

X4

OBRAZOWANIE ORAZ BADANIE ROZMIARÓW I POŁOŻENIA OBIEKTÓW NAŚWIETLONYCH PROMIENIOWANIEM X

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest jakościowe poznanie podstawowych zjawisk fizycznych wykorzystywanych w obrazowaniu za pomocą promieniowania X.

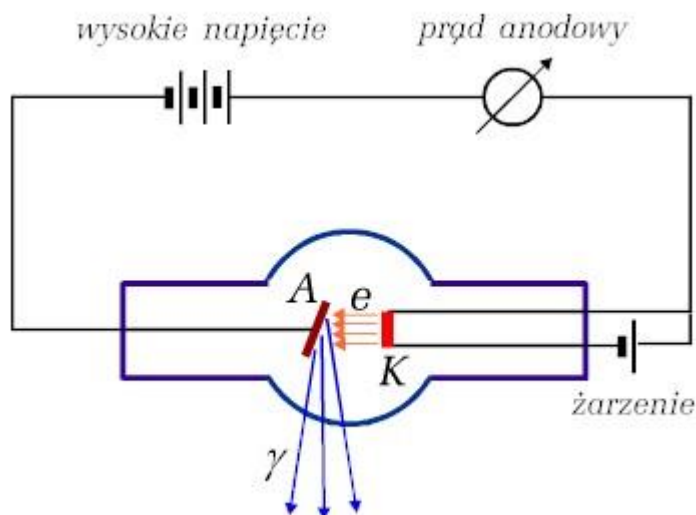
2. Informacje niezbędne do przeprowadzenia eksperymentu

- Budowa oraz zasada działania lamp rentgenowskich
- Ogólna charakterystyka promieniowania Rentgenowskiego
- Oddziaływanie promieniowania X z materią
- Zastosowanie promieniowania X w medycynie i biofizyce

3. Wprowadzenie

Promieniowanie Rentgenowskie (nazywane również promieniowaniem X) jest promieniowaniem elektromagnetycznym powstałym w wyniku hamowania cząstek obdarzonych ładunkiem w polu jąder atomów [1]. Długości fali tego promieniowania zawarta jest w przedziale od 10^{-13} m do około 5×10^{-8} m, przy czym zakres promieni rentgenowskich pokrywa się częściowo z niskoenergetycznym (tzw. miękkim) promieniowaniem gamma. Rozróżnienie wynika z mechanizmu wytwarzania promieniowania. Promieniowanie gamma wytwarzane jest w wyniku przemian jądrowych, a promieniowanie rentgenowskie, w wyniku zderzeń elektronów z atomami [2]. Długość fali promieniowania rentgenowskiego jest mniejsza od 3 nm co odpowiada energiom powyżej 400 eV. Wyróżnia się przy tym tzw. zakres promieniowania miękkiego — od 400 eV do 10 keV oraz promieniowania twardego, które charakteryzuje się energią powyżej 10 keV [1]. Promieniowanie X powstaje w dwóch procesach. Jednym z nich jest emisja przy przechodzeniu cząstki naładowanej w materii, np. w polu elektrycznym atomu, podczas którego gwałtownie wyhamowuje. Następuje wtedy wypromieniowanie tzw. promieniowania hamowania (niem. bremsstrahlung). Promieniowanie to ma ciągły rozkład energii w dość szerokim zakresie, którego górna granica określona jest przez energię wyhamowywanych cząstek. Drugim źródłem promieniowania X są przejścia elektronów pomiędzy różnymi stanami energetycznymi w atomach.

Jeżeli z jednej z wewnętrznych powłok zostanie usunięty elektron, to wolne miejsce zostanie wypełnione przez elektron z wyższych powłok. Przeskokowi elektronu pomiędzy dwoma poziomami energetycznymi towarzyszy emisja fotonu o energii równej różnicy energii wiązania elektronu na tych poziomach. Emitowane promieniowanie jest charakterystyczne dla danego pierwiastka i ma ściśle określoną energię, co jest wykorzystywane w identyfikacji składu pierwiastkowej substancji. Dziura w wewnętrznej powłoce elektronowej może powstać na skutek bombardowania strumieniem cząstek (np. elektronów) lub rozpad jądra atomowego poprzez wychwyty elektronu lub rozpad β .



Promieniowanie X wytwarzane jest w praktyce przez tzw. lampy rentgenowskie.

Schemat takiej lampy przedstawiony jest na Rys.1. stanowi ją bańka szklana z wysoką próżnią. Wewnątrz znajdują się dwie elektrody: katoda K i anoda A.

Do katody przyłożone jest napięcie, które wywołuje przepływ przez nią prądu rzędu ułamka ampera. Przepływ prądu powoduje rozgrzanie katody do wysokiej temperatury (rzędu 2000 °C) i w następstwie zjawisko termoemisji elektronów. Przy braku dodatkowego napięcia, elektrony emitowane przez katodę utworzyłyby wokół niej chmurę. Dlatego pomiędzy katodę a anodę przyłożone jest dodatkowe napięcie, które powoduje ruch elektronów w kierunku anody [2]. W materiale anody elektrony są wyhamowywane w polu elektrycznym jąder atomów materiału stanowiącego anodę [3]. Wykonana jest ona z materiału o wysokiej temperaturze topnienia (zwykle z wolframu), ponieważ na anodzie wydzielają się duże ilości ciepła. Natężenie emitowanego promieniowania wyraża się następującym wzorem:

$$I \cong A \cdot Z \cdot I_a \cdot U_a^2,$$

gdzie A jest współczynnikiem proporcjonalności zależnym od konstrukcji lampy, Z jest liczbą masową materiału anody, I_a oznacza natężenie prądu anodowego, natomiast U_a jest napięciem na lampie rentgenowskiej.

Wiązka promieniowania X przechodząca przez materię oddziałuje z atomami (efekt fotoelektryczny, tworzenie par) oraz z pojedynczymi elektronami (efekt Comptona oraz rozpraszanie Rayleigh'a). Efekt fotoelektryczny polega na wybiciu elektronu walencyjnego przez

foton wiązki, który zostaje zaabsorbowany przez atom. Energia kinetyczna wyemitowanego elektronu wynosi $E_k = E_\gamma - W$, gdzie W jest tzw. pracą wyjścia odpowiadającą energii wiązania elektronu na orbicie atomowej. Zjawisko fotoelektryczne zachodzić może wyłącznie dla elektronów związanych w atomach. Kinematyka wymaga, by część pędu fotonu przejęło trzecie ciało, jakim jest jądro atomowe. Przekrój czynny na zjawisko fotoelektryczne rośnie bardzo szybko ze wzrostem liczby atomowej materiału, w którym efekt zachodzi oraz maleje ze wzrostem energii samego fotonu. Dla promieniowania o odpowiednio dużej energii może dojść do konwersji fotonu na parę elektron-pozyton. Proces ten może zajść tylko w polu jądra atomowego ze względu na zasady zachowania pędu i energii, które wymagają by proces ten zachodził z udziałem trzeciego ciała, jakim może być jądro atomowe.

Rozpraszanie Rayleigh'a to elastyczne rozpraszanie fotonów na elektronach w atomach. W procesie tym fotony nie tracą energii, a jedynie zmieniają kierunek lotu. Analogiczny proces nieelastycznego rozpraszania nosi nazwę efektu Comptona. W jego wyniku część energii fotonu przekazana jest elektronowi, a energia rozproszonego fotonu wynosi:

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)},$$

gdzie θ to kąt rozproszenia, m_e masa spoczynkowa elektronu a E_γ energia fotonu przed rozproszeniem. Przekrój czynny na efekt Comptona jest malejącą funkcją energii pierwotnego fotonu, natomiast rośnie ze zwiększającą się liczbą atomową pierwiastka.

Z pośród opisanych powyżej procesów dla promieniowania X wytwarzanych przez lampy rentgenowskie praktycznie znaczenie mają tylko efekt fotoelektryczny i efekt Comptona. Dla materiałów o małej liczbie atomowej efekt Comptona dominuje w zakresie energii od kilkudziesięciu keV do kilkudziesięciu MeV, a więc w praktyce w całym zakresie energii stosowanych w medycynie.

Proces osłabienia wiązki promieniowania rentgenowskiego można opisać zbiorczo za pomocą następującego równania absorpcji (w przypadku ośrodka jednorodnego):

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

gdzie I_0 jest początkowym natężeniem promieniowania, x grubością warstwy, przez którą przechodzi wiązka, a μ współczynnikiem absorpcji charakterystycznym dla danej substancji.

Promieniowanie X wywołuje jonizację materii oraz zjawisko luminescencji, a także oddziałuje na emulsję fotograficzną i półprzewodnikowe detektory promieniowania, za pomocą których możliwa jest jego rejestracja. Tkanki budujące narządy ludzkiego ciała charakteryzują się na tyle zróżnicowanymi wartościami współczynnika μ , że podczas przechodzenia promieniowania X przez ciało do elementu odbiorczego (błona rentgenowska lub detektor) dociera różna ilość energii w zależności od tego, jakie narządy i jakie tkanki leżały na drodze od źródła promieniowania do miejsca rejestracji. Stało się to podstawą dzisiejszych metod diagnostycznych, takich jak rentgenografia czy tomografia komputerowa.

4. Aparatura pomiarowa



Rys. 2 PHYWE XR 4.0 expert unit.

- - PHYWE XR 4.0 expert unit (Rys. 2)
- - lampa rentgenowska z wolframową anodą
- - model naczyń krwionośnych
- - model implantu o nieznanym położeniu oraz rozmiarze
- - ława optyczna, ekran fluorescencyjny lub klisza rentgenowska
- - aparat cyfrowy

5. Przebieg ćwiczenia

Ćwiczenie rozpoczynamy od zestawienia układu doświadczalnego do radiografii.

Jeśli goniometr jest zainstalowany w komorze aparatury należy go usunąć. Na ławie optycznej proszę ustawić ekran fluorescencyjny lub kliszę rentgenowską w uchwycie możliwie jak najdalej od źródła promieniowania X.

- a) Przed ekranem na specjalnej podstawie umieszczamy wybrane przedmioty (np. stoper, kalkulator). Mogą one być umieszczone bezpośrednio przy ekranie lub w określonej odległości, co spowoduje powiększenie obrazu. Optymalny kontrast oraz ostrość obrazu radiograficznego uzyskać można przy maksymalnym napięciu (35 kV) oraz prądzie anody (1 mA). Proszę wykonać kilka zdjęć dla innych wartości prądu oraz napięcia anody. Przy wykorzystaniu ekranu zdjęcia można wykonać za pomocą aparatu cyfrowego. W tym celu należy przełączyć aparat w tryb nocny, wyłączyć lampę błyskową oraz zamontować aparat na statywie. Układ doświadczalny należy przykryć a zdjęcia wykonywać za pomocą samowyzwalacza.

- b) Pomiary proszę powtórzyć dla maksymalnego napięcia oraz prądu anody ustawiając na podstawce próbki różnych substancji o takiej samej grubości. Zdjęcia wykonujemy również dla próbek tej samej substancji o różnych grubościach.
- c) Następnie proszę umieścić model implantu na podstawce w jak największej odległości od źródła promieniowania. Ustawić napięcie i prąd anody na maksymalne wartości (35 kV, 1mA). Wykonać zdjęcia radiograficzne dla dwóch prostopadłych położań modelu (0° oraz 90°).

6. Opracowanie pomiarów

- Na podstawie wykonanych zdjęć proszę określić jakościowo współczynnik absorpcji promieniowania X różnych materiałów.
- Proszę określić kształt, położenie oraz rozmiar przedmiotu schowanego w modelu implantu. Zakładamy znajomość rozmiaru dysku metalowego widocznego na jednej ze ścian modelu (średnica wynosi 30 mm). Pomiar średnicy tego dysku na wykonanym zdjęciu pozwoli na określenie powiększenia zarejestrowanego obrazu.

7. Literatura

- [1] https://brain.fuw.edu.pl/edu/Obrazowanie:Obrazowanie_Medyczne/Metody_obrazowania_medycznego_wykorzystuj%C4%85ce_promieniowanie_rentgenowskie
- [2] Ewa Kałużny, *Promieniowanie rentgenowskie w medycynie*, www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mtj/zal1/pz07/Ewa_Kaluzny.doc
- [3] <http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mfj/wyklad/w2/segment7/main.htm>
- [4] <http://www.phywe.com/461/pid/29371/Radiographic-examination-of-objects.htm>
- [5] http://www.phywe.com/index.php/fuseaction/download/lrn_file/versuchsanleitungen/P2542001/e/P2542001E.pdf