|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | ***Narodowe Centrum Badań Jądrowych***  ***Dział Edukacji i Szkoleń***  ***ul. Andrzeja Sołtana 7, 05-400 Otwock-Świerk*** | 20141007 logo DEiS20141007 logo DEiS20141007 logo DEiS |

|  |  |
| --- | --- |
| ĆWICZENIE  13d | LABORATORIUM FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ  Kwantowa natura promieniowania X i stała Plancka |

# 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie najkrótszej długości fali w widmie promieniowania hamowania w funkcji napięcia U lampy rentgenowskiej, zweryfikowanie relacji Duane'a-Hunta oraz wyznaczenie stałej Plancka.

# 2. Wstęp teoretyczny

## 1. Opis zjawiska

Elektrony, które w anodzie lampy rentgenowskiej doznają gwałtownego hamowania (głównie w polu elektrycznym wokół jąder atomowych), produkują tzw. *promieniowanie hamowania*. Promieniowanie to, w przeciwieństwie do promieniowania charakterystycznego materiału anody, nie ma ściśle określonej długości fali. W związku z tym widmo promieniowania hamowania jest widmem ciągłym. W roku 1915 William Duane i Franklin Hunt stwierdzili, że dolna granica widma promieniowania hamowania (czyli najmniejsza długość fali, jaką osiąga promieniowanie hamowania, *λmin*) jest odwrotnie proporcjonalna do wartości wysokiego napięcia *U* podanego na lampę rentgenowską.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

## 2. Hipoteza

Relacja Duane'a-Hunta może być wyjaśniona po przyjęciu dwojakiej, kwantowo-falowej natury promieniowania. Promieniowanie to można bowiem uznać za złożone z cząstek o masie zerowej, *fotonów*, których energia *E* związana jest z częstotliwością fali elektromagnetycznej *f*, zgodnie z relacją zaproponowaną przez Maxa Plancka w celu wyjaśnienia zjawiska promieniowania ciała doskonale czarnego:

|  |  |
| --- | --- |
| *E* = *hf* = *hc*/*λ* | (2) |

*h* oznacza stałą Plancka, *λ* to długość fali, a *c* to prędkość światła w próżni równa 2,9979·108 m/s.

Zgodnie z zasadą zachowania energii fotony promieniowania rentgenowskiego nie mogą mieć energii większej niż energia kinetyczna elektronów, które hamują w materiale anody. Z kolei energia kinetyczna elektronów wynika z ich rozpędzania w polu elektrycznym między katodą i anodą lampy rentgenowskiej. Wzór na tę energię ma następującą postać:

|  |  |
| --- | --- |
| *Ekin = e⸱U* | (3) |

gdzie *e* to wartość ładunku elektronu równa 1,6022·10-19 A·s, zaś *U* to napięcie zasilania lampy rentgenowskiej.

Porównanie powyższych wzorów pozwala na wyprowadzenie zależności zaobserwowanej przez Duane’a i Hunta, przy czym stała proporcjonalności jest tutaj zależna od kilku innych stałych fizycznych, czyli *c*, *e* i *h*:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

Zakładając, że wartości prędkości światła w próżni i ładunek elektronu są znane, można zatem obliczyć wartość stałej Plancka, a zatem potwierdzić słuszność jego koncepcji. Trzeba tylko zmierzyć zależność minimalnej długości fali w widmie promieniowania lampy rentgenowskiej od odwrotności napięcia zasilającego tę lampę. Powinna ona mieć przebieg liniowy o nachyleniu równym *hc*/*e*.

# 3. Przebieg doświadczenia

### **A)** Włączyć urządzenie pomiarowe X-Ray Apparatus w konfiguracji z monokryształem NaCl.

### **B)** Włączyć komputer i uruchomić program „X-Ray Apparatus”.

### **C)** Wprowadzić do urządzenia X‑Ray Apparatus parametry pomiaru z wybranego wiersza tabeli 1 i uruchomić pomiar przyciskiem SCAN (przy wprowadzaniu wartości *βmin* i *βmax*, a także podczas pomiaru musi być włączony tryb pracy COUPLED).

### **D)** Wykonać takie same pomiary dla pozostałych wierszy tabeli 1.

### **E)** Otworzyć okno dialogowe „Settings” (lub poprzez klawisz F5) i w zakładce „Crystal” nacisnąć przycisk „Enter NaCl”. Zatwierdzić zmiany klawiszem „OK”. W ten sposób widoczny na ekranie komputera wykres natężenia promieniowania zostanie automatycznie przeliczony z zależności od kąta na zależność od długości fali.

### **F)** Dla każdego zmierzonego widma nacisnąć prawy przycisk myszy i wybrać polecenie „Calculate Best-fit Straight Line”, po czym posługując się lewym przyciskiem myszy zaznaczyć obszar, w którym do wykresu ma być dopasowana linia prosta. Ta prosta przecina oś poziomą w wartości *λmin*, która jest wypisywana w dolnej części ekranu. Przepisać tę wartość do odpowiedniego miejsca w tabeli 1.

### **G)** Przejść do zakładki programu pod nazwą „Planck”.

### **H)** Korzystając ponownie z polecenia „Calculate Best-fit Straight Line” dopasować linię prostą do punktów na wykresie zależności *λmin* od 1/*U*. Z dolnej części ekranu odczytać parametr *A* dopasowania, który jest współczynnikiem nachylenia prostej równym *hc*/*e*. Na jego podstawie obliczyć *h* i porównać z wartością tablicową, która wynosi 6,626·10-34 J·s.

**Tabela 1.**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **U [kV]** | **I [mA]** | **Δt [s]** | **Δβ [°]** | **βmin [°]** | **βmax [°]** | ***λmin* [pm]** |
| 22,0 | 1,00 | 15 | 0,1 | 5,2 | 6,8 |  |
| 24,0 | 1,00 | 15 | 0,1 | 4,8 | 6,4 |  |
| 26,0 | 1,00 | 10 | 0,1 | 4,4 | 6,0 |  |
| 28,0 | 1,00 | 10 | 0,1 | 4,0 | 5,6 |  |
| 30,0 | 1,00 | 5 | 0,1 | 3,7 | 5,4 |  |
| 32,0 | 1,00 | 5 | 0,1 | 3,5 | 5,1 |  |
| 34,0 | 1,00 | 5 | 0,1 | 3,2 | 4,8 |  |
| 35,0 | 1,00 | 5 | 0,1 | 3,0 | 4,5 |  |