

Wykłady z Biofizyki



Zbigniew Osiak

**Biofizyka
układów
termo-
dynamicznych**

02

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
Termodynamika układów biologicznych

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: 978-83-960580-0-3

e-mail: zbigniew.osiak@gmail.com

“*Wykłady z Biofizyki – Termodynamika układów biologicznych*” są drugim 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 i przykłady.

Uzupełnieniem drugiego tomu są eBooki:

- Zbigniew Osiak: *Wykłady z Fizyki – Termodynamika*. vixra:1804.0465
<https://vixra.org/abs/1804.0465>
- 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 2

Termodynamika układów biologicznych

Plan wykładu

- Podstawowe pojęcia i wielkości
- Krótka historia termodynamiki
- Pierwsza zasada termodynamiki
- Tradycyjne sformułowania drugiej zasady termodynamiki
- Współczesne sformułowanie drugiej zasady termodynamiki
- Liniowa termodynamika procesów nieodwracalnych
- Przykłady procesów termodynamicznie sprzężonych
- Reakcja chemiczna jako przykład skalarne procesu nieliniowego
- Struktury dyssypatywne
- Organizmy żywe z punktu widzenia termodynamiki
- Dodatkowe informacje

Podstawowe pojęcia i wielkości

- Układ termodynamiczny $\Leftrightarrow$ wyodrębniony zbiór obiektów makroskopowych składających się z dużej liczby mikrocząstek. Pozostałe ciała, które nie należą do układu, nazywane są otoczeniem tego układu.
- Układ otwarty $\Leftrightarrow$ układ termodynamiczny wymieniający masę i energię z otoczeniem.
- Układ zamknięty $\Leftrightarrow$ układ termodynamiczny niewymieniający masy z otoczeniem.
- Układ izolowany $\Leftrightarrow$ układ termodynamiczny nie wymieniający masy i energii z otoczeniem.
- Faza (termodynamiczna) $\Leftrightarrow$ jednorodna część układu charakteryzująca się ustalonym składem chemicznym i jednakową

wartością wszystkich wielkości fizycznych w każdym jej punkcie. Faza oddzielona jest od pozostałej części układu powierzchnią graniczną, na której następuje skokowa zmiana wszystkich lub niektórych własności.

- Procesy odwracalne $\Leftrightarrow$ nierzeczywiste procesy, które mogą przebiegać samorzutnie w obu kierunkach.
- Procesy nieodwracalne $\Leftrightarrow$ procesy, które mogą przebiegać samorzutnie tylko w jednym kierunku. Przykładami takich procesów są zjawiska transportu masy, ciepła, ładunku elektrycznego, pędu i momentu pędu. Wszystkie procesy rzeczywiste są procesami nieodwracalnymi.
- Energia wewnętrzna (U) $\Leftrightarrow$ suma energii kinetycznych i potencjalnych związanych z ruchem i oddziaływaniami wzajemnymi

wszystkich atomów i cząsteczek znajdujących się w układzie. Energia wewnętrzna jest określona względem środka masy układu.

- Ciepło (Q) $\Leftrightarrow$ wielkość skalarna mierzona w dżulach, będąca energią wymienianą między ciałami przez przewodzenie (bezpośredni kontakt), konwekcję (unoszenie) oraz promieniowanie elektromagnetyczne.

O cieple mówimy też, że jest transportowane, przekazywane, przenoszone, pochłaniane, wyzwalane, pobierane, oddawane, doprowadzane, odprowadzane, uzyskiwane, tracone, oraz że przepływa, napływa, odpływa i ucieka.

Ciepło pobrane (oddane) przez ciało o masie (m) i liczności (n), powodujące zmianę temperatury bezwzględnej tego ciała o (ΔT), obliczamy ze wzorów:

$$Q = cm\Delta m$$

$$Q = c^{\text{mol}} n \Delta T$$

c – ciepło właściwe

c^{mol} – ciepło molowe

Ciepło pobierane (oddawane) przez ciało o masie (m) podczas zmiany jego stanu skupienia wyznaczamy ze wzoru:

$$Q = Lm$$

L – ciepło przemiany

H Terminologia dotycząca ciepła pochodzi z okresu, kiedy ciepło uważano za nieważką ciecz, zwaną cieplikiem.

U O cieple nie mówimy, że jest zgromadzone albo zmagazynowane w ciele.

C Przepływ ciepła może być termodynamicznie sprzężony z dyfuzją, prądem elektrycznym oraz przepływem objętościowym.

- Wymiana ciepła przez parowanie $\Leftrightarrow$ zjawisko polegające na transporcie ciepła w wyniku parowania.
- Wymiana ciepła przez promieniowanie $\Leftrightarrow$ zjawisko polegające na transporcie ciepła między ciałami w wyniku emisji, propagacji oraz absorpcji fal elektromagnetycznych.
- Wymiana ciepła przez przewodzenie $\Leftrightarrow$ zjawisko polegające na transporcie ciepła między stykającymi się ciałami o różnych temperaturach. Energia jest przekazywana w wyniku zderzeń

chaotycznie poruszających się cząsteczek i przepływa od ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej.

- Wymiana ciepła przez unoszenie (konwekcję) $\Leftrightarrow$ zjawisko polegające na transporcie ciepła między ciałami w wyniku uporządkowanego (makroskopowego) ruchu cząstek cieczy lub gazu.

P Przykładem konwekcji ciepła jest nawiew powietrza przez termowentylator.

- Energia swobodna $\Leftrightarrow$ część energii wewnętrznej układu, która może być zamieniona na pracę.
- Potencjał chemiczny (μ_i) $\Leftrightarrow$ wielkość skalarna charakteryzująca dany i-ty składnik w roztworze lub mieszaninie gazów.

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln x_i$$

$\mu_i^0 = \mu_i^0(p, T)$ – potencjał standardowy i-tego składnika

x_i – ułamek molowy i-tego składnika

R – stała gazowa

T – temperatura bezwzględna

Aby pojęcie potencjału można było stosować także w układzie jednoskładnikowym, należy go zdefiniować jako

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln \{c_i\}$$

$\{c_i\}$ – wartość liczbowa stężenia molowego i-tego składnika

H Pojęcie potencjału wprowadził Josiah Willard Gibbs w 1876.

- Potencjał elektrochemiczny $\Leftrightarrow$ wielkość skalarna, charakteryzująca dany i-ty składnik elektrolitu.

$$\tilde{\mu}_i = \mu_i + z_i F \varphi$$

μ_i – potencjał chemiczny i-tego składnika

φ – potencjał elektryczny w elektrolicie

z_i – wartościowość i-tego składnika

F – stała Faradaya

- Strumień termodynamiczny ($\mathbf{J}_A$) $\Leftrightarrow$ wielkość wektorowa, której współrzędna (J_A) określona jest poniższym równaniem:

$$J_A = \frac{1}{S} \frac{dA}{dt}$$

$\frac{dA}{dt}$ – współrzędna szybkości przepływu wielkości skalarnej (A) przez powierzchnię (S) ustawioną prostopadle do kierunku transportu

Dla strumieni stacjonarnych, czyli stałych w czasie, mamy:

$$J_A = \frac{1}{S} \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

- Bodziec termodynamiczny (X_A) $\Leftrightarrow$ przyczyna pojawienia się strumienia termodynamicznego transportowanej wielkości skalarnej (A). Przykładami bodźców termodynamicznych są ujemne gradienty potencjału chemicznego, ciśnienia oraz potencjału elektrycznego. Powodują one odpowiednio przepływy dyfuzyjne masy, objętościowe płynu oraz ładunku elektrycznego. Współrzędną bodźca można w tych przykładach wyrazić wzorem:

$$X_A = -\frac{dB}{dx}$$

Jeżeli wielkość skalarna (B) zmienia się liniowo w kierunku transportu, to

$$X_A = -\frac{\Delta B}{\Delta x}$$

- Iloczyn współrzędnych strumienia (J_A) i bodźca (X_A) powinien mieć wymiar gęstości objętościowej mocy [W/m^3].

$$[J_A X_A] = \frac{\text{W}}{\text{m}^3}$$

- Procesy termodynamicznie sprzężone $\Leftrightarrow$ procesy przebiegające w danym układzie, takie, że każdy z nich może mieć wpływ na pozostałe.
- Stan stacjonarny równowagowy $\Leftrightarrow$ stan układu izolowanego, w którym wszystkie bodźce i strumienie termodynamiczne są równe zero. Stan stacjonarny równowagowy nazywany jest też stanem równowagi termodynamicznej.
- Stan stacjonarny nierównowagowy $\Leftrightarrow$ stan układu otwartego, w którym wszystkie bodźce i strumienie termodynamiczne są stałe w czasie oraz co najmniej jedna para bodziec-strumień przyjmuje jednocześnie wartości różne od zera. Stan stacjonarny nierównowagowy nazywany jest też stanem stacjonarnym.