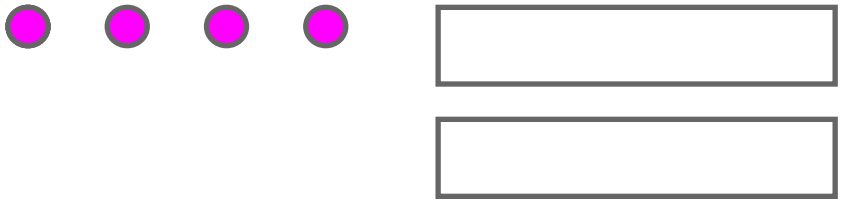
$k$ - Boltzman's constant; $k=1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K)
$W$ – thermodynamical probability

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

# Entropy (2)



$$W = \frac{n!}{n_1!\ n_2!\ \ldots\ n_m!}$$

| Case number | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Number of bills in the first chamber | **4** | **3** | **2** | **1** | **0** |
| Number of bills in the second chamber | **0** | **1** | **2** | **3** | **4** |
| **Thermodynamic probability (Sum of states W)** | **1** | **4** | **6** | **4** | **1** |

n – number of all available bills

$n_i$ – number of bills in the i-chamber

n! = 1 x 2 x 3 x ... x n

is a factorial n

# Entropy (3)

***Entropy*** *is a function of thermodynamic probability*

$$S = f(W)$$

*If* $S_1$ *i* $S_2$ *are the entropies of two subsystems and* $W_1$ *i* $W_2$ *are respective thermodynamic probabilities of these subsystems, then entropy of the system is:*

$$S = f(W) = S_1 + S_2 = f(W_1) + f(W_2)$$

*Thermodynamical probability of the system is a product of probabilities of subsystems:*

$$f(W) = f(W_1) + f(W_2) = f(W_1 W_2);$$

*Since only logarythmic function meets such the relation:*

$$\ln A + \ln B = \ln (A B)$$

*Thus, entropy must present the form:*

$$S = k \ln W$$

# 1st Principle of Thermodynamics

***The entire energy of the universe remains unchanged:***

***(U+Q+W=const)***

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

# 2nd Principle of Thermodynamics

***Entropy of the universe is constantly growing: dS>0***

*dS > 0 for irreversible processes (real processes)*
*dS = 0 for reversible processes (theoretical processes only)*

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

# 2nd Principle of Thermodynamics (an example)

***Example:***

*Entropy change during alcohol fermentation:*

$$C_6H_{12}O_6 \dashrightarrow 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2$$

*Standard molar entropy are:*

| | |
|---|---|
| $C_6H_{12}O_6$ | - 50.7 cal/K |
| $C_2H_5OH$ | - 38.4 cal/K |
| $CO_2$ | - 51.08 cal/K |

*dS = 2x38.4 cal/K + 2x51.08 cal/K - 50.7 cal/K = 128,26 cal/K*

*Process can run only to the right side as it is indicated by entropy increase*

# 3rd Principle of Thermodynamics

***At T=0 entropy S is equal 0***

$$\lim_{T \Rightarrow 0} S = 0$$

*The other state functions (U,F,H,G) at T=0 reach the minimal values but never 0 .*

*At T=0 real processes can run with no change in entropy, thus, at T=0 any real processes can be reversible.*

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

# BIOPHYSICS

**Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego w projekcie pt.**

***„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń - zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej - zarządzanie Uczelnią, nowoczesna oferta edukacyjna i wzmacniania zdolności do zatrudniania osób niepełnosprawnych”***