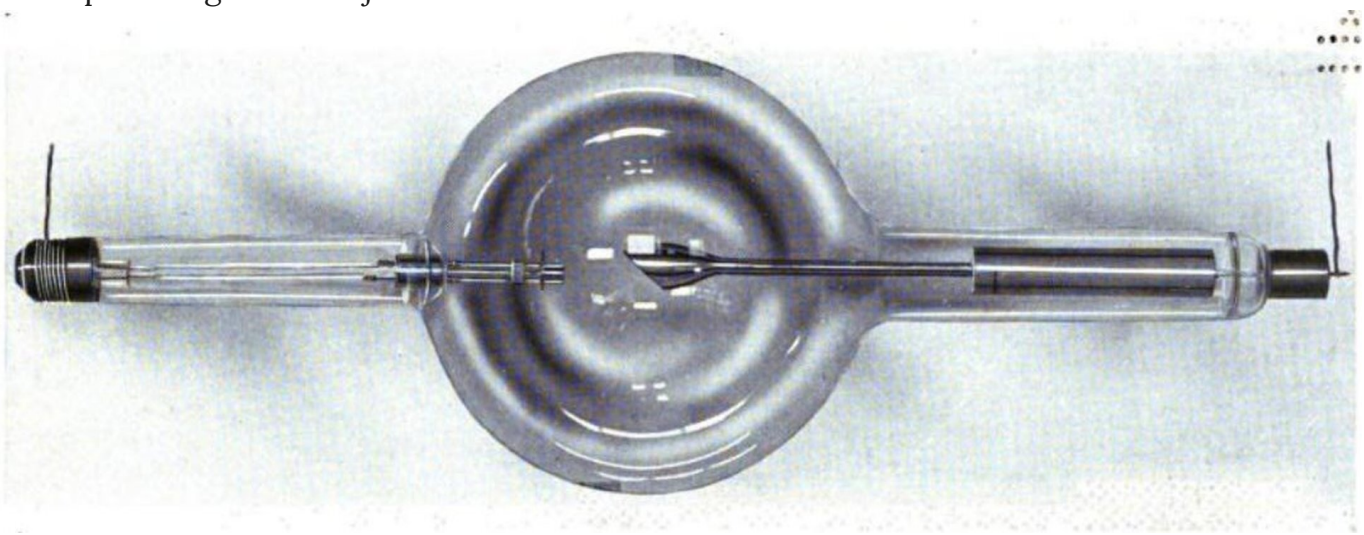
# Budowa lampy rentgenowskiej


- Wprowadzenie

- Przeczytaj
- Grafika interaktywna (schemat)
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

## Czy to nie ciekawe?

Na zdjęciu widzimy lampę rentgenowską sprzed ponad 100 lat zbudowaną przez Williama D. Coolidge'a (1873-1975). Współczesne lampy rentgenowskie działają na podobnej zasadzie, jak ta z 1913 roku. Z tego e-materiału dowiesz się, jak wytwarza się promieniowanie w lampie rentgenowskiej.



Rys. a. Lampa rentgenowska.

**Twoje cele**

- dowiesz się, czym jest i jak powstaje promieniowanie rentgenowskie,
- poznasz budowę i zasadę działania lampy rentgenowskiej,
- wykorzystasz zdobytą wiedzę do rozwiązania problemów i zadań.

# Przeczytaj

## Warto przeczytać

**Promieniowanie rentgenowskie** zostało odkryte przez niemieckiego fizyka Wilhelma Conrada **Roentgena** w 1895 roku. Promieniowanie, które odkrywca nazwał promieniami X, nazywane jest obecnie promieniowaniem rentgenowskim, a aparat, w którym jest wytwarzane – lampą rentgenowską. Za swoje odkrycie Roentgen otrzymał pierwszą nagrodę Nobla w roku 1901.

**Promieniowanie rentgenowskie** należy do fal elektromagnetycznych o długościach fal z zakresu od około 0,01 nm do 10 nm.

Promieniowanie elektromagnetyczne ma podwójną naturę: falową i korpuskularną. Oznacza to, że można je opisać jako zbiór cząstek – fotonów, poruszających się z prędkością światła $c$ - oraz jako falę, którą charakteryzują parametry falowe takie jak:

- **długość fali** $\lambda$, czyli odległość między sąsiednimi punktami, w których pola elektryczne i magnetyczne mają taką samą fazę,
- **częstotliwość** $\nu$, czyli liczba pełnych zmian pola magnetycznego i elektrycznego w ciągu jednej sekundy, wyrażona w hercach (Hz).

Długość i częstotliwość fali są wielkościami odwrotnie proporcjonalnymi:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}.$$

Natomiast energia fotonu jest wprost proporcjonalna do częstotliwości fali i wynosi:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

gdzie $h = 6,6 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s$ jest stałą Plancka, $\nu$ – częstotliwością fali, $\lambda$ – długością fali.

Promieniowanie rentgenowskie jest wysokoenergetycznym promieniowaniem elektromagnetycznym, większe energie ma tylko promieniowanie gamma.

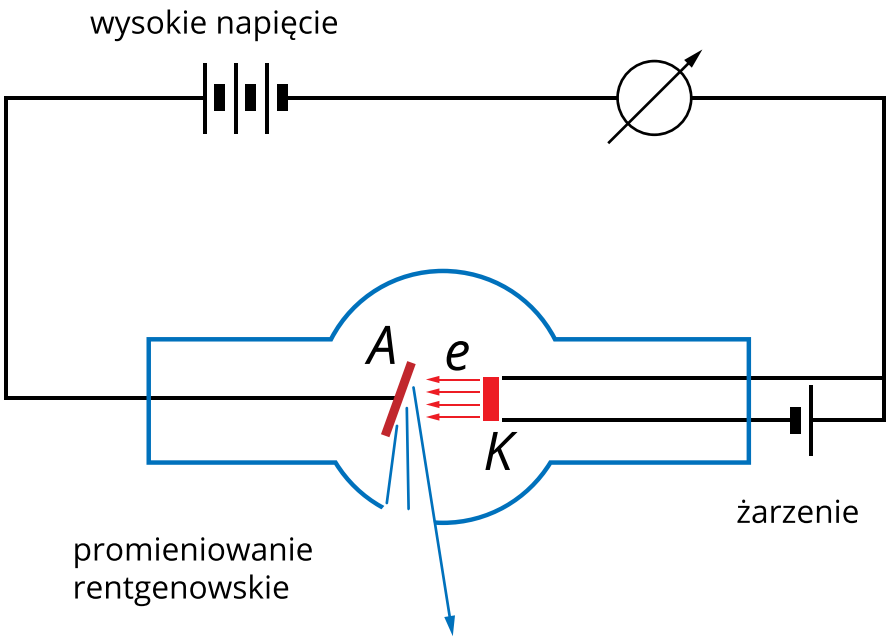
O zastosowaniu promieniowania rentgenowskiego w medycynie w celach diagnostycznych zadecydowały jego własności.

**Promieniowanie rentgenowskie jest przenikliwe**. Pochłanianie promieniowania podczas przechodzenia przez materię zależy od składu chemicznego – substancje zbudowane

z atomów o dużej liczbie masowej (na przykład z ołowiu) silniej pochłaniają promieniowanie niż materiały zawierające lekkie atomy (na przykład woda). To dlatego na kliszy rentgenowskiej występują różnice w zacienieniu określonych tkanek i narządów. Tkanki miękkie, zawierające głównie wodę, są bardziej przezroczyste dla promieniowania niż kości zawierające więcej wapnia.

Bardziej przenikliwe jest promieniowanie o większej energii i mniejszej długości fali.

Jak powstaje promieniowanie rentgenowskie? Do wytwarzania promieniowania używa się lamp rentgenowskich. Zasada działania lampy polega na wykorzystaniu zjawiska emisji fali elektromagnetycznej przez naładowaną cząstkę poruszającą się z przyspieszeniem. Schemat budowy lampy rentgenowskiej pokazany jest na Rys. 1.




Rys. 1. Schemat lampy rentgenowskiej.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

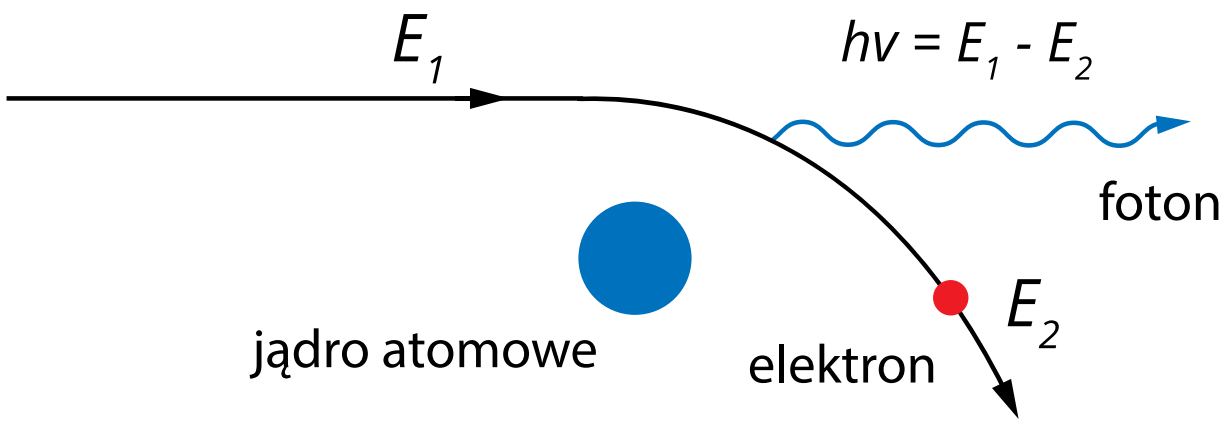
Lampę stanowi bańka szklana, z której wypompowano powietrze. Wewnątrz znajdują się dwie elektrody: katoda K i anoda A. Elektrody połączone są ze źródłem wysokiego napięcia, rzędu kilkudziesięciu tysięcy wolt lub nawet większych. Dodatni biegun połączony jest z anodą, ujemny z katodą. Katodę stanowi włókno wolframowe, które w czasie pracy lampy rozżarzone jest wskutek przepływu prądu z dodatkowego źródła żarzenia, osiągając temperaturę 1800 – 2000°C. Elektrony emitowane są z rozżarzonej katody na skutek ruchów termicznych, a następnie przyspieszane do wielkich energii w polu elektrycznym pomiędzy anodą i katodą. Rozpędzone elektrony wpadają na anodę, gdzie są hamowane w polu elektrycznym jąder atomów. Gwałtownej zmianie energii kinetycznej elektronów towarzyszy emisja fotonów promieniowania rentgenowskiego, które unoszą energię kinetyczną straconą przez elektrony. Promieniowanie to nazywamy promieniowaniem hamowania (Rys. 2.).

Energia kinetyczna uzyskiwana przez elektron przyspieszany napięciem $U$ wynosi:

$$E_k = eU.$$

Elektrony wpadające do anody tracą stopniowo energię kinetyczną w kolejnych zderzeniach z atomami, wypromieniowując fotony o rożnych energiach. Foton o maksymalnej energii emitowany jest wtedy, gdy elektron straci całą energię w jednym procesie zderzenia. Maksymalna energia fotonu wynosi więc $h\nu = eU$. Widzimy, że im większe napięcie między anodą i katodą, tym większa jest energia i przenikliwość emitowanego promieniowania.

Istnieje też inny mechanizm emisji fotonów promieniowania rentgenowskiego. Jeśli wybity zostanie elektron z głębszych powłok elektronowych atomu, na wolne miejsca przeskakują elektrony z wyższych powłok, czemu towarzyszy emisja fotonów o energii dokładnie równej różnicy między energiami poziomów energetycznych atomu. Energie tak emitowanych fotonów leżą w zakresie promieniowania rentgenowskiego.



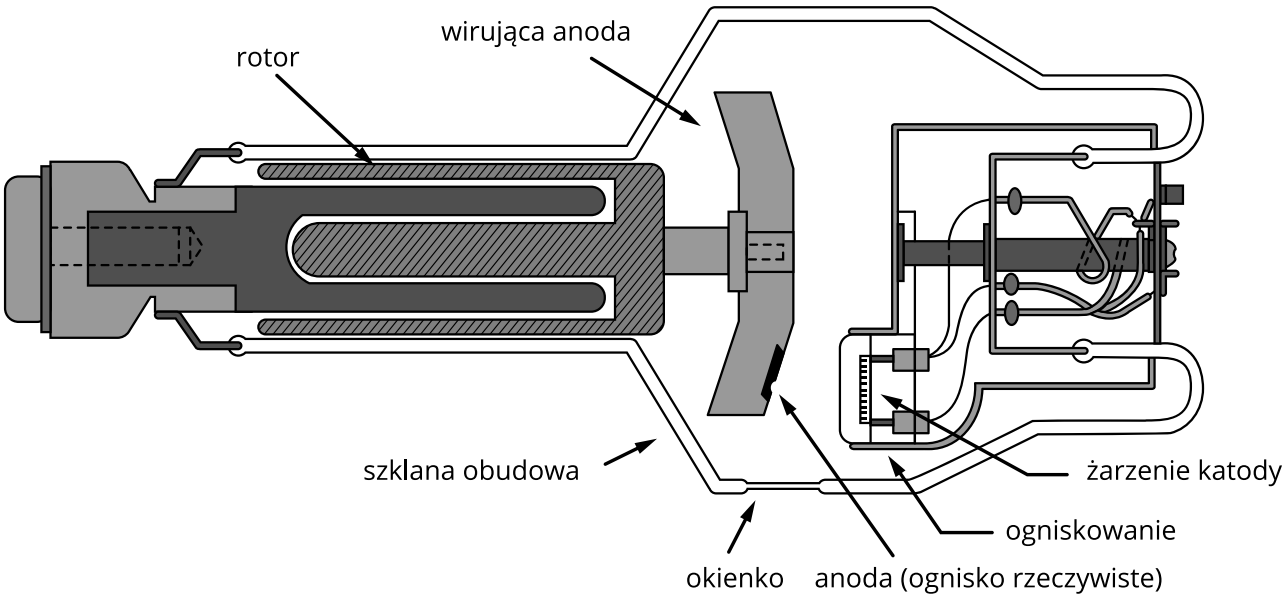

Rys. 2. Powstawanie promieniowania hamowania. Energię utraconą przez elektron, $E_1 - E_2$, unosi powstały foton o częstotliwości $\nu$.
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Energia hamowanych w anodzie elektronów zamienia się nie tylko na energię wyemitowanych fotonów. 99% tej energii jest zamieniana na energię wewnętrzną anody, co zwiększa jej temperaturę. Bardzo ważnym zagadnieniem jest więc chłodzenia lampy. Stosuje się chłodzenie anody wodą lub wirującą anodę.

Anoda stała wykonana jest z płytki wolframowej wtopionej w blok miedziany. Wewnątrz tego bloku przepływa woda chłodząca.

Większość współczesnych lamp rentgenowskich posiada wirującą anodę (Rys. 3.). Anoda wirująca ma postać wolframowego talerzyka, którego oś obrotu napędza silnik elektryczny.

Dzięki wirowaniu anody strumień elektronów pada na coraz to inny jej punkt, co zapobiega nadmiernemu nagrzewaniu się anody. Szybkości obrotu anody wynoszą 3000 lub 10000 obrotów na minutę.




Rys. 3. Przekrój lampy rentgenowskiej z wirującą anodą.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Szklana obudowa lampy służy nie tylko do utrzymania próżni, ale również do odizolowania elektrod oraz zespolenia katody i anody. Zachowanie próżni umożliwia swobodny ruch emitowanych z katody elektronów. Kształt i wymiary bańki szklanej są dobierane tak, aby zapobiec wyładowaniom elektrycznym między katodą i anodą. W celu eliminacji promieniowania rentgenowskiego biegnącego w niepożądanym kierunku, zamyka się bańkę lampy w kołpaku ochronnym, wykonanym z miedzi i ołowiu. Kołpak ma okienko z aluminium lub tworzywa sztucznego, przez które przechodzi promieniowanie rentgenowskie na zewnątrz lampy.

## Słowniczek

**Nanometr (nm)**

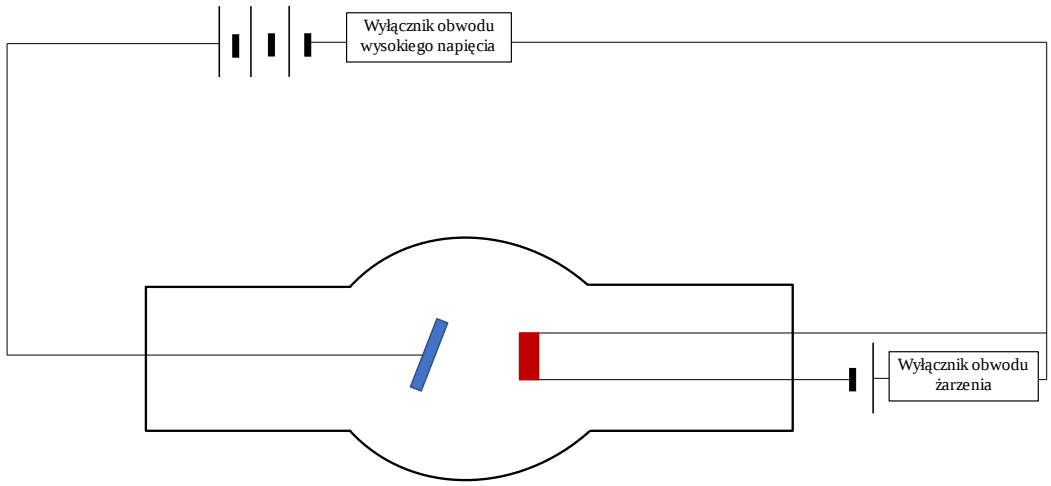
(ang. *nanometer*) – jednostka długości:

$$1\ nm = 10^{-9}\ m$$

# Grafika interaktywna (schemat)

## Budowa lampy rentgenowskiej

Grafika przedstawia schemat lampy rentgenowskiej. Aby zobaczyć, jak wytwarza ona promieniowanie, włącz obwód żarzenia, a potem obwód wysokiego napięcia.




Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

**Polecenie 1**

Jaka jest maksymalna energia fotonu promieniowania rentgenowskiego, gdy elektron straci całą energię w jednym procesie zderzenia? Od czego zależy długość fali takiego fotonu?

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

## Ćwiczenie 1

Wybierz wszystkie poprawne stwierdzenia:

- [ ] Promieniowanie rentgenowskie powstaje podczas zderzeń wysokoenergetycznych elektronów z atomami.
- [ ] Promieniowanie rentgenowskie to promieniowanie elektromagnetyczne o największej energii i najmniejszej długości fali.
- [ ] Promieniowanie rentgenowskie jest rodzajem promieniowania elektromagnetycznego.

## Ćwiczenie 2

Uzupełnij zdanie:

Promieniowanie rentgenowskie o ( mniejszej ☐ / większej ☐ ) energii jest bardziej przenikliwe od promieniowania o ( mniejszej ☐ / większej ☐ ) energii.

## Ćwiczenie 3

Wybierz prawdziwe stwierdzenie:

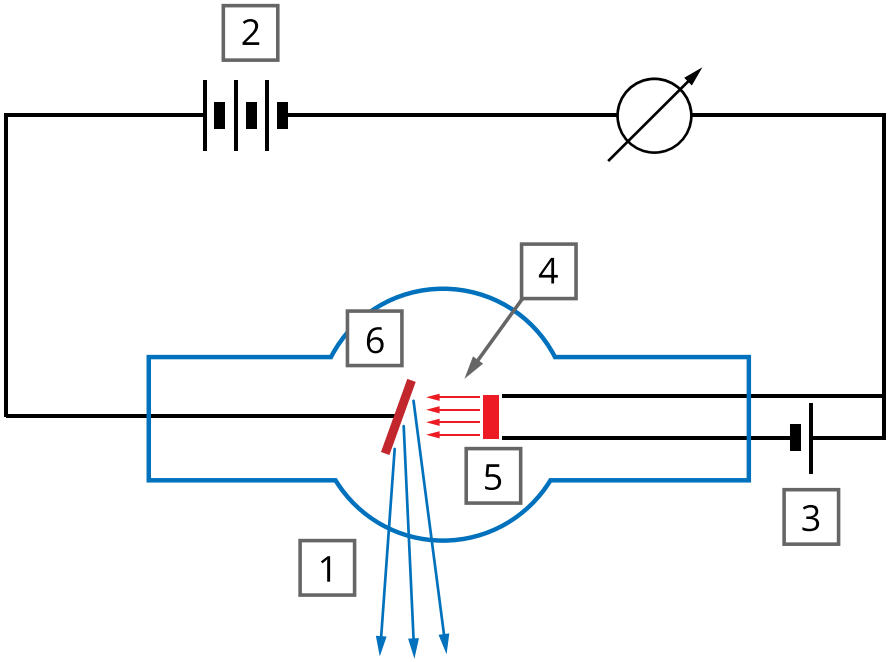
- ○ W lampie rentgenowskiej wykorzystuje się emisję fali elektromagnetycznej przez izotopy promieniotwórcze.
- ○ W lampie rentgenowskiej wykorzystuje się zjawisko emisji fali elektromagnetycznej przez naładowaną cząstkę poruszającą się z przyspieszeniem.

## Ćwiczenie 4

W lampie rentgenowskiej konieczne jest chłodzenie, aby nie stopiła się

- anoda
- katoda

## Ćwiczenie 5




Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Wstaw podpisy do schematu lampy rentgenowskiej.

| | |
|---|---|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |

Elektrony przyspieszane wysokim napięciem | Katoda | Promieniowanie rentgenowskie | Generator wysokiego napięcia | Anoda | Bateria zasilająca obwód żarzenia katody

## Ćwiczenie 6

Aby zwiększyć przenikliwość promieniowania emitowanego z lampy rentgenowskiej należy:

- Zwiększyć temperaturę katody.
- Zmniejszyć odległość między anodą i katodą.
- Zwiększyć różnicę potencjałów między anodą i katodą.

## Ćwiczenie 7

W tabeli przedstawiono temperatury topnienia kilku metali. Wskaż, który z nich nadaje się do wykonania katody w lampie rentgenowskiej? Odpowiedź uzasadnij.

| Metal | Temperatura |
|---|---|
| aluminium | 660°C |
| miedź | 1084°C |
| srebro | 960°C |
| wolfram | 3410°C |

## Ćwiczenie 8

Jak należy zmienić napięcie między anodą i katodą lampy rentgenowskiej, aby maksymalna energia fotonu promieniowania zwiększyła się czterokrotnie? Wynik podaj z dokładnością do jednej cyfry znaczącej.

Odp.: Jeżeli początkowe napięcie między anodą a katodą to $U_0$, wówczas napięcie niezbędne do czterokrotnego zwiększenia maksymalnej energii fotonu promieniowania wynosi

[ ]$\cdot U_0$.

# Dla nauczyciela

**Scenariusz lekcji:**

| | |
|---|---|
| **Imię i nazwisko autora:** | Krystyna Wosińska |
| **Przedmiot:** | Fizyka |
| **Temat zajęć:** | **Budowa lampy rentgenowskiej** |
| **Grupa docelowa:** | III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony |
| **Podstawa programowa:** | **Cele kształcenia – wymagania ogólne:**<br>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.<br><br>**Zakres rozszerzony**<br>**Treści nauczania – wymagania szczegółowe**<br>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:<br>19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.<br>XI. Fizyka atomowa. Uczeń:<br>3) opisuje powstawanie promieniowania rentgenowskiego jako promieniowania hamowania; oblicza krótkofalową granicę widma promieniowania rentgenowskiego. |
| **Kształtowane kompetencje kluczowe:** | **Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:**<br><br>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,<br>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,<br>• kompetencje cyfrowe,<br>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się. |

| | |
|---|---|
| **Cele operacyjne:** | Uczeń:<br>1. tłumaczy, czym jest i jak powstaje promieniowanie rentgenowskie,<br>2. objaśnia budowę i zasadę działania lampy rentgenowskiej,<br>3. analizuje zależność między energią fotonów promieniowania a napięciem lampy rentgenowskiej. |
| **Strategie nauczania:** | strategia eksperymentalno-obserwacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów) |
| **Metody nauczania:** | wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów |
| **Formy zajęć:** | praca w grupach, praca indywidualna |
| **Środki dydaktyczne:** | komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia |
| **Materiały pomocnicze:** | e-materiał: „Promieniowanie rentgenowskie - charakterystyka", „Promieniowanie rentgenowskie – zastosowanie" |
| **PRZEBIEG LEKCJI** | |
| **Faza wprowadzająca:** | |
| Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?". Odwołanie do wiedzy uczniów o promieniowaniu elektromagnetycznym. | |
| **Faza realizacyjna:** | |
| Nauczyciel wyjaśnia, czym jest promieniowanie rentgenowskie, podając zakres energii fotonów promieniowania. Podaje wzory na energię fotonu i związek między długością i częstotliwością fali. Nauczyciel wyświetla schemat lampy rentgenowskiej i tłumaczy, jak emitowane jest promieniowanie rentgenowskie. Wyjaśnia, czym jest promieniowanie hamowania, podkreślając, że następuje kreacja fotonu kosztem energii kinetycznej elektronu. Uczniowie w grupach z pomocą nauczyciela wyprowadzają wzór na graniczną częstotliwość i długość fali widma promieniowania rentgenowskiego. Uczniowie oglądają grafikę interaktywna i rozwiązują zadanie tam zawarte. | |
| **Faza podsumowująca:** | |
| Uczniowie oceniają stopień przyswojonej wiedzy, odpowiadając na pytania 5, 6, 7 i 8 z zestawu ćwiczeń. | |
| **Praca domowa:** | |

| | |
|---|---|
| W celu powtórzenia i utrwalenia wiadomości o budowie lampy rentgenowskiej uczniowie rozwiązują zadania z zestawu ćwiczeń nie rozwiązane na lekcji. | |
| **Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:** | Multimedium bazowe może też być wykorzystane przez uczniów po lekcji do powtórzenia i utrwalenia materiału. Zadania z zestawu ćwiczeń można potraktować jako zadania domowe lub niektóre z nich rozwiązać na lekcji. |