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 2

Thermodynamics of open systems - information (2)

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

Thermodynamic Potentials and Stimulus

- ***Thermodynamic potential*** *- it is a thermodynamic function, whose change in a reversible process is equal to a total work done by a system.*

- ***Thermodynamic stimulus*** *– are defined as a difference between thermodynamic potentials of interacting thermodynamic systems*

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Thermodynamic Stimulus

Thermodynamic stimulus		*Flow*
Temperature gradient	(dT/dL)	of heat
Pressure gradient	(dP/dL)	of gas or fluid
Concentration gradient	(dC/dL)	of matter
Electric potential gradient	(dV/dL)	of current

- *Fick's Law (diffusion)*

  dn/dt = -DS (dC/dL)

- *Fourier's Law (heat conduction)*

  dQ/dt = -lS (dT/dL)

- *Ohm's Law (current conduction)*

  dq/dt = -gS (dV/dL)

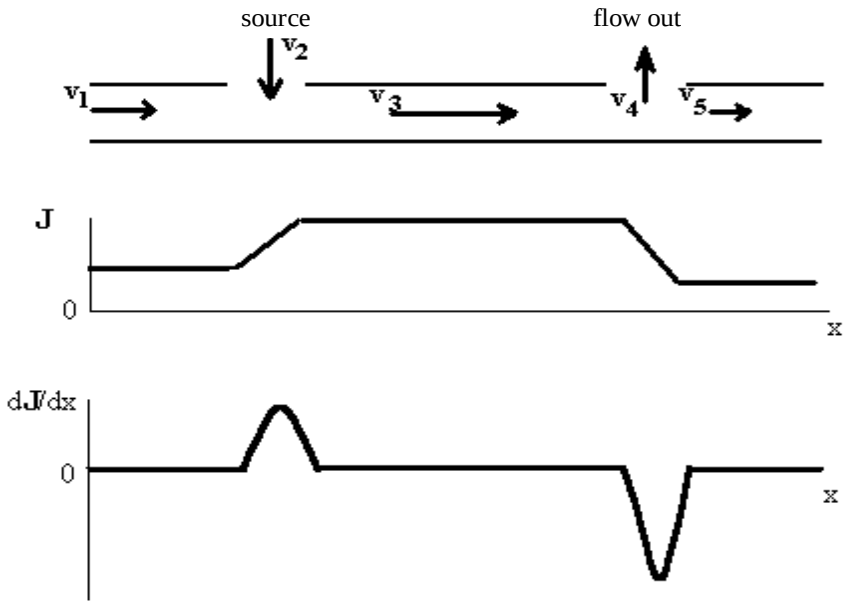
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Substance Transport (1)

Stream of mass *– an amount of substance of interest passing in the unit of time by a unit of surface positioned perpendicularly to the stream direction.*



$J = c\,v$

(concentration multiplied by velocity)

The derivative of the stream has two extreme values:

For existing source (flow in):

$dJ/dx > 0$

For existing receiver (flow out):

$dJ/dx < 0$

Substance Transport (2)

Thermodynamic Coupled Processes

The flow velocity depends on the thermodynamic stimuli (thermodynamic force) causing the flow:

$v = w X$ *where w is a proportionality coefficient*

thus:

$J = c\, w\, X$

or:

$J = L X$ *where L is a coefficient of coupling (phenomenological coefficient)*

Generally for a multi-substance transport:

$$J_i = \sum_{j=1}^{n} L_{ij} X_j$$

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

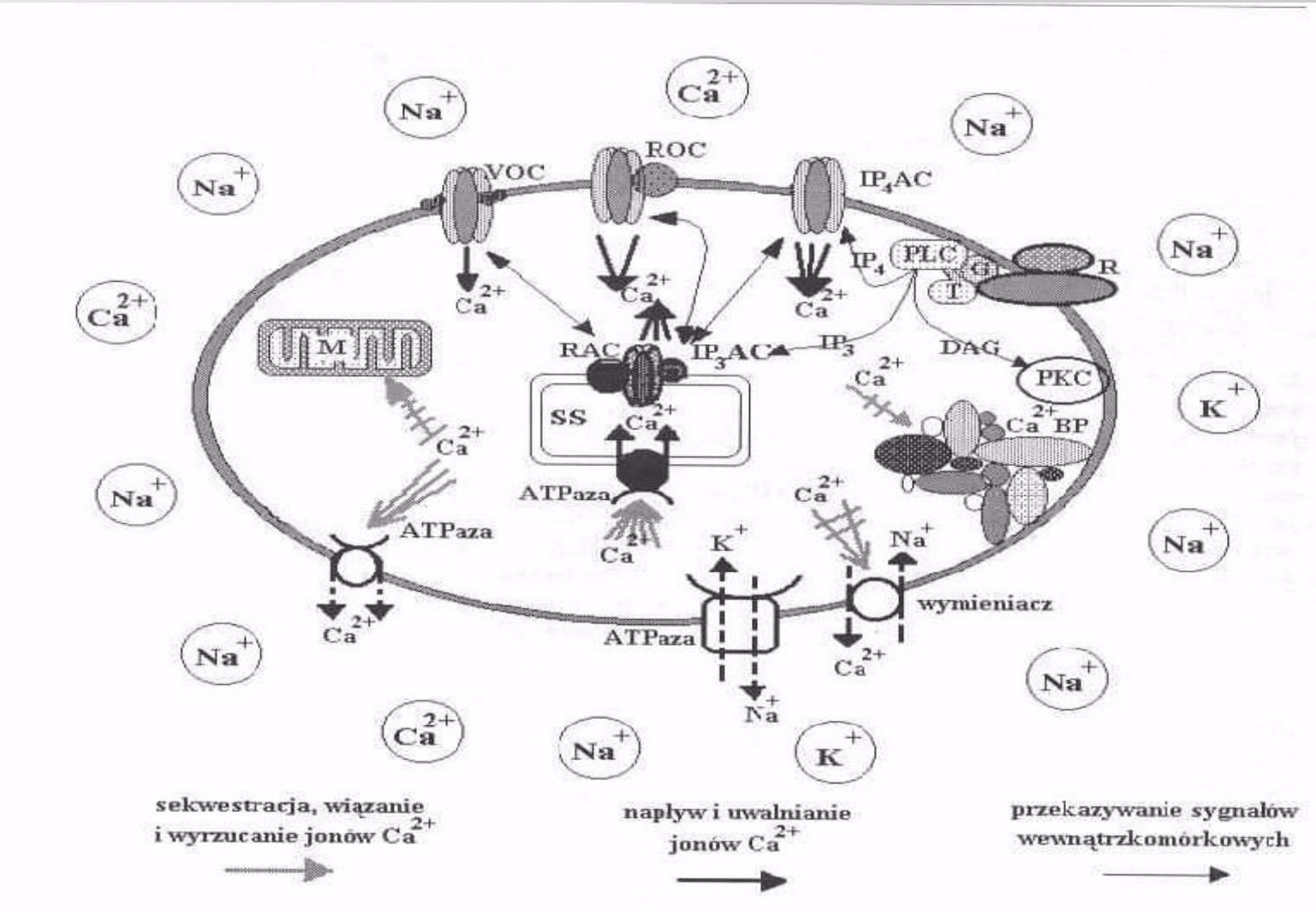
Substance Transport (3)

The last formula can be written as:

$$J_1 = L_{11}X_1 + L_{12}X_2 + \ldots\ldots + L_{1n}X_n$$
$$J_2 = L_{21}X_1 + L_{22}X_2 + \ldots\ldots + L_{2n}X_n$$
$$\vdots$$
$$J_n = L_{n1}X_1 + L_{n2}X_2 + \ldots\ldots + L_{nn}X_n$$

Stream J_m *is coupled with the stimulus (force)* X_n *only when value of* L_{nm} *is different from* **0**

Substance Transport (an example of coupling)



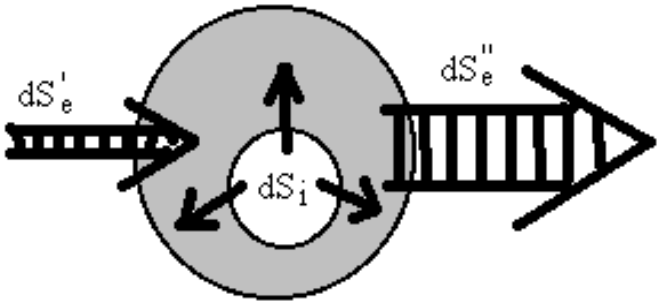
Substance Transport (an example of coupling)

$$J_{Na} = L_{11}(K^+/Na^+ ATPaza) + L_{12}(grad\text{-}dyf\ Na^+) + L_{13}(Ca^{2+}/Na^+ exch)$$

$$J_{ca} = L_{21}(Ca^{2+} ATPaza) + L_{22}(grad\text{-}dyf\ Ca^{2+}) + L_{23}(Ca^{2+}/Na^+ exch)$$

Forced by the K^+/Na^+ pump (K^+/Na^+ ATPase) gradient of Na^+ ions concentration makes driving force of coupled Na^+ - Ca^{2+} ions transport.

The 2nd Principle of Thermodynamics in Living Organisms



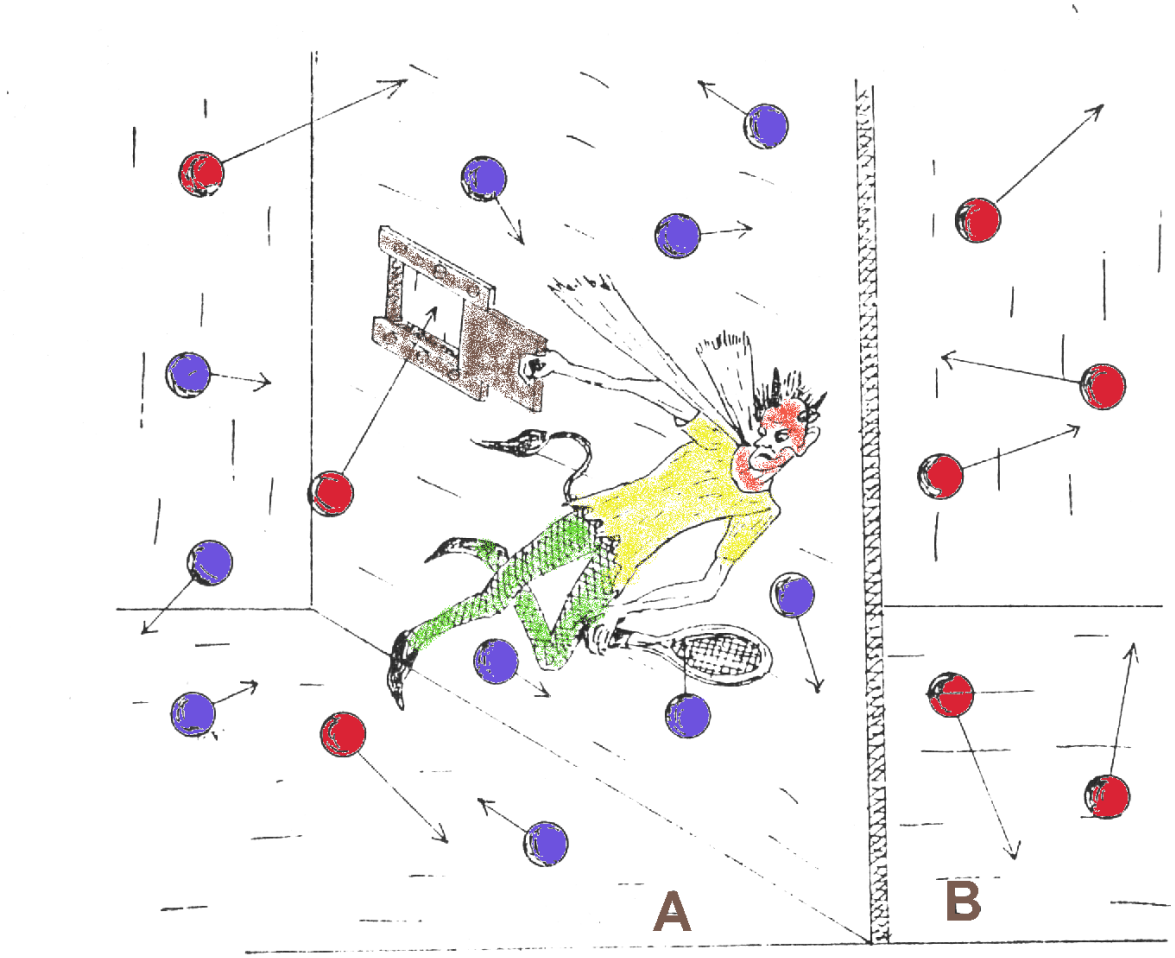
Entropy of metabolism	dS_i
Entropy of exchange	$dS_e = (dS'_e - dS''_e) < 0$
In the grow phase of organism	$dS_i/dt < dS_e/dt$
For the adult organism	$dS_i/dt = dS_e/dt$
For the ecosystem	$dS_{ekos} = dS_{oto} + dS_{org} > 0$

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Maxwell's Demon



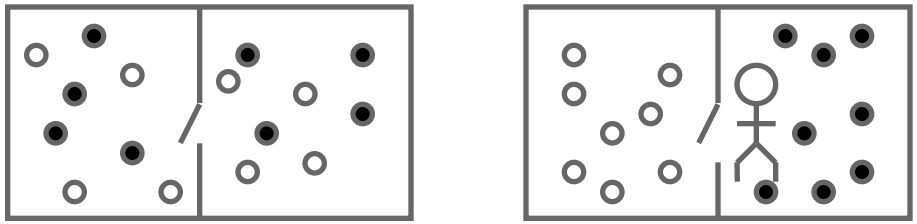
Unknown author of the graphics

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Maxwell's Demon



An increase in disorder is associated with an appropriate increase of entropy

Information can be converted into entropy and inversely

Increasing information included in the system we can decrease entropy of the system, but entropy of environment must increase then

Negative entropy we call negaentropy or information

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Information

Mathematical probability:

$$P = \frac{\text{number of favourable cases (coincidences)}}{\text{number of all possible cases (coincidences)}}$$

Information I is a function of probability P

$$I = f(P)$$

Must be fulfilled condition:

$$I = I_1 + I_2 = f(P_1) + f(P_2) = f(P_1 P_2)$$

It means:

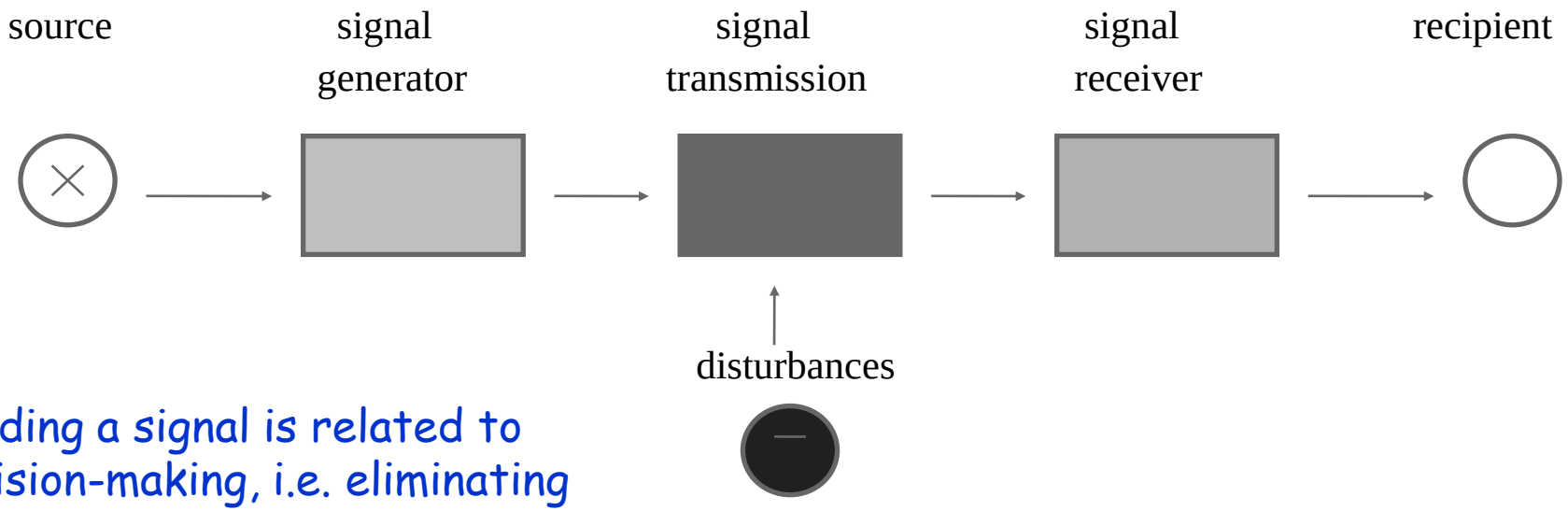
$$I = K \ln P \text{ (in bits } K=-1/\ln 2) \quad \text{or} \quad I = k \ln P \text{ (cal/K)}$$

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Flow of Information

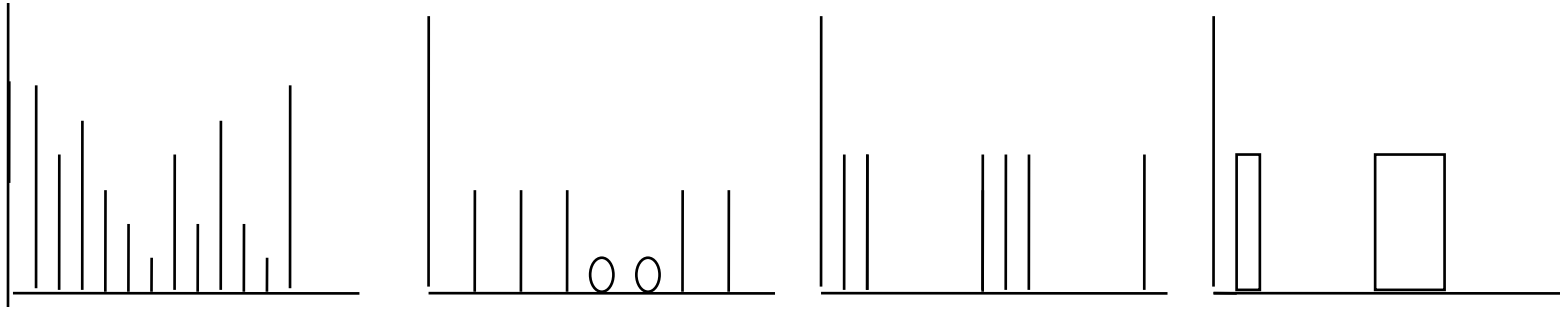


Sending a signal is related to decision-making, i.e. eliminating the state of uncertainty

Rate of signal transmission:

- *modem 2400 - 100000 bit/s*
- *reading 45 bit/s*
- *writing 16 bit/s*
- *calculation 3 bit/s*

Information Encoding



Amplitude modulation binary code Frequency modulation interval code

There are a huge diversity of ways for information encoding.

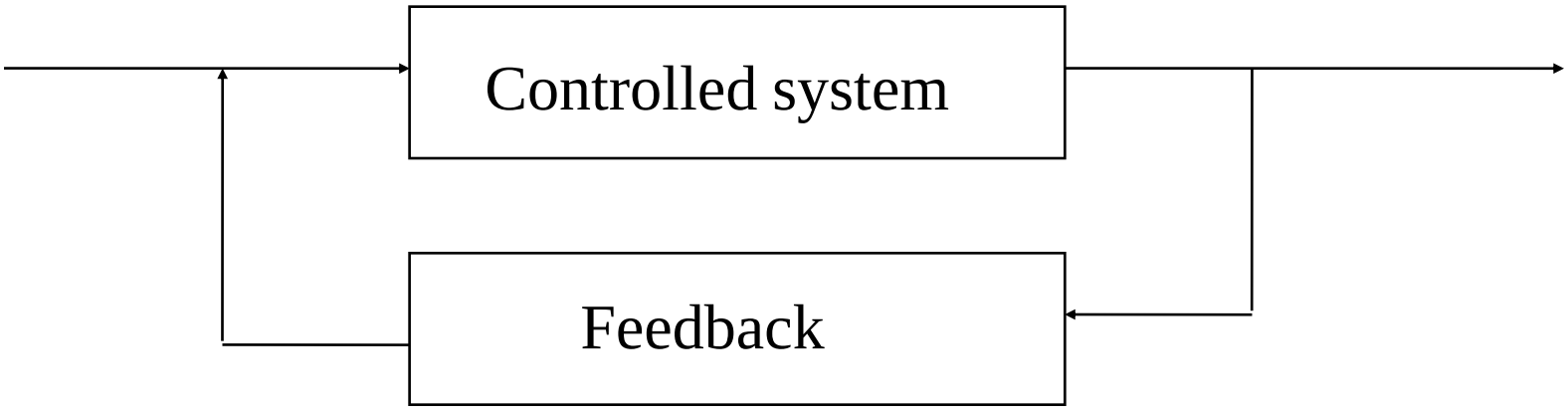
All diplomatic correspondences and communications require to be encoded, and army forces also use coding process for information exchange. For example ENIGMA was the most famous encoding system used by German army during the 2nd World War. This system was broken by Polish cryptologists. Simply spiking, every conversation uses selected language as a code for information passing .

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

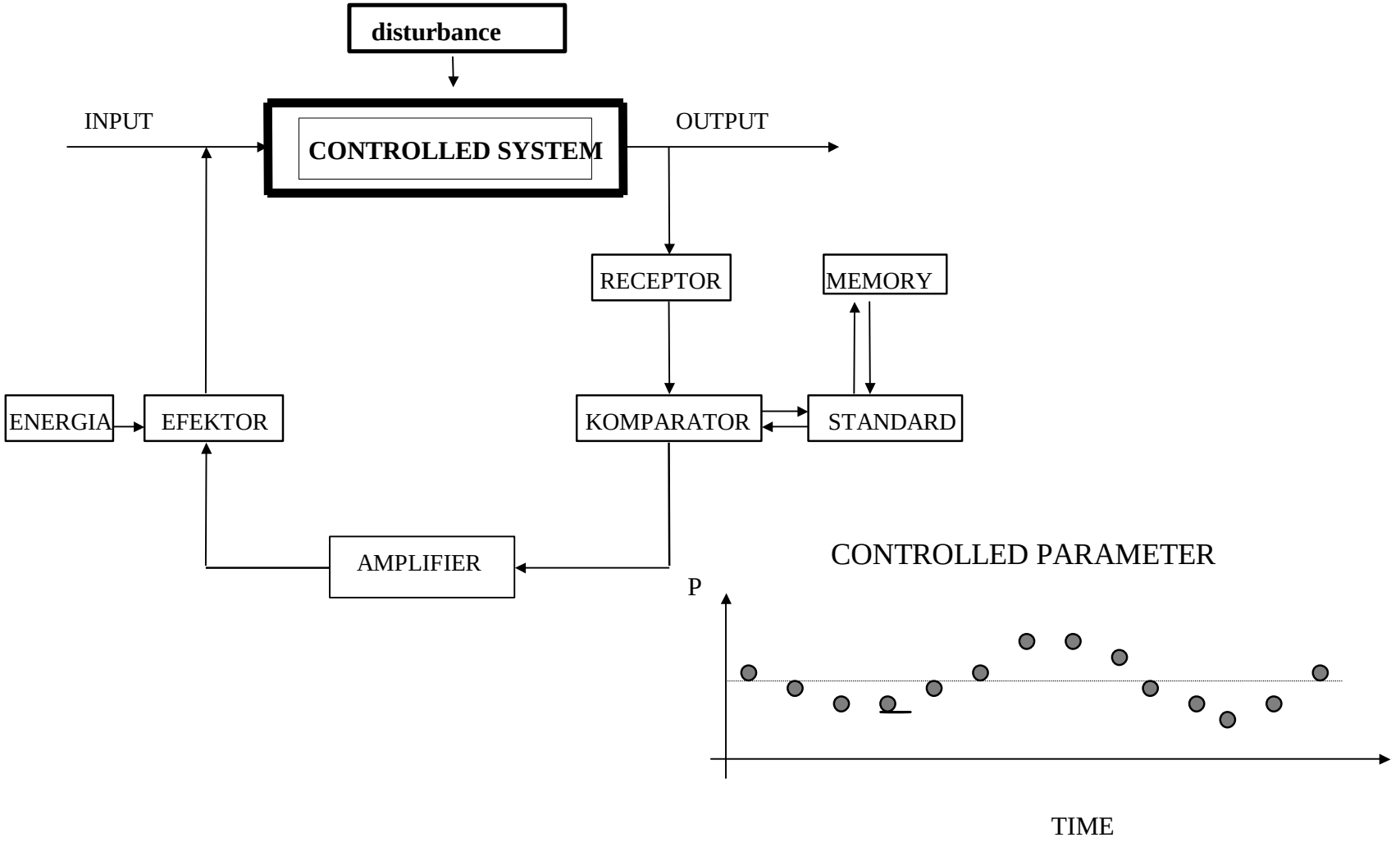
Control of information flow



FEEDBACK

- *positive feedback - chain reactions leading to system destruction (disintegration of uranium in nuclear weapon, blood clotting, microphone – loudspeaker coupling)*
- *negative feedback - system control and stabilization (thermostat, WC-water reservoir, blood hemostasis (thrombosis and fibrinolysis)*

System with negative feedback

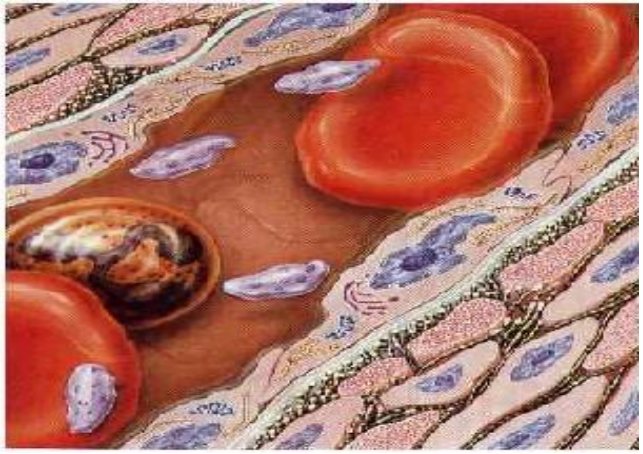


KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Role of blood platelets in thrombosis



Unknown author of the graphics

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Order of Reaction

Probability of reaction realization is proportional to substrate concentration and reaction rate constants

Zero order: $A \rightleftharpoons A$

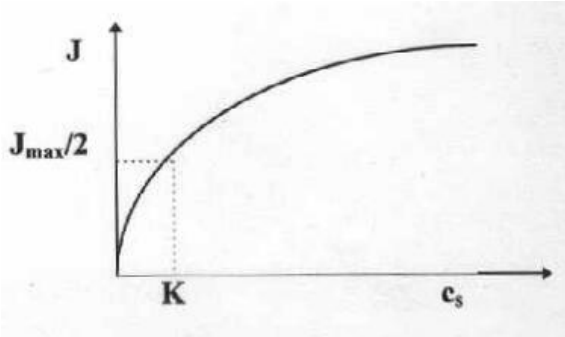
First order: $A \rightleftharpoons B$

Second order: $A+B \rightleftharpoons C$

$J_c = k_1AB - k_{-1}C$

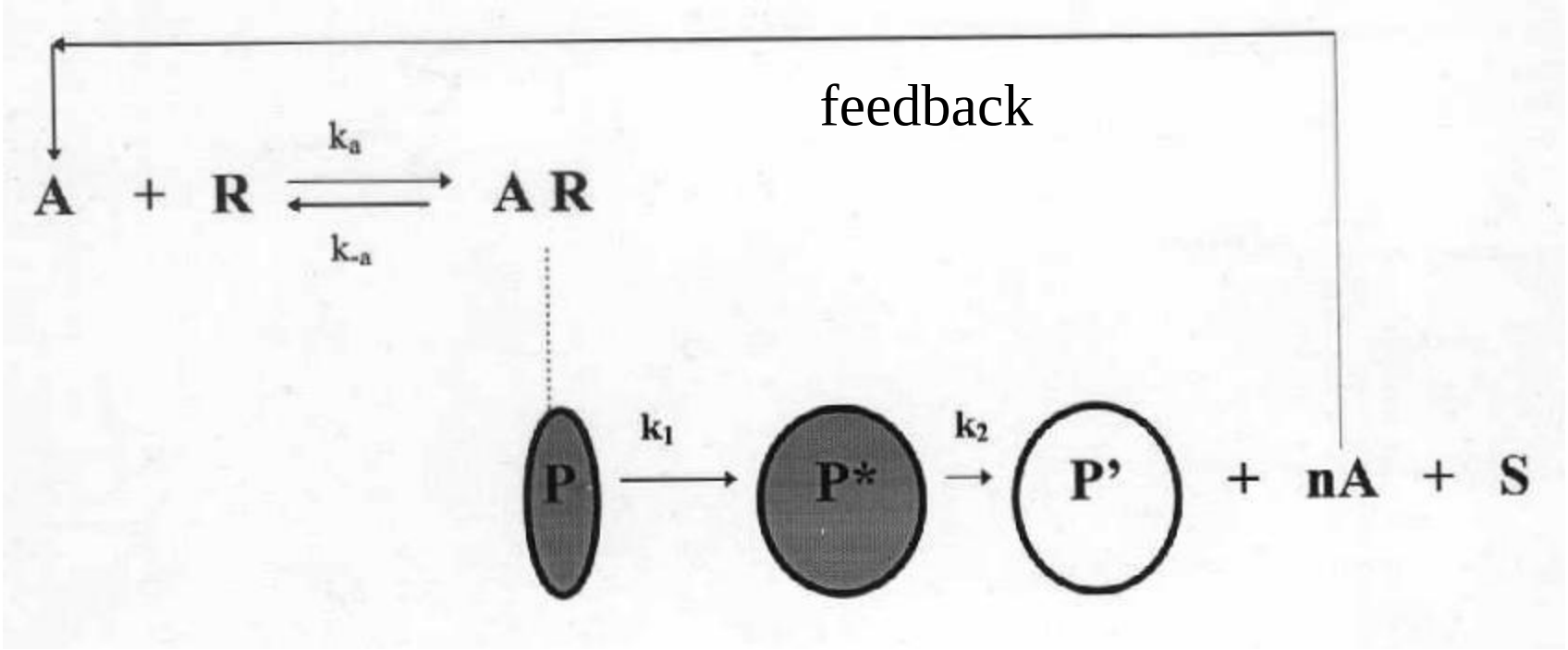
Third order: $A+B+C \rightleftharpoons D$

$$J = (J_{max}\, c_S) / (K + c_S)$$



Example of third order $p \rightleftharpoons n + e^+ + \nu$

Example of positive feedback (1)



$$\frac{dN^*(t)}{dt} = K\ N(t)\ A(t)$$

Example of positive feedback (2)

$$A(t) = n\,N^*(t) + A_o - n_1\,N^*(t); \qquad W = n - n_1$$

$$A(t) = W\,N^*(t) + A_o; \qquad N_o = N(t) + N^*(t)$$

$$\frac{dN^*(t)}{dt} = K\,(N_o - N^*(t))\,(WN^*(t) + A_o); \qquad N^*(0)=0$$

$$N^*(t) = N_o\,\frac{A_o\,(\exp(K(W\,N_o + A_o)\,t) - 1)}{W\,N_o + A_o\exp(K(W\,N_o + A_o)\,t)}$$

Example of positive feedback (3)

1. $A_o = 0 \quad \Longrightarrow \quad N^*(t) = 0$

2. $A_o >> W N_o \quad \Longrightarrow \quad N^*(t) = N_o (1 - \exp(-K A_o t))$

3. $W N_o / A_o > 1 \quad \Longrightarrow \quad t_p = \dfrac{\ln (W N_o / A_o)}{K (W N_o + A_o)}$

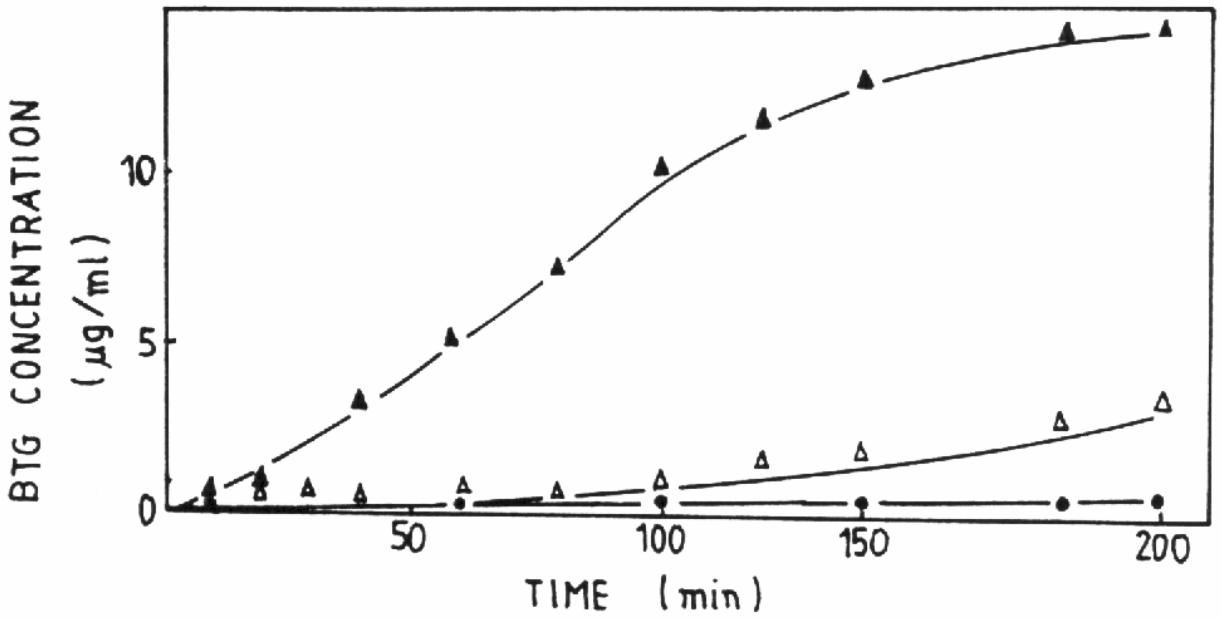
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Example of positive feedback (4)

$$S(t) = S_{max} \frac{A_o \left(\exp(K(W N_o + A_o)\, t) - 1\right)}{W N_o + A_o \exp(K(W N_o + A_o)\, t)}; \qquad S_{max} \sim N_o$$



Example of positive feedback (5)

TABLE 1

Concentrations of BTG in supernates of platelets washed by different techniques, before and after incubation at 37° C. Amount of BTG is expressed in µg/ml.

Method of washing	Incubation time (h)	BTG Before incubation	BTG After incubation
1. Centrifugation ($2x10^9$ per ml)	5	3.7	18.7
2. Gel filtration ($1.8x10^9$ per ml)	12	1.8	15.4
3. Centrifugation + apyrase ($2x10^9$ per ml)	12	0.02	0.12

Walkowiak B, Cierniewski CS. Kinetics of β-thromboglobulin release from α-granules of blood platelets activated by ADP. Thrombosis Research 46, 727-736, 1987.

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”