

# Wykłady z Biofizyki



Zbigniew Osiak

**Wpływ  
promieniowania  
jonizującego  
na organizm**

**15**

## 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**

Wpływ promieniowania jonizującego  
na organizm

**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: 978-83-960580-5-8

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

“*Wykłady z Biofizyki – Wpływ promieniowania jonizującego na organizm*” są ostatnim 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 drugiego tomu są eBooki:

- Zbigniew Osiak: *Wykłady z Fizyki – Kwanty*. vixra:1804.0459  
<https://vixra.org/abs/1804.0459>
- Zbigniew Osiak: *Wykłady z Fizyki – Jądra*. vixra:1804.0457  
<https://vixra.org/abs/1804.0457>
- 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 15

## Wpływ promieniowania jonizującego na organizm



## Plan wykładu

- Promieniowanie jonizujące
- Promieniowanie rentgenowskie
- Promieniowanie jądrowe
- Detekcja i dozymetria promieniowania jonizującego
- Wpływ promieniowania jonizującego na organizm
- Wykorzystanie promieniowania jonizującego w diagnostyce
- Wykorzystanie promieniowania jonizującego w terapii
- Wybrane pojęcia i zjawiska związane z promieniowaniem jonizującym
- Dodatkowe informacje

## Promieniowanie jonizujące

- Elektronowolt
- Jonizacja gazu
- Energia jonizacji
- Promieniowanie jonizujące
- Foton
- Promieniowanie korpuskularne

## Elektronowolt

- Elektronowolt – energia kinetyczna jaką zyskuje lub traci elektron, poruszając się w polu elektrycznym między dwoma punktami o różnicy potencjałów jednego wolta.
- Elektronowolt jest jednostką energii, pracy i ciepła.

$$1 \text{ eV} = 1,60217653 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ J} \approx 6,24 \cdot 10^{18} \text{ eV}$$

## Jonizacja gazu

- Jonizacja gazu – zjawisko polegające na wybijaniu elektronów z atomów lub cząsteczek gazu. W wyniku jonizacji w gazie pojawiają się dodatkowo jony i swobodne elektrony.

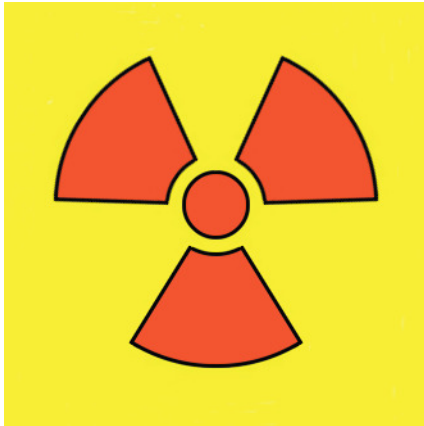
## Energia jonizacji

- Energia jonizacji – minimalna energia potrzebna do usunięcia elektronu z atomu lub cząsteczki.

**P** Energia jonizacji atomu wodoru wynosi 13,6 eV.

## Promieniowanie jonizujące

- Promieniowanie jonizujące – promieniowanie elektromagnetyczne (rentgenowskie, gamma) lub korpuskularne (elektrony, pozytrony, protony, neutrony, cząstki alfa) powodujące jonizację materii.



Znak ostrzegający przed promieniowaniem jonizującym

## Foton

- Foton – kwant pola elektromagnetycznego poruszający się w próżni z prędkością o wartości wynoszącej w przybliżeniu 300 milionów metrów na sekundę.

Energia (E) oraz wartość pędu (p) fotonu określone są poniżej.

$$E = h\nu$$

$$p = \frac{h\nu}{c}$$

h – stała Plancka

$\nu$  – częstotliwość drgań wektorów natężenia pola elektrycznego oraz indukcji magnetycznej

## Foton

**H** Pojęcie fotonu wprowadził Einstein w 1905.

**H** Nazwę foton zaproponował Lewis w 1926.

**B** Albert Einstein (1879-1955), niemiecki fizyk-teoretyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1921.

**B** Gilbert Newton Lewis (1875-1946), amerykański fizyko-chemik.



## Promieniowanie korpuskularne

- Promieniowanie korpuskularne – strumień elektronów, pozytronów, protonów, neutronów lub cząstek alfa emitowanych podczas rozpadów jąder promieniotwórczych.

## Promieniowanie rentgenowskie

- Promieniowanie rentgenowskie
- Lampa rentgenowska
- Antykatoda
- Promieniowanie rentgenowskie o widmie ciągłym
- Prawo pochłaniania promieniowania rentgenowskiego
- Grubość warstwy połówiącej
- Zjawisko fotoelektryczne
- Zjawisko Comptona

## Promieniowanie rentgenowskie

- Promieniowanie rentgenowskie – fale elektromagnetyczne o częstotliwościach zawartych w przedziale  $3 \cdot 10^{16} \text{ Hz} \div 3 \cdot 10^{18} \text{ Hz}$

i o długościach w powietrzu z przedziału  $1 \text{ nm} \div 0,1 \text{ nm}$ .

Odpowiadają im fotony o energiach od 124 eV do 12,4 keV.

**C** Promieniowanie rentgenowskie nazywane jest też skrótowo promieniowaniem rtg.

## Promieniowanie rentgenowskie

- Promieniowanie rentgenowskie wykorzystywane jest między innymi w diagnostyce i terapii medycznej oraz w badaniach struktury kryształów.

**H** Promieniowanie rtg odkrył Roentgen w 1895 i nazwał je promieniowaniem X.

**B** Wilhelm Conrad Roentgen (Röntgen) (1845-1923), niemiecki fizyk, laureat pierwszej Nagrody Nobla z fizyki w 1901.

## Lampa rentgenowska

- Lampa rentgenowska – lampa elektronowa będąca źródłem promieniowania rentgenowskiego. Elektrony są przyspieszane w lampie przez napięcie elektryczne między katodą i anodą. Promieniowanie rtg powstaje w wyniku hamowania elektronów na anodzie (antykatodzie).
- Zaledwie 1% energii elektronów zostaje zamieniony na energię promieniowania rtg, pozostała część energii powoduje ogrzanie anody (antykatody).

**B** Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923), niemiecki fizyk, laureat pierwszej Nagrody Nobla z fizyki w 1901.

## Lampa rentgenowska

- Lampy rentgenowskie dzielą się na jonowe i z żarzoną katodą.
- Lampa jonowa wypełniona jest częściowo zjonizowanym gazem o ciśnieniu rzędu jednej setnej paskala, elektrony powstają w wyniku bombardowania katody przez jony.
- Lampa z żarzoną katodą jest lampą próżniową, elektrony powstają w wyniku termoemisji.

## Antykatoda

- Antykatoda – elektroda jonowej lampy rentgenowskiej umieszczona między katodą a anodą. Jej rolą jest hamowanie elektronów rozpędzonych w polu elektrycznym wytworzonym przez dwie pozostałe elektrody.

## Promieniowanie rentgenowskie o widmie ciągłym

- Promieniowanie rentgenowskie o widmie ciągłym – promieniowanie rtg powstające w wyniku hamowania elektronów na anodzie (antykatodzie) lampy rentgenowskiej.

**C** Promieniowanie rentgenowskie o widmie ciągłym nazywane jest też promieniowaniem hamowania.



## Promieniowanie rentgenowskie o widmie ciągłym

- W widmie tego promieniowania istnieje ostra granica od strony fal krótkich. Graniczna długość ( $\lambda_{\min}$ ) zależy od napięcia (U) między katodą i anodą (antykatodą). Jej wartość odpowiada sytuacji, gdy cała energia kinetyczna elektronu zostaje zamieniona na energię fotonu rentgenowskiego.

$$\frac{m_e v_e^2}{2} = eU = \frac{hc}{\lambda_{\min}}$$

$m_e$  – masa elektronu

$v_e$  – wartość prędkości elektronu

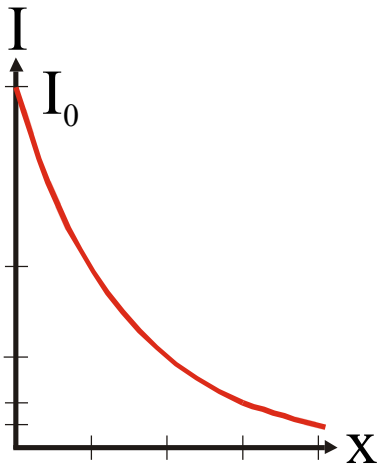
$e$  – elementarny ładunek elektryczny

$h$  – stała Plancka,  $c$  – wartość prędkości światła w próżni

## Prawo pochłaniania promieniowania rentgenowskiego

- Prawo pochłaniania promieniowania rentgenowskiego – prawo opisujące pochłanianie promieniowania rentgenowskiego przez ośrodek jednorodny.

$$I_x = I_0 e^{-\mu x}$$



## Prawo pochłaniania promieniowania rentgenowskiego

$I$  – natężenie promieni rtg wychodzących z ośrodka

$x$  – grubość ośrodka

$I_0$  – natężenie promieni rtg wchodzących do ośrodka

$\mu$  – współczynnik pochłaniania (absorpcji)

- Pochłanianie promieniowania rentgenowskiego przez ośrodek następuje w wyniku:
  - zjawiska fotoelektrycznego,
  - zjawiska Comptona
- Głębokość, na której następuje maksimum pochłanianej energii, wzrasta wraz ze wzrostem energii promieniowania, co umożliwia skuteczne naświetlanie chorej tkanki bez uszkodzania tkanki zdrowej.

## Prawo pochłaniania promieniowania rentgenowskiego

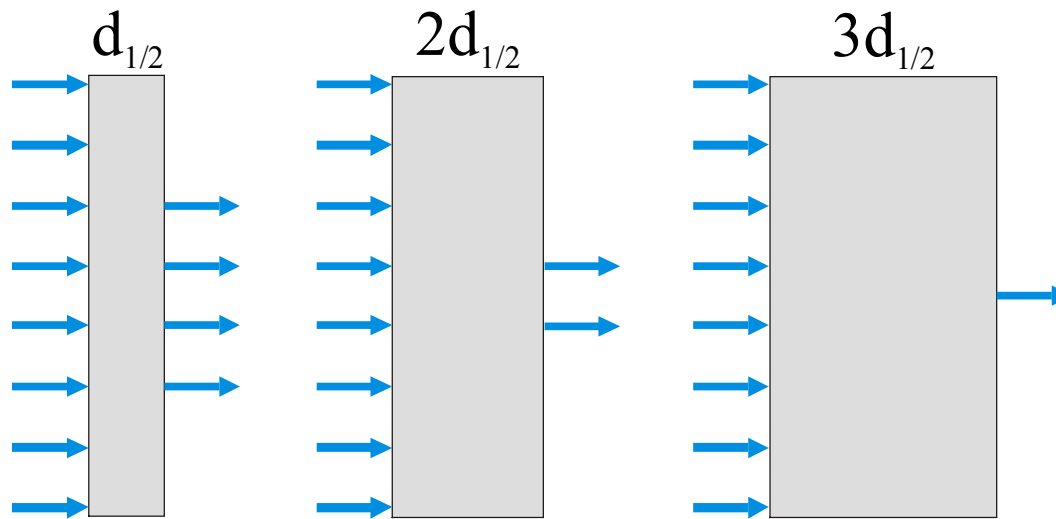
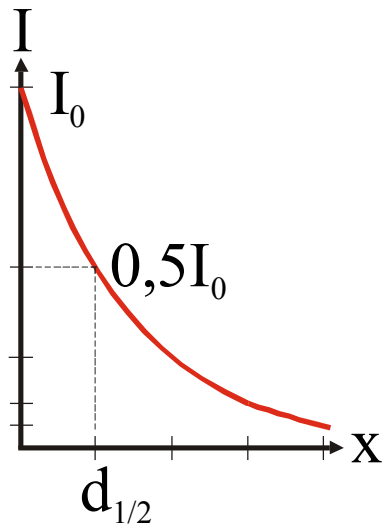
- Współczynnik pochłaniania zależy od częstotliwości ( $\nu$ ) promieniowania rtg oraz od gęstości ( $\rho$ ), liczby atomowej ( $Z$ ) i liczby masowej ( $A$ ) pierwiastka pochłaniającego.

$$\mu \sim \frac{\rho Z^3}{\nu^3 A}$$

- Zależność współczynnika pochłaniania od trzeciej potęgi liczby atomowej sprawia, że promieniowanie rtg jest wykorzystywane w diagnostyce medycznej (zdjęcia rentgenowskie).
- Promieniowanie rtg jest szkodliwe biologicznie, ponieważ powoduje jonizację atomów i cząsteczek organizmów.

## Grubość warstwy połówującej

- Grubość warstwy połówującej ( $d_{1/2}$ ) – grubość absorbera zmniejszającego o połowę natężenie pochłanianego przez promieniowania rentgenowskiego lub gamma.



## Grubość warstwy połowiącej

- Grubość warstwy połowiącej ( $d_{1/2}$ ) i współczynnik pochłaniania ( $\mu$ ) spełniają poniższą relację.

$$\mu d_{1/2} = \ln 2$$

## Zjawisko fotoelektryczne

- Zjawisko fotoelektryczne – zjawisko polegające na niesprężystym zderzeniu fotonu ze elektronem, w którego wyniku foton wybija elektron z atomu i nadaje mu energię kinetyczną.
- Fakty doświadczalne związane ze zjawiskiem fotoelektrycznym można wyjaśnić w ramach teorii bazującej na dwóch założeniach:
  - Jeden foton, o odpowiedniej energii, wybija jeden elektron.
  - Energia fotonu ( $h\nu$ ) powinna być sumą pracy wyjścia ( $W$ ) elektronu z atomu i energii kinetycznej ( $E_k$ ) wybitego elektronu.

$$h\nu = W + E_k$$

## Zjawisko fotoelektryczne

**H** Zjawisko fotoelektryczne odkrył Hertz w 1887.

**H** Teorię zjawiska fotoelektrycznego podał Einstein w 1905.

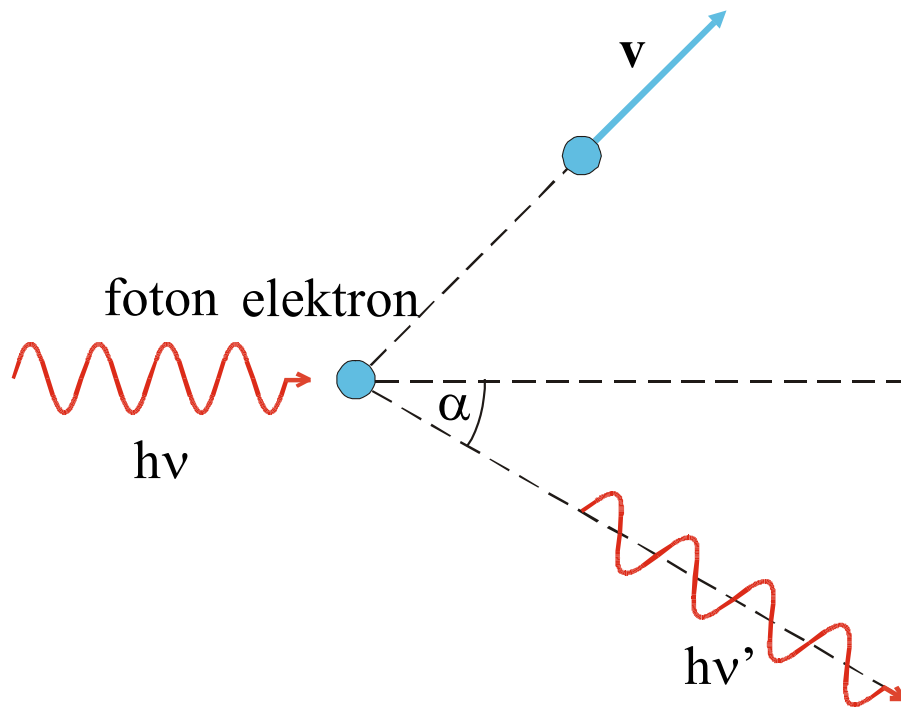
**B** Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), niemiecki fizyk.

**B** Albert Einstein (1879-1955), genialny fizyk teoretyk, laureat nagrody Nobla z fizyki w 1921.



## Zjawisko Comptona

- Zjawisko Comptona – zjawisko polegające na sprężystym zderzeniu fotonu ze spoczywającym elektronem, w którego wyniku foton przekazuje część swojej energii elektronowi.



## Zjawisko Comptona

- Przyrost długości fali ( $\Delta\lambda$ ) światła rozproszonego w wyniku zjawiska Comptona oraz kąt rozproszenia ( $\alpha$ ), czyli kąt zawarty między kierunkiem ruchu fotonu przed zderzeniem z elektronem i po zderzeniu, powiązane są poniższą relacją.

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos\alpha)$$

$h$  – stała Plancka

$m$  – masa elektronu,  $c$  – wartość prędkości światła w próżni

**H** Zjawisko to odkrył i wyjaśnił Compton w 1923.

**B** Arthur Holly Compton (1892-1962), amerykański fizyk, laureat Nagrody Nobla w 1927.