

Laboratorium Fizyczne II

Wydział Podstawowych Problemów Techniki
Katedra Fizyki Doświadczalnej

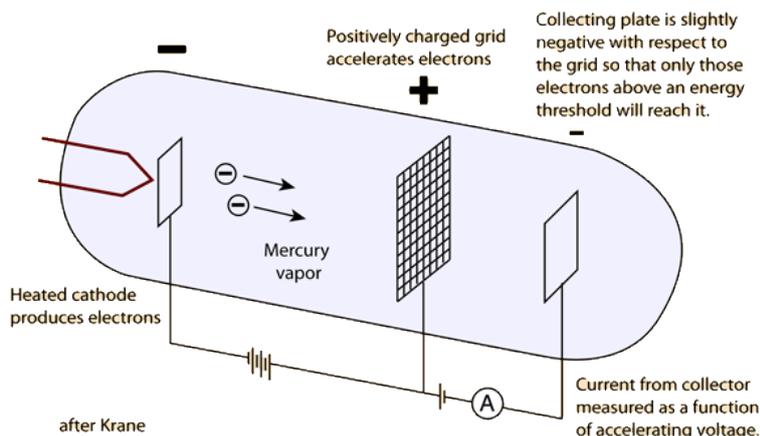
Ćwiczenie nr 5

Doświadczenie Franka-Hertza. Pomiar energii wzbudzenia atomów neonu.

A. Opis zagadnienia

I. Doświadczenie Franka-Hertza

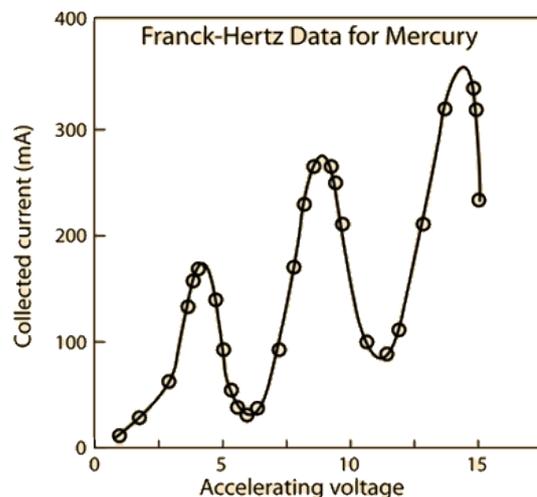
W 1914 roku James Franck i Gustav Hertz przeprowadzili doświadczenie, które potwierdziło istnienie stanów wzbudzonych w atomach rtęci. Pozwoliło to dowiedzieć, że elektrony w atomie mają ściśle określoną i skwantowaną energię – co postulował w swym modelu Niels Bohr. Doświadczenie nagrodzono w 1925 roku Nagrodą Nobla za odkrycie praw rządzących zderzeniem elektronu z atomem.



Rys. 1

Szklana tuba z parami rtęci ogrzany do temperatury ok. 200 °C.

Termicznie uwalniane elektrony z powierzchni katody trafiają w obszar pola elektrycznego, pod wpływem którego nabierają prędkości. Mierzony na kolektorze prąd anodowy rośnie wraz ze wzrostem napięcia przyspieszającego (rys. 2). W okolicach 4,9 V na wykresie $I_a(U)$ obserwujemy nagły spadek mierzonego prądu – zachodzi efekt, który pozbawia elektrony wystarczającej ilości energii aby mogły dotrzeć do kolektora. Za efekt ten odpowiedzialne są nieelastyczne zderzenia elektronów z atomami rtęci – elektrony „oddają” część energii atomom rtęci (elektrony zaczynają być silnie de facto pochłaniane przez atomy rtęci, które emitują w



Rys. 2 Zależność prądu anodowego od napięcia przyspieszającego elektrony.

zamian powolny elektron o przeciwnym niż poprzedni spinie). Napięcie przyspieszające ponownie powoduje, że spowolniony elektron nabiera energii. Znowu po osiągnięciu odpowiedniej energii może nieelastycznie zderzyć się z atomami rtęci i „oddać” jej odpowiednią ilość – proces może się powtarzać aż elektron nie dotrze do siatki poza którą występuje potencjał o przeciwnym zwrocie (hamujący). Jeżeli jednak elektrony pomimo napięcia hamującego dotrą w okolice anody (kolektora) zostają wessane przez nią i mogą zostać zmierzone w postaci prądu anodowego. Przy napięciu przyspieszającym równym wielokrotności 4,9 V wartości prądu anodowego osiąga w funkcji napięcia lokalne maksima, co dowodzi postulatu o kwantowaniu poziomów energetycznych (rys. 2). Napięcie (4,9 V) wzbudzenia atomów rtęci odpowiada przejściom ze stanu singletowego do trypletowego – silnej linii emisyjnej widma rtęci o długości fali 254 nm (fotonowi o energii 4.9 eV).

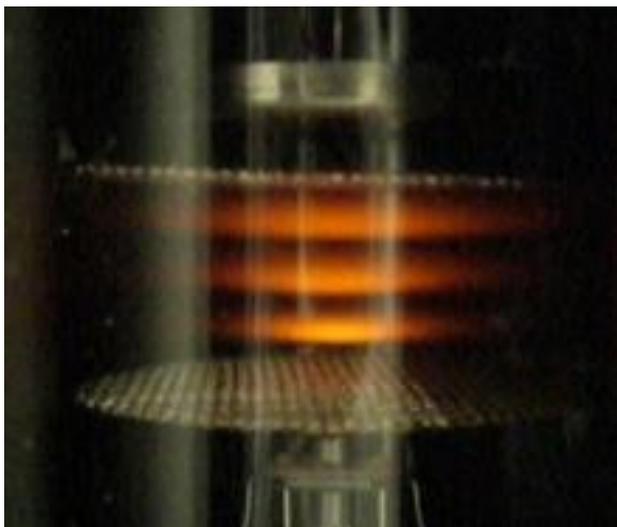
II. Doświadczenie Franka-Hertza dla neonu

Zjawisko zaobserwowane dla rtęci można także obserwować gdy tubę napełnimy neonem.

Eksperyment z udziałem neonu jest o tyle prostszy, że gaz nie wymaga grzania, jak to miało miejsce w przypadku rtęci. Kolejną zaletą jest także możliwość obserwacji emitowanego przez gaz światła.

Do wzbudzenia atomy neonu potrzebują ok. 18.7 eV, czyli pierwsze maksimum w zależności $I_a(U)$ pojawi się dopiero dla napięcia ok. 19 V. Poziom o energii 18.7 eV nie jest pierwszym poziomem wzbudzonym. Jest nim poziom o energii ok. 16.6 eV, tyle że ma bardzo mały przekrój czynny na wzbudzenia (istnieje niewielkie prawdopodobieństwo wzbudzenia na ten poziom). Atom po wzbudzeniu na poziom 18.7 eV pozbywa się energii poprzez emisję fotonu osiągając energię 16.6 eV. To właśnie te fotony możemy zaobserwować w tubie napełnionej neonem. Następnie emitowany jest kolejny foton, tym razem jednak w zakresie UV i atom wraca do stanu podstawowego. Omawiane poziomy w rzeczywistości tworzą pasma złożone, każdy, z ok. 10 poziomów.

Przyspieszane elektrony w wyniku zderzeń nieelastycznych mogą kilkakrotnie powodować świecenie neonu zanim osiągną anodę. W zakresie do 80V możemy obserwować 3-4 obszarów świecących (rys. 3).



Rys. 3

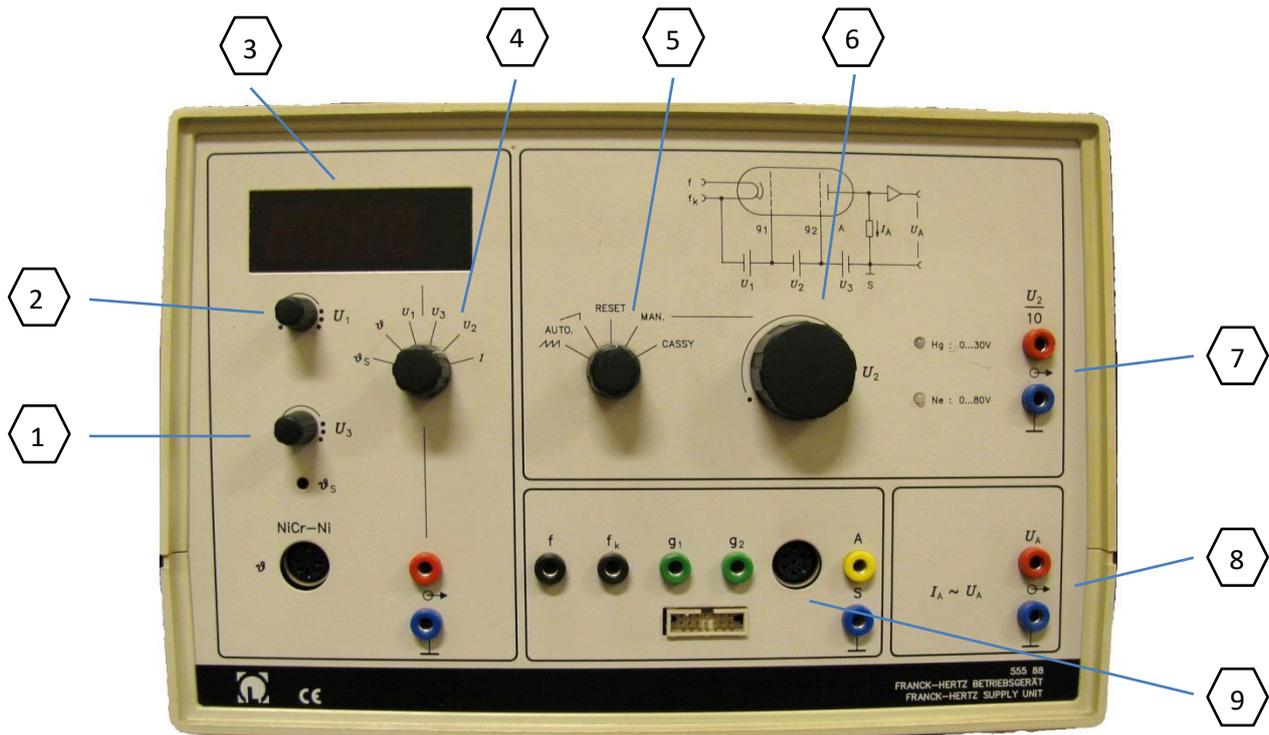
Świecenie neonu wywołane nieelastycznymi zderzeniami z przyspieszonymi elektronami.

B. Pomiar energii wzbudzenia atomów neonu

I. Przyrządy:

- Neonowa lampa Franka-Hertza;
- Zasilacz;
- Dwa mierniki uniwersalne.

II. Cel ćwiczenia: doświadczalne potwierdzenie skwantowania energii atomów; wyznaczenie energii elektronów metodą pola hamującego; wyznaczenie długości fali fotonu emitowanego przez wzbudzony atom neonu.

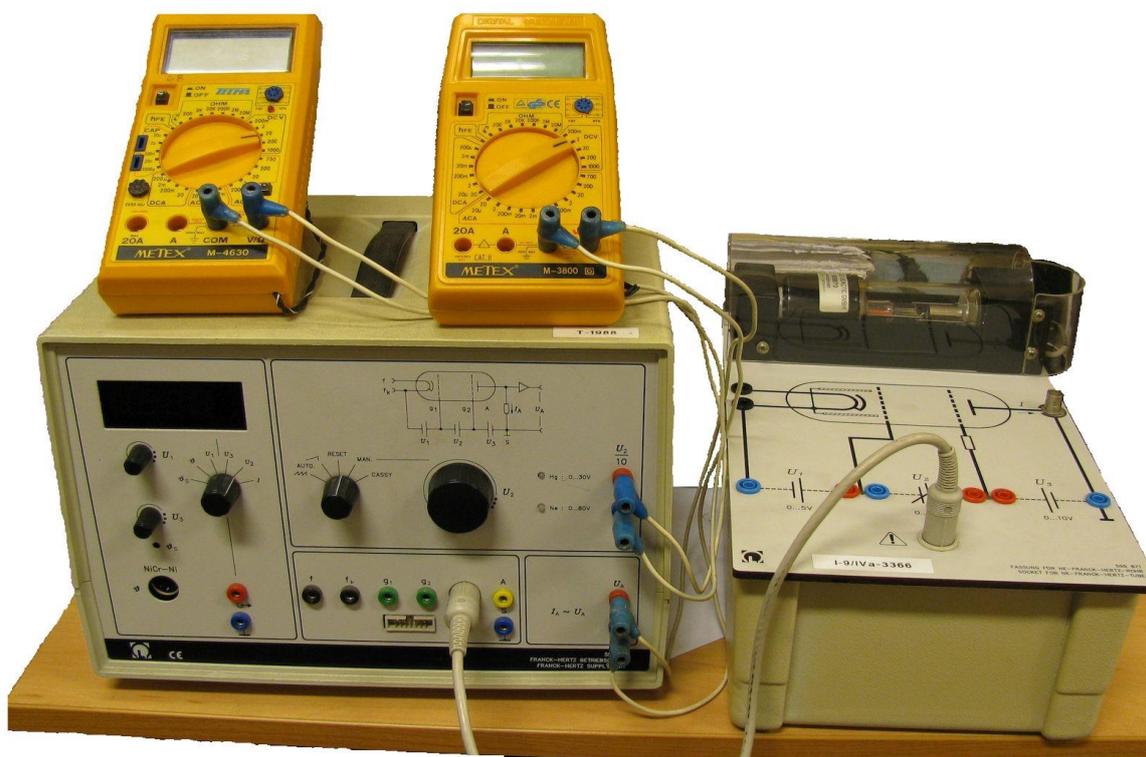


Rys. 4 Schemat zasilacza

- 1 – potencjometr napięcia hamującego U_3 (nie przekraczać 10 V!)
- 2 – potencjometr napięcia sterującego U_1 (nie przekraczać 5 V!)
- 3 – wyświetlacz
- 4 – selektor wyboru wartości mierzonych
- 5 – przełącznik trybu pracy zasilacza
- 6 – potencjometr napięcia przyspieszającego U_2
- 7 – wyjścia do podłączenia woltomierza mierzącego napięcie $U_2/10$
- 8 – wyjścia do podłączenia woltomierza mierzącego napięcie U_a (prąd anodowy)
- 9 – gniazdo do podłączenia modułu z lampą wypełnioną neonem

III. Zadania pomiarowe

1. Pomiar zależności prądu anodowego od napięcia przyspieszającego z użyciem mierników:
 - a) przed włączeniem zasilania upewnić się, że układ pomiarowy jest poprawnie zmontowany według schematu (rys. 5);



Rys. 5 Schemat układu pomiarowego

- b) potencjometry sterowania napięciami U_1 (1), U_2 (2) i U_3 (6) ustawić w lewym skrajnym położeniu;
- c) w obecności przewodzącego włączyć zasilanie układu (włącznik znajduje się na tylnej płycie zasilacza); **po włączeniu zasilania zabronione są jakiegokolwiek zmiany w układzie!**
- d) mierniki ustawić na pomiar napięcia i włączyć ich zasilanie;
- e) przełącznik trybu pracy zasilacza (5) ustawić w pozycji **RESET**;
- f) selektor wyboru wartości mierzonych (4) przełączyć na odczyt wartości U_3 – ustalić napięcie hamujące na 8.5V – aktualną wartość pokazuje wyświetlacz (3); **nie wolno przekraczać wartości 10V dla napięcia hamującego U_3 !**
- g) selektor wyboru wartości mierzonych (4) przełączyć na odczyt wartości U_1 – ustalić napięcie sterujące na 1.5V – aktualną wartość pokazuje wyświetlacz (3); **nie wolno przekraczać wartości 5V dla napięcia sterującego U_1 !**
- h) przełącznik trybu pracy zasilacza (5) ustawić w pozycji **MAN**;

2) Obserwacja świecenia atomów neonu:

- potencjometrem U_2 (6) stopniowo zwiększać napięcie przyspieszające; zaobserwować powstawanie i przemieszczanie się obszarów gazu emitujących światło (np. zaobserwować dla jakich wartości napięcia przyspieszającego powstają kolejne obszary, itp.); **nie wolno przekroczyć wartości 80V dla napięcia przyspieszającego U_2 !**

3) Pomiar charakterystyki $I_a(U_2)$:

- wyznaczyć zależność prądu anodowego I_a od napięcia przyspieszającego U_2 zmieniając napięcie potencjometrem (6) od 0 do 78V (np. co ok. 1V); napięcie odczytywane jest na mierniku podłączonym do wyjść oznaczonych $U_2/10$ (jest to żądana wartość napięcia podzielona przez 10), wartość prądu odczytywana jest na mierniku podpiętym pod wyjścia oznaczone U_a ; **nie wolno przekroczyć wartości 80V dla napięcia przyspieszającego U_2 !**

Napięcie należy zwiększać bardzo delikatnie – duży skok pokrętki. Nie należy starać ustalić żądanej wartości napięcia tylko odczytać i zapisać wartość, która się ustali. Niepożądane jest także zmniejszanie wartości napięcia podczas pomiaru. Pomiar powinien zostać wykonany bardzo sprawnie – bez czekania na ustalenie się konkretnej wartości prądu.

IV. Opracowanie wyników

1. Dla zdefiniowanych wartości U_1 i U_3 wykreślić zależność prądu anodowego w funkcji napięcia przyspieszającego $I_a = f(U_2)$. W przypadku niesatysfakcjonujących wyników pomiar należy powtórzyć.

2. Na wykresie zaznaczyć wartości U_2 , dla których występują maksima (lub minima) natężenia prądu anodowego. Określić niepewność odczytu żądanych wartości z wykresu – **nie jest to dokładność multimetru!** Wyznaczyć różnice ΔU_2 dla kolejnych maksimów (minimów). Oszacować niepewność $u(\Delta U_2)$. W celu wyznaczenia wartości maksimów/minimów i ich niepewności można posłużyć się numerycznym dopasowaniem np. wielomianem czy krzywą typu „peak”.

3. Obliczyć energię wzbudzenia atomów neonu:

$$E = e \Delta U_2$$

gdzie:

E – energia wzbudzenia atomów neonu,

$e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C – ładunek elektryczny elektronu,

ΔU_2 – wyznaczona różnica napięć pomiędzy sąsiednimi maksimami dla zależności $I_a = f(U_2)$.

4. Wyznaczyć niepewność $u(E)$.

5. Obliczyć długość fali λ fotonu emitowanego przy przejściu atomu ze stanu wzbudzonego do stanu podstawowego:

$$\lambda = h c / E$$

gdzie

$h = 6.63 \cdot 10^{-34}$ Js – stała Plancka,

$c = 3 \cdot 10^8$ m/s – prędkość światła.

Jakiej fali odpowiada ten foton? Jak to się ma do długości fali fotonów obserwowanych w czasie doświadczenia?

6. Obliczyć niepewność długości fali emitowanego fotonu $u(\lambda)$.