

# Wykłady z Biofizyki



Zbigniew Osiak

**Biofizyka  
układu  
nerwowego**

**07**

## **ORCID**

Linki do moich publikacji naukowych i popularnonaukowych, e-booków oraz audycji telewizyjnych i radiowych są dostępne w bazie ORCID pod adresem internetowym:

<http://orcid.org/0000-0002-5007-306X>

## **OZNACZENIA**

**B** – notka biograficzna

**C** – ciekawostka

**H** – informacja dotycząca historii fizyki

**I** – adres strony internetowej

**K** – komentarz

**P** – przykład

**U** – uwaga

**Zbigniew Osiak** (Tekst)

**WYKŁADY Z BIOFIZYKI**

Biofizyka układu nerwowego

**Małgorzata Osiak** (Ilustracje)

© Copyright 2021 by  
Zbigniew Osiak (text) and Małgorzata Osiak (illustrations)

Wszelkie prawa zastrzeżone.  
Rozpowszechnianie i kopiowanie całości lub części publikacji  
zabronione bez pisemnej zgody autora tekstu i autorki ilustracji.

Wydawnictwo: Self Publishing

ISBN: 978-83-960580-4-1

e-mail: [zbigniew.osiak@gmail.com](mailto:zbigniew.osiak@gmail.com)

“*Wykłady z Biofizyki – Biofizyka układu nerwowego*” są siódmym z piętnastu tomów pomocniczych materiałów do semestralnego kursu biofizyki prowadzonego przeze mnie dla studentów fizjoterapii. Zainteresowani studiowaniem biofizyki znajdą tu podstawowe pojęcia, prawa, jednostki, wzory, wykresy i przykłady.

Uzupełnieniem siódmego tomu są eBooki:

- Zbigniew Osiak: *Elektryczność*. vixra:1804.0176

<https://vixra.org/abs/1804.0176>

- Zbigniew Osiak: *Zadania problemowe z biofizyki*. vixra:1804.0452

<https://vixra.org/abs/1804.0452>

Zapis wszystkich wykładów zgrupowanych w piętnastu tomach zostanie zamieszczony w internecie w postaci e-booków.

Wykłady z Biofizyki 01 – Krótka historia biofizyki

Wykłady z Biofizyki 02 – Termodynamika układów biologicznych

Wykłady z Biofizyki 03 – Biofizyka procesu słyszenia

Wykłady z Biofizyki 04 – Biofizyka procesu widzenia

Wykłady z Biofizyki 05 – Biofizyka układu krążenia

Wykłady z Biofizyki 06 – Biofizyka układu oddechowego

Wykłady z Biofizyki 07 – Biofizyka układu nerwowego

Wykłady z Biofizyki 08 – Deformacje tkanek

Wykłady z Biofizyki 09 – Biofizyka narządu ruchu

Wykłady z Biofizyki 10 – Wpływ infradźwięków i ultradźwięków na organizm

Wykłady z Biofizyki 11 – Wpływ prądu elektrycznego na organizm

Wykłady z Biofizyki 12 – Wpływ pola elektrycznego i magnetycznego na organizm

Wykłady z Biofizyki 13 – Wpływ pola elektromagnetycznego na organizm

Wykłady z Biofizyki 14 – Wpływ ultrafioletu, podczerwieni i mikrofal na organizm

Wykłady z Biofizyki 15 – Wpływ promieniowania jonizującego na organizm

# Wykład 7

## Biofizyka układu nerwowego



## Plan wykładu

- Podstawowe pojęcia i wielkości
- Potencjał spoczynkowy
- Potencjał czynnościowy
- Dodatkowe informacje

## Podstawowe pojęcia i wielkości

- Prawo Ficka
- Rodzaje transportu
- Pompa sodowo-potasowa
- Napięcie elektryczne
- Natężenie prądu elektrycznego
- Gęstość prądu elektrycznego
- Prawo Ohma
- Przewodnictwo elektryczne
- Opór elektryczny właściwy
- Przewodnictwo elektryczne właściwe
- Siła elektromotoryczna
- Pojemność elektryczna
- Gęstości powierzchniowe wielkości elektrycznych

## Prawo Ficka

- Prawo Ficka – prawo opisujące transport masy w wyniku dyfuzji.

$$\frac{1}{S} \frac{dn}{dt} = -D \frac{dc}{dx}$$

$$\frac{1}{S} \frac{dn}{dt} = J_m$$

$J_m$  – współrzędna strumienia masy (szybkości transportu masy) przez powierzchnię o polu (S), ustawioną prostopadle do kierunku transportu  
 $n$  – liczność materii,  $D$  – stała dyfuzji,  $[D] = \text{m}^2\text{s}^{-1}$   
 $dc/dx$  – współrzędna gradientu stężenia

**B** Adolf Eugen Fick (1829-1901), niemiecki fizjolog i wynalazca

## Prawo Ficka

Prawo Ficka można też zapisać w uproszczonej postaci przydatnej do opisu transportu masy przez błony biologiczne.

$$J_m = -P\Delta c$$

$$P \stackrel{\text{df}}{=} \frac{D}{\Delta x}$$

$\Delta x$  – grubość błony

$$[P] = \text{ms}^{-1}$$

P – współczynnik przepuszczalności błony dla danej substancji

## Rodzaje transportu

- Transport bierny – transport zgodny z prawem Ficka.
- Transport ułatwiony (na nośnikach) – transport przebiegający szybciej niżby wynikało to z prawa Ficka.
- Transport aktywny – transport zachodzący w kierunku przeciwnym niżby wynikało to z prawa Ficka.

## Pompa sodowo-potasowa

- Pompa sodowo-potasowa – enzym białkowy ( $\text{Na}^+/\text{K}^+ - \text{ATPaza}$ ) umożliwiający aktywny transport dodatnich jonów sodu i potasu przez błony pobudliwych komórek takich jak neurony.
- Podstawowym zadaniem pompy sodowo-potasowej jest utrzymywanie odpowiedniej różnicy stężeń jonów sodu i potasu wewnątrz i na zewnątrz komórki – wchłanianie do komórki sodu, a wydalanie z niej potasu.

**H** Pompa sodowo-potasowa została odkryta w 1957 przez Jensa Christiana Skou.

**B** Jens Christian Skou (1918-2018), duński biochemik, laureat Nagrody Nobla z chemii w 1997

• J. C. Skou: *The influence of some cations on an adenosine triphosphatase from peripheral nerves*. Biochimica et Biophysica Acta. **23**, 2 (23 February 1957) 394-401.

## Napięcie elektryczne

- Napięcie elektryczne ( $U$ ) – wielkość skalarna określona jako różnica potencjałów elektrycznych ( $V_A$ ) i ( $V_B$ ) między dwoma punktami (A) i (B).

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

$$[U_{AB}] = V = \text{volt}$$

**C** Nazwa wolt pochodzi od nazwiska Volta.

**B** Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827), włoski fizyk

## Natężenie prądu elektrycznego

- Natężenie prądu (I) – wielkość skalarna będąca stosunkiem ładunku (Q) przepływającego przez poprzeczny przekrój przewodnika do czasu (t) tego przepływu.

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$[I] = \frac{C}{s} = A = \text{amper}$$

**C** Nazwa amper pochodzi od nazwiska Ampère.

**B** André Marie Ampère (1775-1836), francuski fizyk i matematyk



## Gęstość prądu elektrycznego

- Gęstość prądu elektrycznego ( $j$ ) – stosunek natężenia prądu ( $I$ ) do pola powierzchni ( $S$ ) przekroju poprzecznego przewodnika, na którym to przekroju rozkład prądu jest równomierny.

$$j = \frac{I}{S}$$

$$[j] = \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$$

Gęstość prądu elektrycznego jest wektorem o kierunku prądu elektrycznego.

## Prawo Ohma

- Prawo Ohma – prawo głoszące, że natężenie prądu elektrycznego (I) przepływającego przez przewodnik jest wprost proporcjonalne do napięcia elektrycznego (U) na końcach tego przewodnika.

$$I = \frac{1}{R} U$$

R – opór elektryczny (rezystancja)

$$[R] = \frac{V}{A} = \Omega = \text{om}$$

**H** Prawo Ohma zostało sformułowane przez niego w 1826.

**B** Georg Simon Ohm (1787-1854), niemiecki fizyk

## Przewodnictwo elektryczne

Prawo Ohma bywa zapisane także w innej postaci:

$$I = G \cdot U$$

G – przewodnictwo elektryczne (konduktancja)

$$[G] = \frac{1}{\Omega} = \frac{A}{V} = S = \text{simens} = \text{mho}$$

**C** Nazwa simens pochodzi od nazwiska Siemens.

**B** Ernst Werner von Siemens (1816-1892), niemiecki inżynier, przemysłowiec i wynalazca

**C** Nazwa "mho" jest słowem "ohm" zapisanym wstecz.

**C**  $[G] = \bar{\Omega}$

## Opór elektryczny właściwy

- Opór elektryczny właściwy ( $\rho$ ) – wielkość skalarna, mierzona w omometrach, będąca stosunkiem iloczynu oporu elektrycznego ( $R$ ) jednorodnego opornika cylindrycznego i jego pola powierzchni ( $S$ ) przekroju poprzecznego do długości ( $l$ ) tego opornika.

$$\rho = \frac{RS}{l}$$

$$[\rho] = \Omega \cdot \text{m}$$

Opór elektryczny właściwy nazywany jest też opornością właściwą lub rezystywnością.

## Przewodnictwo elektryczne właściwe

- Przewodnictwo elektryczne właściwe ( $\gamma$ ) – wielkość skalarna będąca odwrotnością oporu elektrycznego właściwego ( $\rho$ ).

$$\gamma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{RS} = \frac{1G}{S}$$

$$[\gamma] = \frac{1}{\Omega \cdot m} = \frac{S(\text{imens})}{m} = \frac{\text{mho}}{m}$$

Przewodnictwo elektryczne właściwe nazywane jest też przewodnością właściwą lub konduktywnością.

## Przewodnictwo elektryczne właściwe

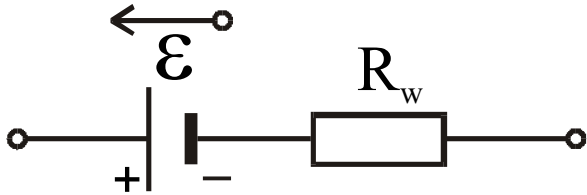
- Przewodnictwo elektryczne właściwe ( $\gamma$ ) – wielkość skalarna będąca stosunkiem iloczynu długości ( $l$ ) jednorodnego opornika cylindrycznego i jego przewodnictwa elektrycznego ( $G$ ) do pola powierzchni ( $S$ ) przekroju poprzecznego tego opornika.

$$\gamma = \frac{lG}{S}$$

$$[\gamma] = \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{cm}^2} = \frac{\text{m} \cdot \text{S}(\text{imens})}{\text{cm}^2} = \frac{\text{m} \cdot \text{mho}}{\text{cm}^2}$$

## Siła elektromotoryczna

- Siła elektromotoryczna ( $\mathcal{E}$ ) – różnica potencjałów elektrycznych (napięcie elektryczne) na biegunach nieobciążonego źródła.



Na powyższym rysunku przedstawiono symbol źródła o stałej sile elektromotorycznej ( $\mathcal{E}$ ) i oporze wewnętrznym ( $R_w$ ); strzałka oznacza umowny kierunek siły elektromotorycznej źródła.

- SEM – inna nazwa siły elektromotorycznej.

## Pojemność elektryczna

- Pojemność elektryczna (C) – wielkość skalarna będąca stosunkiem ładunku (Q) na okładce dodatniej kondensatora do napięcia (U) między jego okładkami.

$$C = \frac{Q}{U} \quad [C] = \frac{C}{V} = F = \text{farad}$$

**U** Dla danego kondensatora:

$$C = \text{const}, \quad U \sim Q$$

**C** Nazwa farad pochodzi od nazwiska Faraday.

**B** Michael Faraday (1791-1867), brytyjski fizyk i chemik



## Gęstości powierzchniowe wielkości elektrycznych

**K** Hodgkin i Huxley w swoich kultowych pracach, zamiast ładunku (Q), natężenia prądu (I), konduktancji (G), pojemności (C), używali gęstości powierzchniowych tych wielkości, które oznaczymy odpowiednio przez

$\sigma$ ,  $j$ ,  $g$ ,  $c$ .

$\sigma$  – gęstość powierzchniowa ładunku

$$[\sigma] = \text{C/m}^2$$

$j$  – gęstość prądu

$$[j] = \text{A/m}^2$$

$g$  – "gęstość powierzchniowa konduktancji"

$$[g] = \text{S/m}^2 = \text{mho/m}^2$$

$c$  – "gęstość powierzchniowa pojemności"

$$[c] = \text{F/m}^2$$