

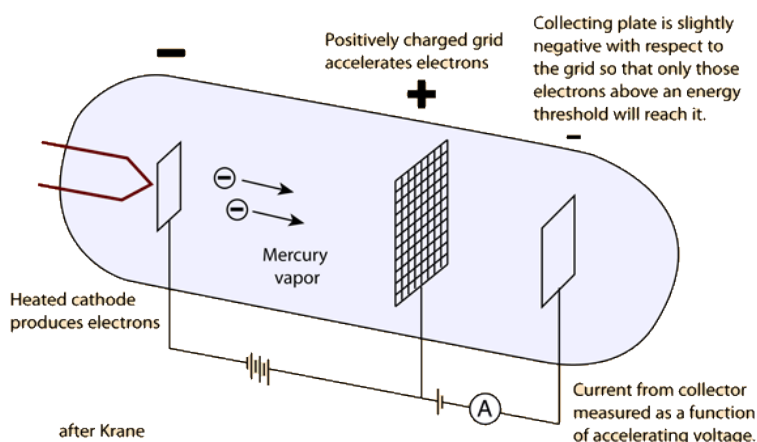
## Ćwiczenie nr 5

### Doświadczenie Franka-Hertza. Pomiar energii wzbudzenia atomów neonu.

#### A. Opis zagadnienia

##### I. Doświadczenie Franka-Hertza

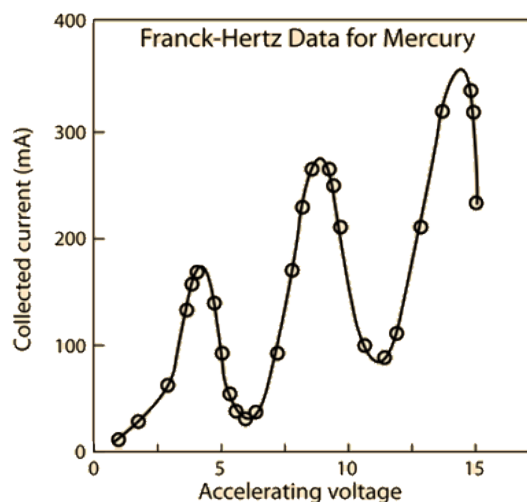
W 1914 roku James Franck i Gustav Hertz przeprowadzili doświadczenie, które potwierdziło istnienie stanów wzbudzonych w atomach rtęci. Pozwoliło to dowiedzieć, że elektrony w atomie mają ściśle określoną i skwantowaną energię – co postulował w swym modelu Niels Bohr. Doświadczenie nagrodzono w 1925 roku 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 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 „odać” jej odpowiednią ilość – proces może się powtarzać aż elektron nie dotrze do siatki poza którą występuje potencjał o przeciwnym zwrocie

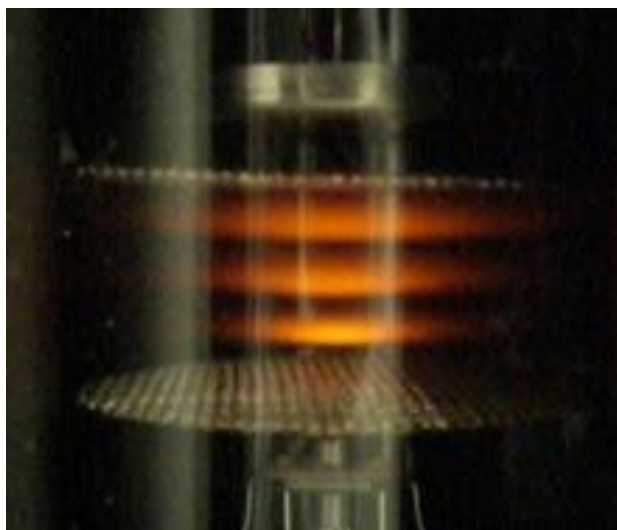


Rys. 2 Zależność prądu anodowego od napięcia przyspieszającego elektrony.

(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 świejących (rys. 3).



**Rys. 3**

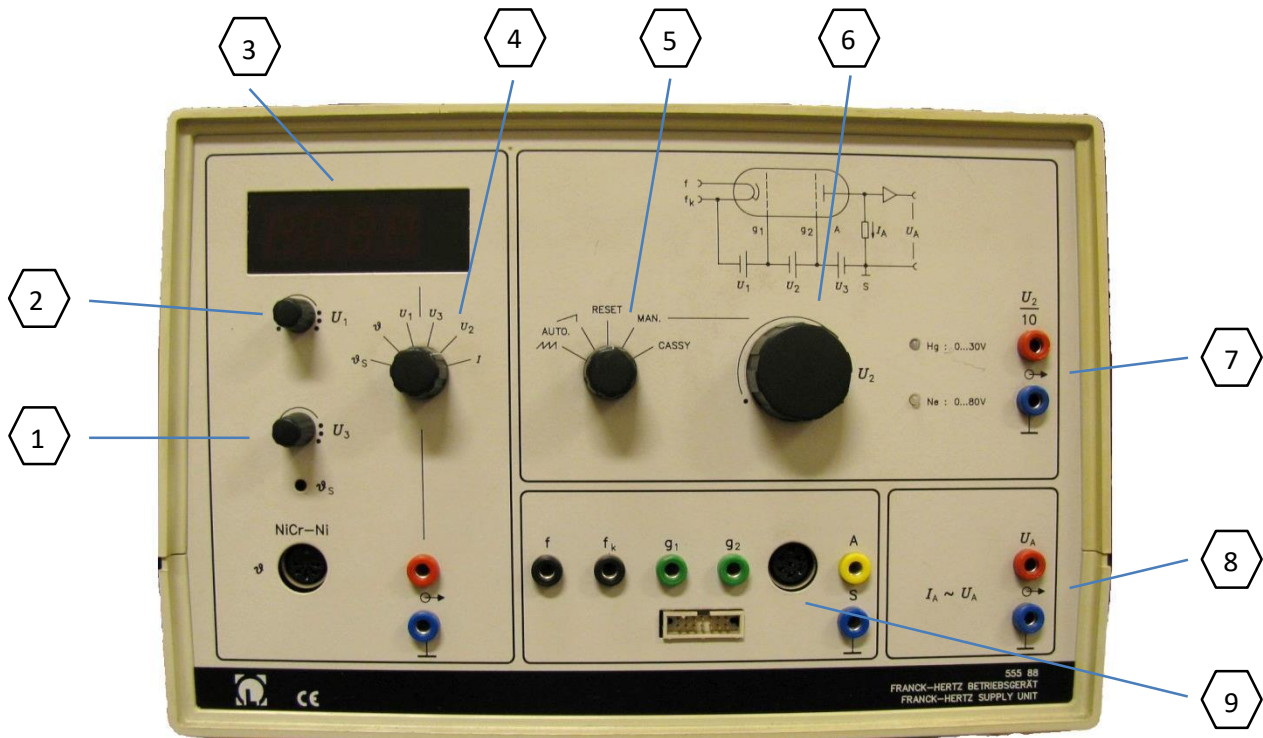
Świecenie neonu wywołane nieelastycznymi zderzeniami z przyspieszonymi elektronami.

## 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.

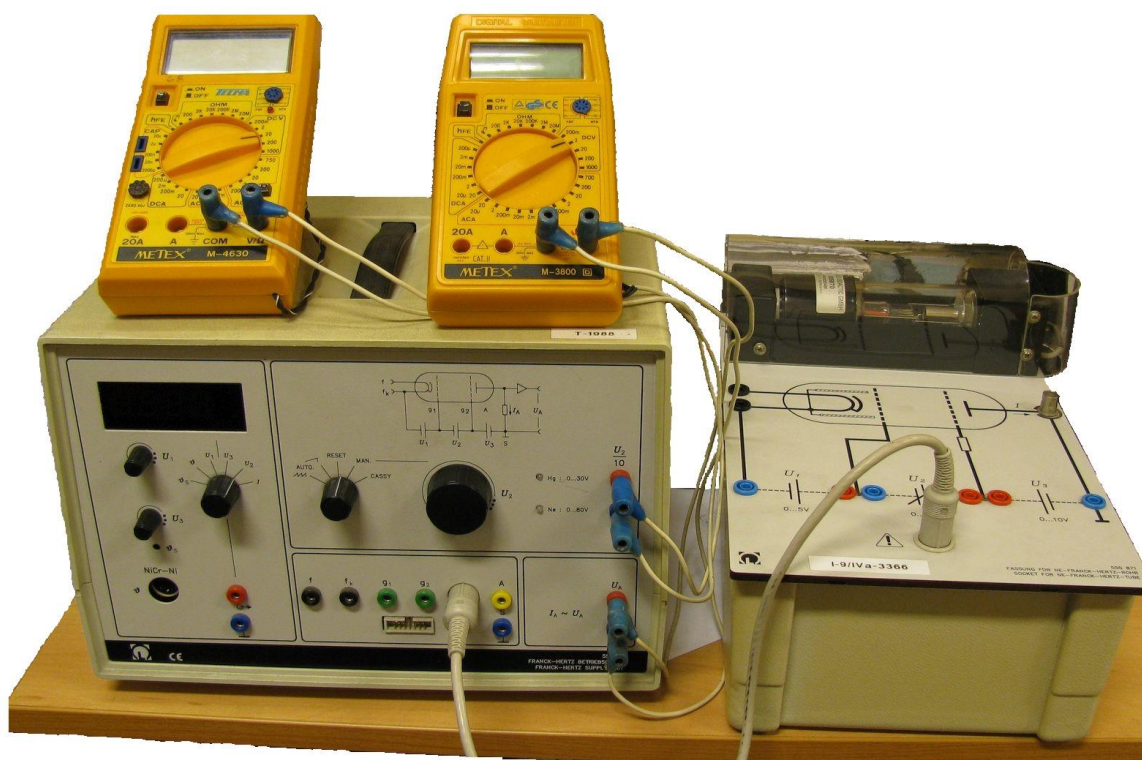


Rys. 4 Schemat zasilacza

- 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. Pomiary 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  $U_2$ !**

#### IV. Opracowanie wyników

1. Dla zdefiniowanych wartości  $U_1$  i  $U_3$  wykreślić zależność prądu anodowego w funkcji napięcia przyspieszającego  $I_a = f(U_2)$ .
2. Na wykresie zaznaczyć wartości  $U_2$ , dla których występują maksima natężenia prądu anodowego. Wyznaczyć różnice  $\Delta U_2$  dla kolejnych maksimów. Oszacować niepewność  $u(\Delta U_2)$ .
3. Obliczyć energię wzbudzenia atomów neonu:

$$E = e \Delta U_2$$

gdzie:

$E$  – energia wzbudzenia atomów neonu,

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

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

4. Wyznaczyć niepewność  $u(E)$ .

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

$$\lambda = h c / E$$

gdzie

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

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

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

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