

## 5.1.03-15 Eksperyment Franck'a-Hertz'a z lampą neonową.



## Zagadnienia poruszane w ćwiczeniu...

- Kwant energii
- Skoki kwantowe
- Zderzenia elektronów
- Energia wzbudzenia

## Zasada wykonania ćwiczenia:

Elektrony są przyspieszane w lampie wypełnionej neonem.

Na podstawie odległości pomiędzy równoodległymi minimami natężenia prądu elektronów w zmiennym polu elektrycznym wyznaczana jest energia wzbudzenia neonu.

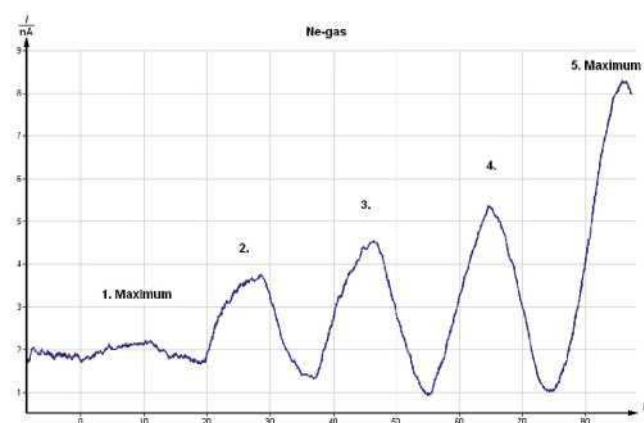
## Wyposażenie potrzebne do przeprowadzenia ćwiczenia:

Jednostka robocza Francka-Hertz'a	09105.99	1
Lampa neonowa Francka-Hertz'a z osłoną	09105.40	1
5-pinowy przewód do lampy neonowej	09105.50	1
Kabel ekranowany BNC, l=75cm	07542.11	1
Kabel RS 232	14602.00	1
Oprogramowanie Francka-Hertz'a	14522.61	1
PC, Windows® 95 lub wyższy		

## Wyposażenie dodatkowe:

Oscyloskop, 30 MHz, dwukanałowy	11459.95	1
Adapter, gniazdo BNC/4mm para wtyczek	07542.27	2
Kabel ekranowany, BNC, l = 75 cm	07542.11	2

Kompletny zestaw, instrukcja dołączona na CD-ROM  
Eksperyment Franck'a-Hertz'a z lampą neonową P2510315



Przykład krzywej Francka-Hertz'a dla gazu neonowego.

## Zadania:

1. Zarejestrować natężenie prądu  $I_s$  w lampie Francka-Hertz'a w funkcji napięcia anody  $U_A$ .
2. Wyznaczyć przy pomocy różnicy położenia minimów natężenia prądu energię  $E_a$ .

### Tematy poruszane w ćwiczeniu:

Kwant energii, skoki kwantowe, zderzenia elektronów, energia wzbudzenia, model atomu Bohra.

### Zasada wykonania ćwiczenia:

Elektrony są przyspieszane w lampie wypełnionej neonem. Na podstawie odległości pomiędzy równoodległymi minimami natężenia prądu elektronów w zmiennym polu elektrycznym wyznaczana jest energia wzbudzenia neonu.

### Wyposażenie potrzebne do przeprowadzenia ćwiczenia:

Jednostka robocza Francka-Hertz'a	09105.99	1
Lampa neonowa Francka-Hertz'a z osłoną	09105.40	1
5-pinowy przewód do lampy neonowej	09105.50	1
Kabel ekranowany BNC, l=75cm	07542.11	1
Kabel RS 232	14602.00	1
Oprogramowanie Francka-Hertz'a	14522.61	1
PC, Windows® 95 lub wyższy		

### Wyposażenie dodatkowe:

Oscyloskop, 30 MHz, dwukanałowy	11459.95	1
Adapter, gniazdo BNC/4mm para wtyczek	07542.27	2
Kabel ekranowany, BNC, l = 75 cm	07542.11	2

### Zadania:

Zarejestrować natężenie prądu  $I$  w lampie Francka-Hertz'a w funkcji napięcia anody  $U_A$ . Wyznaczyć przy pomocy różnicy położenia minimów natężenia prądu energię  $E$ .

### Ustawienie i sposób postępowania:

Zestawienie układu pokazane jest na Rys.1. Dodatkowe informacje znajdują się w instrukcji 09105.99. Należy podłączyć jednostkę roboczą do portu komputera COM1, COM2 lub USB (użyć adaptera USB\RS232 14602.10). Następnie należy otworzyć program pomiarowy i wybrać przyrząd pomiarowy „Cobra3 Franck-Hertz”. Po ustawieniu parametrów tak jak jest to pokazane na Rys.2 wcisnąć klawisz „continue”.

### Teoria i obliczenia:

Niels Bohr przedstawił swój planetarny model atomu w roku 1913: wyizolowany atom zawiera naładowane pozytywnym ładunkiem jądro, wokół którego na poszczególnych orbitach umieszczone są elektrony. Stwierdził on również, że mogą zaistnieć tylko takie orbity dla których moment pędu jest całkowitą wielokrotnością  $h/2\pi$ , tj.  $n \cdot h/2\pi$ , gdzie  $n$  jest liczbą całkowitą, natomiast  $h$  jest stałą Planck'a.

W modelu Bohra elektrony przyjmują dyskretne stany energetyczne (stabilne orbity). Mogą one te stany zmieniać wypromieniowując foton którego częstotliwość może być wyznaczona przy pomocy mechaniki kwantowej (zastępuje ona mechanikę klasyczną dla ciał zbliżonych rozmiarami do atomów). Skoro możliwe jest w modelu Bohra przechodzenie z niższych stanów energetycznych do wyższych, można przypuszczać, że po dostarczeniu elektronowi energii będącej różnicą między stanem energetycznym wyższym i niższym, nastąpi proces odwrotny. James Franck oraz Gustav Hertz przeprowadzali tego typu eksperymenty w tym samym roku co Bohr prezentował swój model planetarny atomu. Franck oraz Hertz używali wiązki przyspieszonych elektronów do

Rys.1 Zestawienie układu do ćwiczenia eksperyment Francka-Hertz'a (przeprowadzanego przy pomocy komputera)



mierzenia energii potrzebnej do przeniesienia elektronów atomów oparów rtęci z podstawowego stanu energetycznego do pierwszego dozwolonego. (patrz ćwiczenie 5.1.03-11). W tym ćwiczeniu zamiast lampy wypełnionej oparami rtęci używana jest lampa wypełniona neonem.

Te maxima i minima nie są jednakże dostatecznie dokładnie wyznaczone z uwagi na wewnętrzny rozkład prędkości elektronów (wpływ ciepła).

Napięcie  $U_1$  pomiędzy anodą oraz katodą można wyliczyć z:

$$U_1 = U + (\phi_A - \phi_C),$$

gdzie  $U$  jest przyłożonym napięciem,  $\phi_A$  oraz  $\phi_C$  napięciami związanymi z pracą wyjścia kolejno dla anody i katody. Ponieważ energia wzbudzenia wyznaczana jest z różnicy położerz minimów napięcia odpowiadające pracy wyjścia nie wpływają na istotę pomiaru.

Zgodnie z klasyczną teorią poziomy energetyczne na które można wzbudzić atomy neonu są losowe, jednakże zgodnie z teorią kwantową określony poziom energetyczny musi być przyporządkowany skokowo w procesie elementarnym. Charakter krzywej  $I/U_A$  był zatem pierwszym wyjaśnieniem tego poglądu i co za tym idzie potwierdzeniem teorii kwantowej.

Wzbudzony atom rtęci ponownie w postaci fotonu odda energię którą przyjął. Jeżeli energia wzbudzenia  $E$  wynosi 16.8 eV, długość fali fotonu wyniesie:

$$\lambda = \frac{ch}{E} = 73.8 \text{ nm, gdzie}$$

$$c = 2.9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

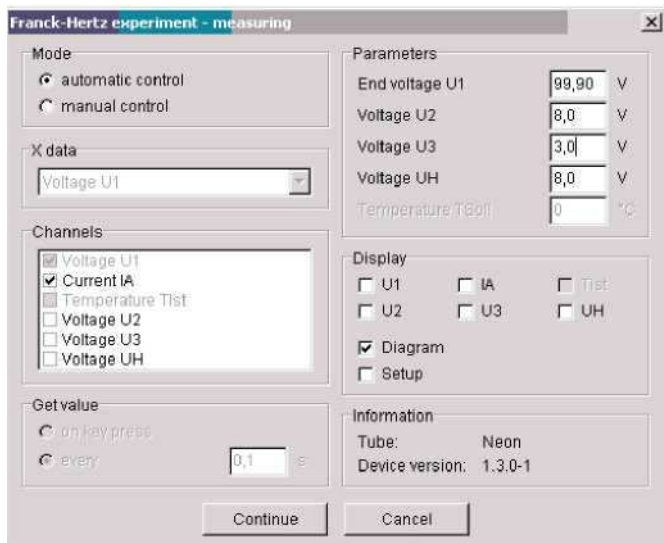
oraz

$$h = 4.136 \cdot 10^{-15} \text{ eV.}$$

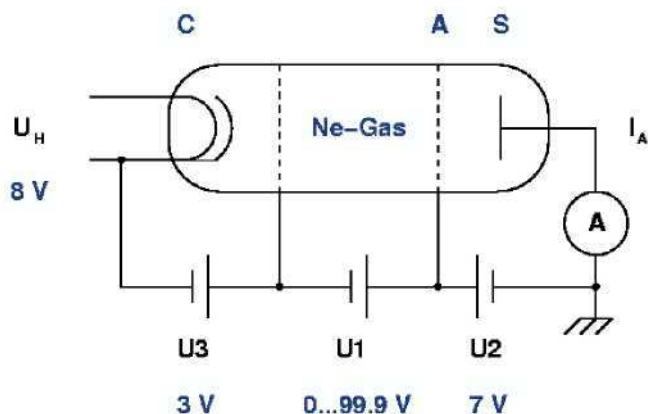
Z naszych wyliczeń możemy teraz wyznaczyć wartości napięć minimów. Po uśrednieniu różnicy wartości między tymi wartościami możemy uzyskać energię wzbudzenia  $E$  atomu neonu.

Z wyliczeń dl pomiarów z Rys.4 otrzymujemy wartość:

$$E = (17.4 \pm 0.7) \text{ eV.}$$



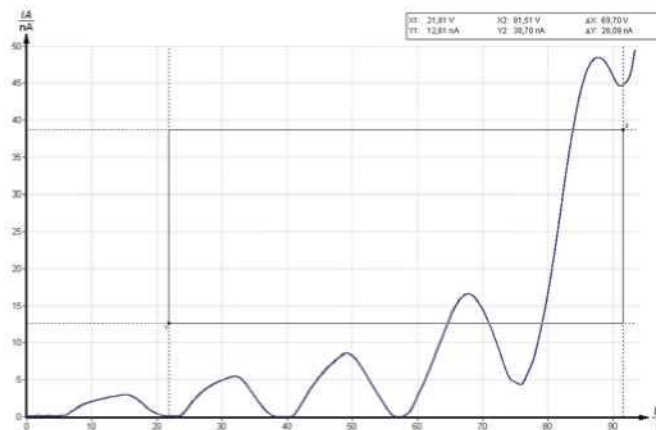
Rys. 2: Parametry pomiarowe.



Rys. 3: Schemat przeprowadzanego eksperymentu.

Elektrony emitowane przez termokatodę są przyśpieszane w obszarze między katodą C i anodą A w lampie wypełnionej neonem (Rys. 3) a następnie rozpraszane w sprężystych zderzeniach między atomami neonu.

Przy napięciu  $U_1$  równym 16.8 V, energia kinetyczna elektronów jest już wystarczająca do przeniesienia elektronu walencyjnego atomu rtęci do pierwszego poziomu wzbudzenia poprzez zderzenie niesprężyste. Z uwagi na towarzyszącą temu zjawisku stratę energii, elektron nie będzie jednak w stanie pokonać przeciwnego pola między anodą A i przeciwną elektrodą S: natężenie  $I$  ma wartość minimalną. Jeżeli zwiększymy teraz napięcie anody energia kinetyczna jest znowu wystarczająca do pokonania przeciwnego pola: natężenie  $I$  wzrasta. Gdy  $U_1 = 2 \times 16.8 \text{ V}$  energia kinetyczna będzie tak duża, że dwa atomy będą mogły być wzbudzone przez jeden elektron: otrzymamy kolejne minimum (Rys. 4). Wykres  $I/U_1$  przedstawia równooddalone maxima i minima.



Rys. 4: Przykład krzywej Francka-Hertz'a zarejestrowanej dla lampy neonowej