

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

“*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 dodatnie jony i swobodne elektrony.

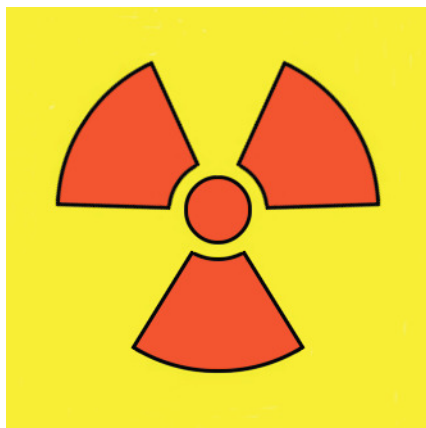
Energia jonizacji

- 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

ν – 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 połówiającej
- 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

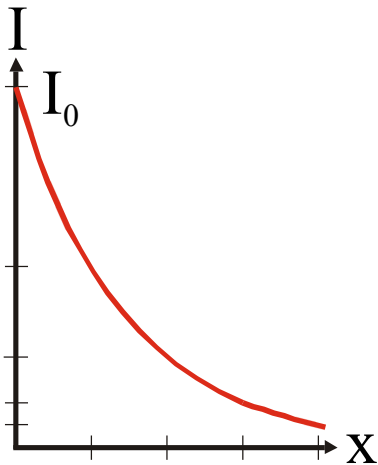
e – elementarny ładunek elektryczny

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

μ – 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

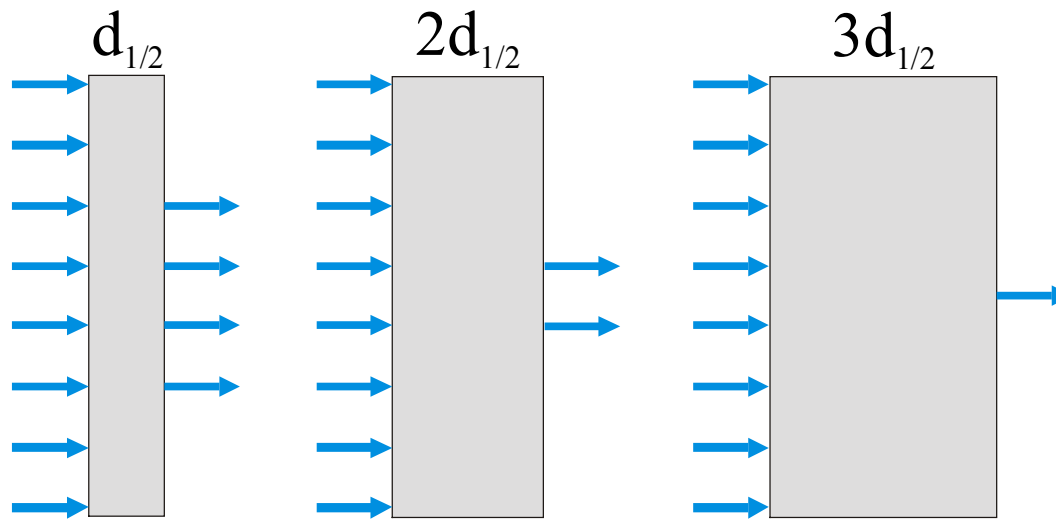
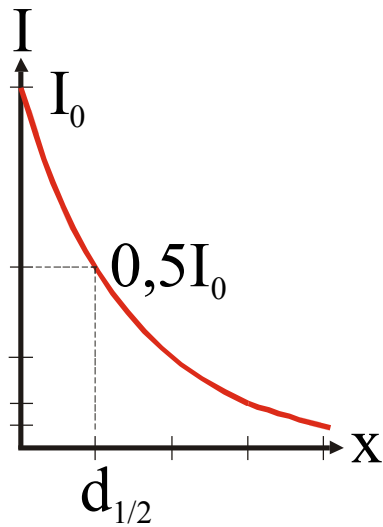
- Współczynnik pochłaniania zależy od częstotliwości (ν) promieniowania rtg oraz od gęstości (ρ), liczby atomowej (Z) i liczby masowej (A) pierwiastka pochłaniającego.

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

- 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 połówiącej

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



Grubość warstwy połowiącej

- Grubość warstwy połowiącej ($d_{1/2}$) i współczynnik pochłaniania (μ) 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.

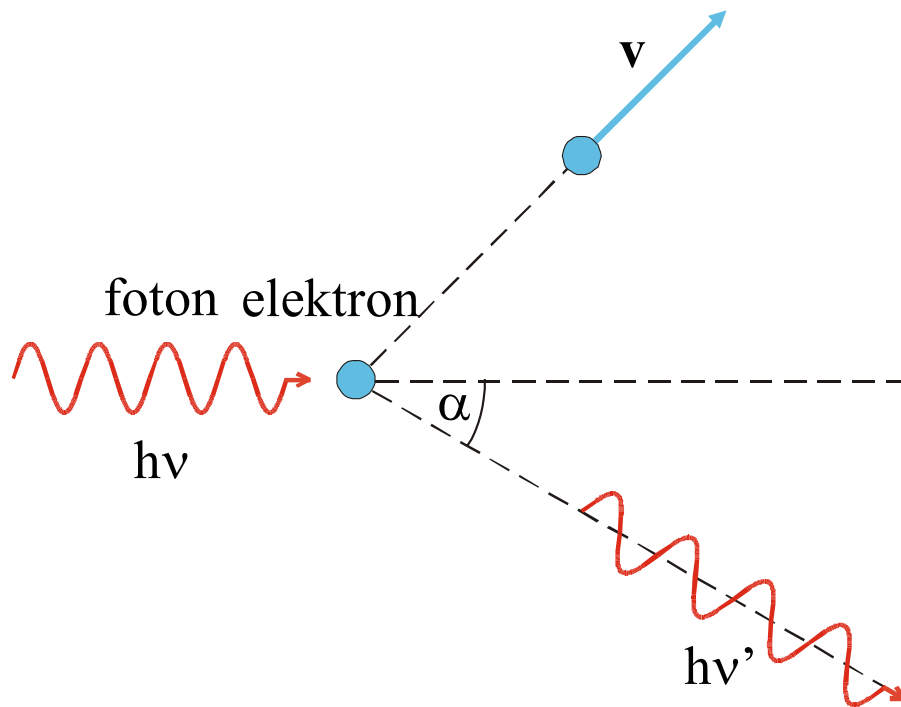
H Teorię zjawiska fotoelektrycznego podał Einstein w 1905.

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 (α), 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.