

## Ćwiczenie 10

# Analiza ukrytych obiektów za pomocą rentgenografii



## I. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest:

- wyznaczenie położenia oraz rzeczywistych rozmiarów ukrytych obiektów;
- porównanie współczynników pochłaniania promieniowania rentgenowskiego dla obiektów wykonanych z różnych materiałów.

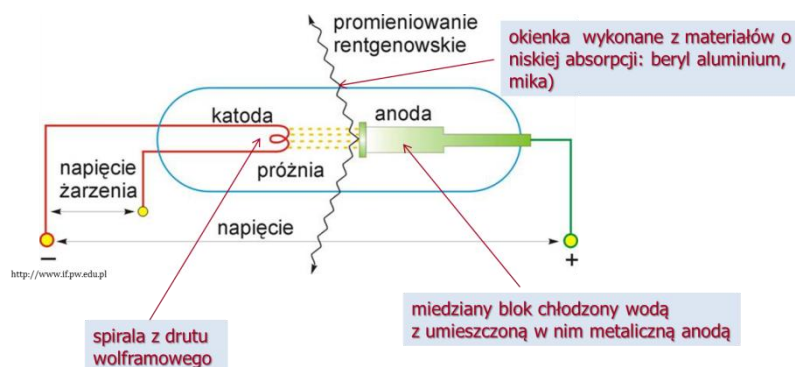
Pytanie organu procesowego: Jaka jest długość pręta ukrytego w drewnianym klocku? Czy długość ta jest wystarczająca, by uszkodzić tętnicę denata? Czy znaleziona na miejscu przestępstwa substancja w postaci proszku mogła zostać przywieziona przez podejrzanego zza granicy?

## II. Wstęp teoretyczny

Rentgenografia jest metodą badawczą szeroko wykorzystywaną w wielu dziedzinach nauki i przemysłu: w medycynie jako metoda diagnostyczna, w krystalografii do badania struktury ciał krystalicznych, w chemii do określania struktury związków chemicznych; w przemyśle do obserwacji szczelności systemów transportujących substancje płynne i gazowe.

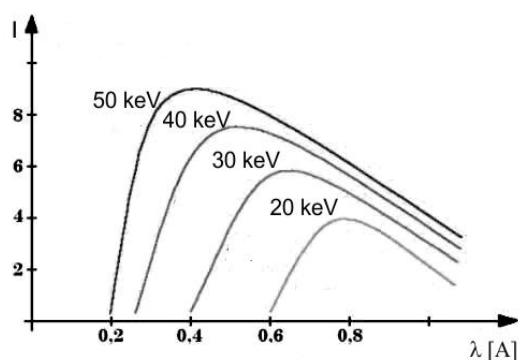
W kryminalistyce, promieniowanie rentgenowskie wykorzystuje się podczas identyfikacji zwłok (analiza obecności wewnątrz ciała elementów obcych, np. implanty), w celu odnalezienia przedmiotów ukrytych w ciele człowieka np. poprzez połknięcie, przedmiotów ukrytych w walizkach i innych zamkniętych przestrzeniach, a także do badania autentyczności dzieł sztuki.

Rentgenografia to podstawowa metoda badania struktury materii uporządkowanej. Wykorzystywane jest w niej promieniowanie rentgenowskie (promieniowanie X) o długości fali  $0,2-2,5 \cdot 10^{-10}$  m. Promieniowanie rentgenowskie wytwarzane jest w lampach rentgenowskich. Lampa rentgenowska (Rys. 1.) zbudowana jest z bańki próżniowej, w której znajdują się dwie elektrody: katoda w postaci spiralnie zwiniętego drutu wolframowego oraz anoda umieszczona w miedzianym bloku chłodzonym wodą. Katoda ogrzewana jest do temperatury 1500 – 2300 °C, w wyniku termoemisji emitowane są z niej elektrony, które następnie przyspieszane są w polu elektrycznym. Między anodą i katodą panuje różnica potencjałów 10-100 kV. Przyspieszone elektrony zderzają się z atomami pierwiastka, z którego wykonana jest anoda. Zjawisko to nazywane jest hamowaniem elektronów na anodzie. W wyniku tego procesu powstaje promieniowanie rentgenowskie.



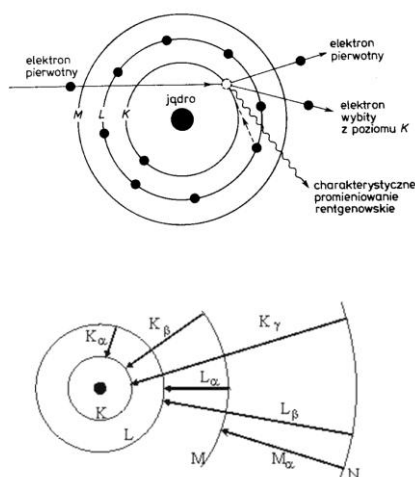
Rys. 1. Budowa lampy rentgenowskiej.

W wyniku zderzenia elektronów z materiałem anody powstają dwa rodzaje promieniowania rentgenowskiego: o widmie ciągłym i charakterystycznym. Elektrony mogą zderzać się z atomami anody centralnie lub peryferyjnie, tracąc różne ilości energii. Powstaje wówczas widmo ciągłe promieniowania rentgenowskiego, które jest zbiorem fal o różnych długościach (Rys. 2.). W skrajnych przypadkach elektron może stracić całą energię na wypromieniowanie jednego fotonu promieniowania X. Wyemitowana jest wówczas fala o maksymalnej częstotliwości, czyli minimalnej długości (tzw. granica krótkofalowa promieniowania rentgenowskiego). Zakres długości fal oraz granica krótkofalowa zależą przede wszystkim od napięcia przyspieszającego między katodą a anodą.



Rys. 2. Widmo ciągłe promieniowania rentgenowskiego<sup>1</sup>.

Widmo charakterystyczne promieniowania rentgenowskiego powstaje, gdy przy pewnych różnicach potencjałów (potencjał wzbudzenia), przyspieszone elektrony mogą wybić elektrony z powłok atomów pierwiastka wchodzącego w skład anody (Rys. 3.).



Rys. 3. Powstawanie promieniowania charakterystycznego<sup>2</sup>.

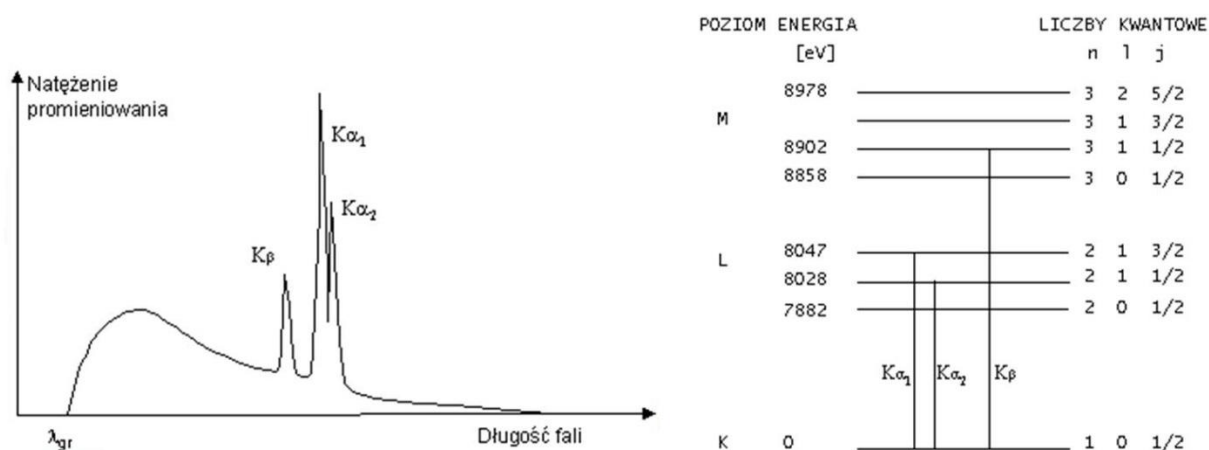
<sup>1</sup> Z. Bojarski, E. Łągiewka „Rentgenowska analiza strukturalna”, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice 1995.

<sup>2</sup> Z. Bojarski, E. Łągiewka „Rentgenowska analiza strukturalna”, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice 1995.

Przeskok elektronu z poziomu energetycznie wyższego i zajęcie opróżnionego miejsca na poziomie niższym powoduje powstanie promieniowania charakterystycznego o energii równej różnicy energii między tymi poziomami. Powstają wówczas serie widmowe:

- K - usunięcie elektronu z poziomu K z następującym po nim przeskokiem elektronu z poziomu energetycznie wyższego L, M, N ...
- L - usunięcie elektronu z poziomu L z następującym po nim przeskokiem elektronu z poziomu energetycznie wyższego M, N ...

Widmo ciągłe (hamowania) oraz widmo charakterystyczne promieniowania rentgenowskiego zostało przedstawione na Rys. 4.



Rys. 4. Widmo ciągłe i charakterystyczne promieniowania rentgenowskiego<sup>3</sup>.

Promieniowanie rentgenowskie ma zdolność wzbudzania fluorescencji np. w ekranach fluorescencyjnych pokrytych platynocyjankiem baru lub siarczkiem cynku, zaczerniania kliszy fotograficznej, wywoływania jonizacji gazów i przenikania przez materię. Przenikliwość promieniowania rentgenowskiego zależy od napięcia wytworzonego między anodą a katodą w lampie rentgenowskiej oraz od rodzaju atomów, z których zbudowane są badane obiekty. To, w jakim stopniu promienie X zostaną zaabsorbowane, zależy od liczby atomowej pierwiastka, z którego zbudowana jest dana materia oraz od grubości absorbenta. Miarą absorpcji promieni rentgenowskich jest wielkość fizyczna, zwana liniowym współczynnikiem absorpcji lub pochłaniania, który jest różny dla różnych materiałów (kości, metali...). Przenikliwość promieniowania rentgenowskiego oraz różnice w wartości współczynników pochłaniania różnych obiektów pozwala na ich identyfikację oraz wstępną charakterystykę (określenie rozmiaru, rodzaju materiału, z którego jest zbudowana, miejsca występowania).

Promieniowanie X może oddziaływać z materią poprzez zjawisko fotoelektryczne, rozpraszanie Comptona oraz tworzenie par elektron-pozyton. Kwanty tworzące obraz w rentgenografii pochodzą głównie z transmisji bezpośredniej i części rozproszenia komptonowskiego o niewielkich kątach odchylenia. Kwanty promieniowania biorące udział w efekcie

<sup>3</sup> Z. Bojarski, E. Łągiewka „Rentgenowska analiza strukturalna”, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice 1995.

fotoelektrycznym ulegają całkowitej absorpcji. Oddziaływanie promieniowania rentgenowskiego z materią powoduje, że początkowe natężenie wiązki promieni rentgenowskich  $I_0$  zmniejsza się podczas procesu wnikania jej w strukturę badanej substancji pochłaniającej lub rozpraszającej to promieniowanie. Promieniowanie rentgenowskie po przejściu przez absorbent o grubości  $x$  ulega osłabieniu i wynosi  $I$ . Zależność tę można opisać następującym prawem absorpcji/osłabienia promieniowania rentgenowskiego:

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

gdzie  $I_0$  jest natężeniem wiązki promieniowania padającego,  $I$  natężeniem wiązki promieniowania po przejściu przez absorbent o grubości  $x$ , a  $\mu$  jest liniowym współczynnikiem osłabienia promieniowania.

### III. Literatura

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, „Podstawy fizyki. Tom 5”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.
2. M. Skorko, „Fizyka”, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1973.
3. red. A. Z. Hrynkiewicz, E. Rokita – „Fizyczne metody badań w biologii, medycynie i ochronie środowiska”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
4. M. Kulicki, V. Kwiatkowska-Wójcikiewicz, L. Stępka, „Kryminalistyka. Wybrane zagadnienia teorii i praktyki śledczo-sądowej”, Wydawnictwa Naukowe UMK, Toruń 2009.
5. E. Gruza, M. Goc, J. Moszczyński, „Kryminalistyka - czyli rzecz o metodach śledczych”, WAiP, Warszawa 2008.

### IV. Zagadnienia do opracowania

1. Otrzymywanie promieniowania rentgenowskiego.
2. Budowa i zasada działania lampy rentgenowskiej.
3. Charakterystyka widma rentgenowskiego (powstawanie widma ciągłego i charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego).
4. Oddziaływanie promieniowania rentgenowskiego z materią.
5. Prawo absorpcji dla promieniowania rentgenowskiego (liniowy współczynnik osłabienia promieniowania rentgenowskiego).

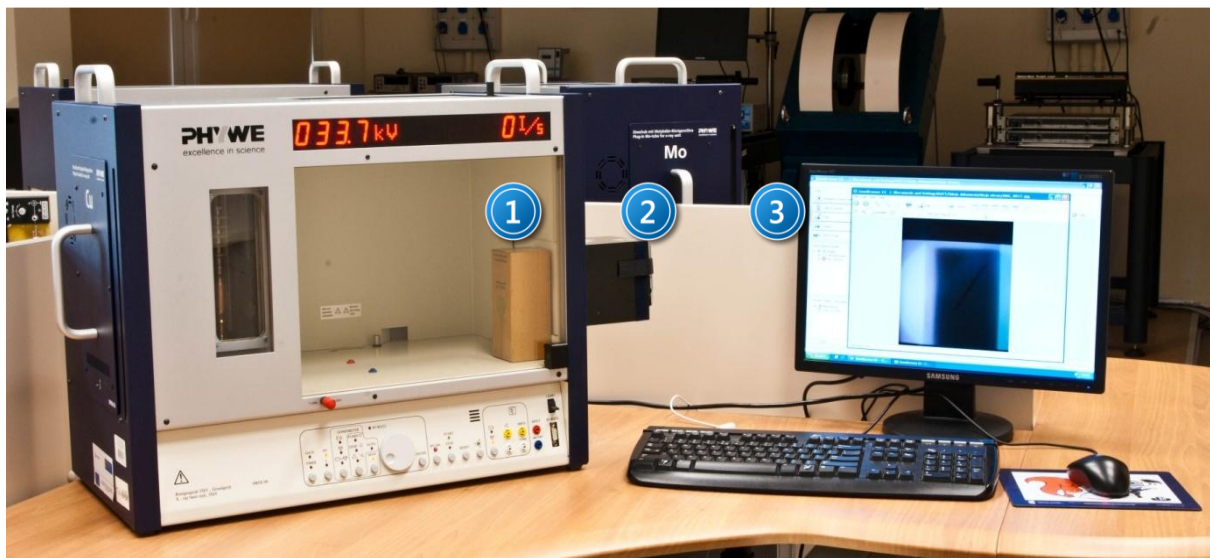
### V. Zestaw przyrządów.

1. Moduł rentgenowski.
2. Aparat fotograficzny.
3. Drewniany fantom.
4. Zestaw ukrytych przedmiotów wykonanych z różnych materiałów.
5. Zestaw komputerowy.



## VI. Wykonanie doświadczenia i opracowanie wyników

1. Włączyć moduł rentgenowski oraz komputer (Zdjęcie 1).



Zdjęcie 1. Moduł rentgenowski z komputerem: 1 – fantom; 2 – aparat fotograficzny w osłonie; 3 – zestaw komputerowy.

2. Na panelu sterującym modułu rentgenowskiego ustawić następujące parametry pomiarowe:
  - napięcie anodowe  $U_A = 35$  kV;
  - prąd anodowy  $I_A = 1$  mA

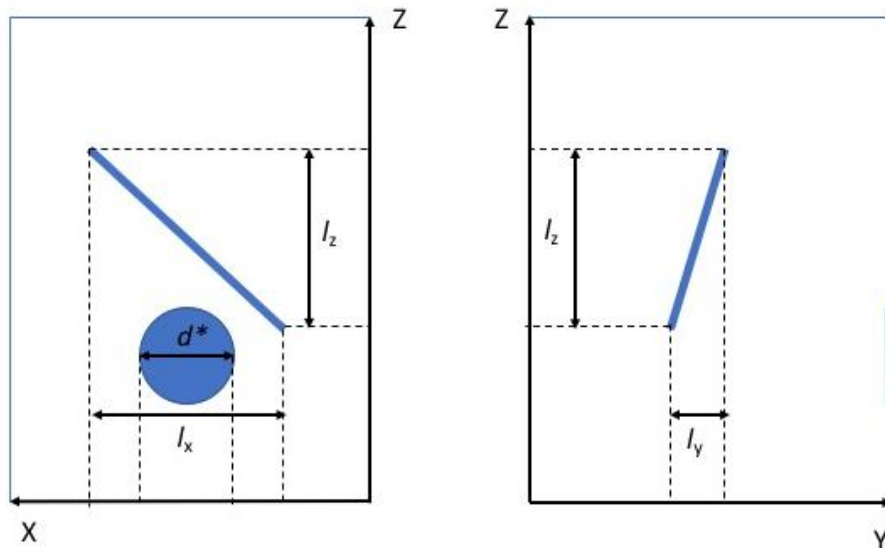
Wartości napięcia  $U_A$  i natężenia  $I_A$  wybiera się poprzez wciśnięcie przycisku „HV-ON” na płycie czołowej modułu (z lewej strony) oraz ustawienie żądanej wartości pokrętkiem 1 (Zdjęcie 2) i jej zatwierdzenie przyciskiem „ENTER”. Wybrane wartości parametrów pomiaru są sygnalizowane diodami LED oraz wyświetlane na cyfrowym wyświetlaczu. Uruchomić moduł poprzez naciśnięcie przycisku „START”.



Zdjęcie 2. Widok panelu sterującego modułem rentgenowskim: 1 – pokrętło wyboru wartości parametrów pomiarów.

3. Wykonać zdjęcia drewnianego fantomu:

- a) umieścić fantom wewnątrz modułu rentgenowskiego tak, aby metalowy krążek z przodu fantomu skierowany był w kierunku otworu wyjściowego promieniowania, a jego tylna ścianka stykała się z ekranem fluorescencyjnym obudowy modułu;
  - b) aparat fotograficzny umieścić w osłonie okienka umieszczonej na zewnątrz modułu;
  - c) wykonać zdjęcie;
  - d) obrócić fantom o 90° w płaszczyźnie poziomej i wykonać kolejne zdjęcie.
4. Na podstawie uzyskanych radiogramów określić położenie i rzeczywistą długość metalowego pręta ukrytego w drewnianym fantomie:



- wyznaczyć w dowolnym programie graficznym odległości  $l_x$ ,  $l_y$ ,  $l_z$  oraz  $d^*$  w pikselach;
- wiedząc, że średnica  $d$  metalowego krążka umieszczonego na fantomie wynosi 30 mm, przeliczyć odległości  $l_x$ ,  $l_y$ ,  $l_z$  odczytane z fotografii w pikselach na mm (np. za pomocą proporcji);
- obliczyć rzeczywistą długość pręta korzystając ze wzoru:

$$l = \sqrt{l_x^2 + l_y^2 + l_z^2};$$

- wyznaczyć położenie pręta w fantomie korzystając z następujących wzorów:

$$\cos\alpha = \frac{l_x}{l}$$

$$\cos\beta = \frac{l_y}{l}$$

$$\cos\gamma = \frac{l_z}{l}$$

oraz obliczyć kąty  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

5. Wykonać zdjęcia rentgenowskie przedmiotów ukrytych w saszetce, tak by możliwa była ich identyfikacja. Porównać współczynniki pochłaniania promieniowania rentgenowskiego ukrytych przedmiotów.

6. Sporządzić opinię dla organu procesowego.

Sprawozdanie ma mieć charakter przykładowej opinii biegłego tzn.: zawierać takie elementy jak:

- imię, nazwisko, stopień i tytuł naukowy, specjalność i stanowisko zawodowe biegłego;
- imiona i nazwiska oraz pozostałe dane innych osób, które uczestniczyły w przeprowadzeniu ekspertyzy, ze wskazaniem czynności dokonanych przez każdą z nich, w przypadku opinii instytucji - także pełną nazwę i siedzibę instytucji;
- czas przeprowadzonych badań oraz datę wydania opinii;
- szczegółowy opis nadesłanego materiału dowodowego, porównawczego (sposób zabezpieczenia podczas transportu, opis opakowania, jego cechy ogólne i indywidualne) i cytowane pytania organu procesowego;
- informację o zastosowanych technikach i metodach;
- sprawozdanie z przeprowadzonych badań i obserwacji;
- interpretację wyników i wnioski;
- podpisy wszystkich biegłych, którzy uczestniczyli w wydaniu opinii.

Opinia powinna być napisana zrozumiałym językiem, a wnioski powinny być bardzo czytelne, zwłaszcza dla organów procesowych (dla prokuratury i sędziego).