

Ćwiczenie nr 45

Stany wzbudzenia atomów rtęci i neonu

Badanie efektu Francka-Hertza

Wprowadzenie historyczne

W XIX wieku fizycy badali świecenie różnych gazów przepuszczając światło przez pryzmat, który rozszczepiał wiązkę tego światła na różne barwy. Okazało się że widmo, czyli rozkład intensywności różnych barw, nie jest ciągle tylko składa się z poszczególnych linii. Mówimy że jest to widmo liniowe. W roku 1885 Johan Balmer badając emisję światła przez wodór znalazł empiryczną zależność pomiędzy kolejnymi długościami fal w widmie. Jednak dopiero Niels Bohr w roku 1913 opublikował model atomu, który poprawnie wyjaśniał powstawanie linii widmowych. Model ten zakładał że w atomie istnieją ściśle określone dozwolone orbity, zwane stacjonarnymi, po których poruszają się elektrony nie wypromieniowując energii, zaś przy zmianie orbity zmienia się energia elektronu i atom emituje, bądź absorbuje foton. Energia tego fotonu równa jest różnicy między energiami elektronu na orbitach pomiędzy którymi przemieszcza się elektron. Wzór na energię kwantu doskonale zgadzał się ze wzorem Balmera. Zatem widmo liniowe jest dowodem na kwantowy charakter oddziaływania światła z atomami materii. W tym samym roku 1913 James Franck oraz Gustaw Hertz przeprowadzili doświadczenie, które dodatkowo potwierdziło kwantowy model Bohra. Polegało ono na badaniu przewodnictwa elektronowego w lampie wypełnionej parami rtęci (w pierwotnej wersji) lub rozrzedzonym gazem. W eksperymencie tym badacze zaobserwowali periodyczne zmiany wartości prądu w funkcji przyłożonego napięcia. Było to dowodem że w zderzeniach z elektronami atomy (rtęci) pochłaniają energie nie w sposób ciągły lecz porcjami przez co udowodnili że także oddziaływanie elektronów z atomami ma charakter kwantowy. Za wyjaśnienie tego zjawiska James Franck oraz Gustaw Hertz dostali nagrodę Nobla w 1925 roku.

Cel laboratorium:

Celem laboratorium jest zapoznanie wykonującego ćwiczenie z dwoma zjawiskami, wyjaśnienie których znacząco wpłynęło na zrozumienie podstaw fizyki współczesnej. Będzie badane zjawisko fotoelektryczne, które zmieniło poglądy na falową naturę promieniowania utwierdzając pojęcie kwantu światła, oraz zjawisko nieelastycznego zderzenia elektronów z atomami, które potwierdziło kwantową naturę atomów.

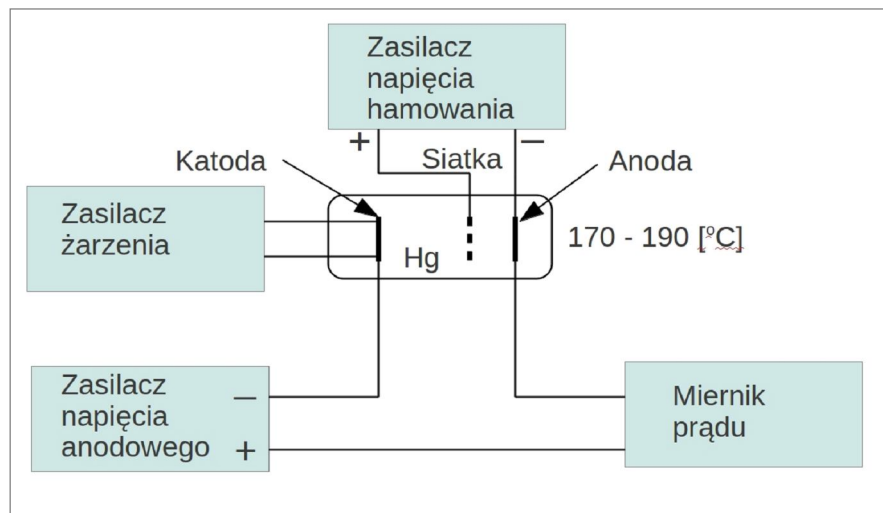
Opis zadań przy badaniu efektu Francka-Hertza.

Wyznaczanie energii wzbudzenia atomów.

W modelu Bohra atomów wodoropodobnych elektrony mogą krążyć wokół jądra po ściśle określonych orbitach kołowych i aby elektron w atomie przeszedł ze stanu o energii E_1 na najbliższy poziom wzbudzony o energii E_2 musi zostać mu dostarczona energia równa dokładnie $\Delta E = E_2 - E_1$

Energii tej można dostarczyć na wiele sposobów, np. w postaci kwantu promieniowania, uderzenia cząstką lub odpowiedniego podgrzania. W naszym eksperymencie wzbudzenie atomów rtęci lub neonu następuje na skutek zderzenia z rozprzeczonymi polem elektrycznym elektronami wyemitowanymi z rozgrzanej katody. Jeśli energia elektronu nie jest wystarczająca by elektron zderzając się z atomem wzbudził go na wyższy poziom energetyczny, następuje tzw. zderzenie sprężyste w którym elektron zachowuje swoją energię. Dzieje się tak dlatego że podczas zderzenia z atomem elektron, który ma znacznie mniejszą masę niż atom, zachowuje także prawie cały swój pęd, podobnie jak piłka odbita od ściany zmienia tylko kierunek nie zmieniając prędkości. Jeśli energia

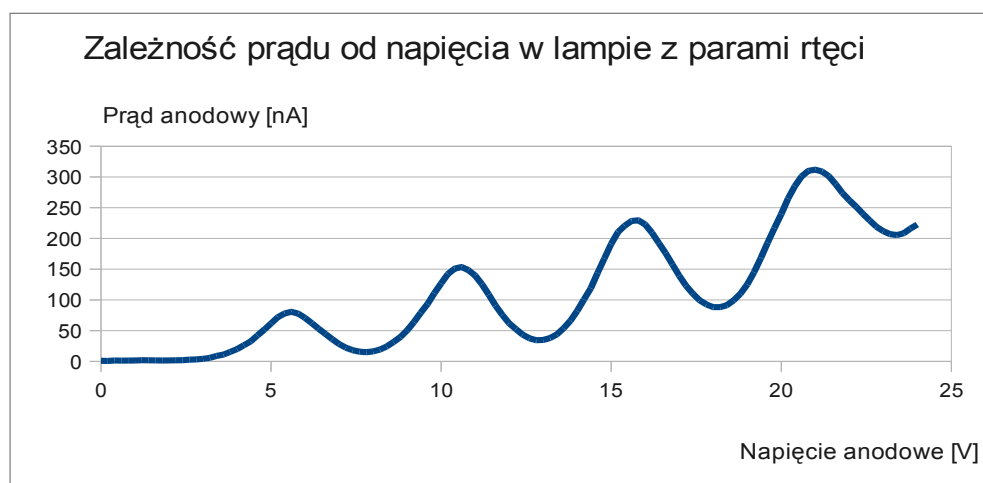
elektronu jest wystarczająca by w zderzeniu wzbudzić atom, następuje tzw. zderzenie niesprężyste, w którym elektron traci część lub całą swoją energię kinetyczną, przekazując ją elektronowi atomu. Następuje wzbudzenie, w wyniku którego elektron w atomie przechodzi na wyższy poziom energetyczny by wkrótce powrócić do stanu podstawowego emitując kwant, lub kwanty promieniowania. Jeśli do lampy przyłożone zostanie odpowiednio duże napięcie, elektron po utracie prędkości może kontynuować ruch w kierunku anody i po kolejnym rozpędzeniu może znowu utracić energię w zderzeniu z innym atomem. Prowadzi to do powstania maksimów i minimów na wykresie zależności prądu od napięcia polaryzacji oraz do powstawania rozdzielonych obszarów, w których obserwuje się świecenie gazu (o ile energia przejścia energetycznego wzbudzonych atomów na poziom niższy znajduje się w obszarze widzialnym). Typowy zestaw do badania tego zjawiska przedstawia rys.6



Rys. 6. Układ do badania zjawiska Francka-Hertza

Rysunek przedstawia lampę wewnątrz której znajdują się kropelki rtęci. Podgrzanie lampy do temperatury rzędu 170-190 °C powoduje odparowanie rtęci. Lampa zasilana jest napięciem żarzenia służącym do rozgrzania katody, napięciem anodowym przyspieszającym wyemitowane przez rozgrzaną katodę elektrony oraz przyłożonym do siatki napięciem hamującym, które eliminuje z prądu anodowego elektrony posiadające energię mniejszą niż przyłożony potencjał hamownia.

Do pomiaru prądu służy miliwoltomierz zasilany przez wbudowany w układ pomiarowy konwerter (I/V) (prąd/napięcie). Przelicznik konwertera = 10^8 V/A. Zmieniając wartość napięcia przyłożonego pomiędzy anodą a katodą uzyskujemy krzywą, której typowy przebieg ilustruje rysunek7.



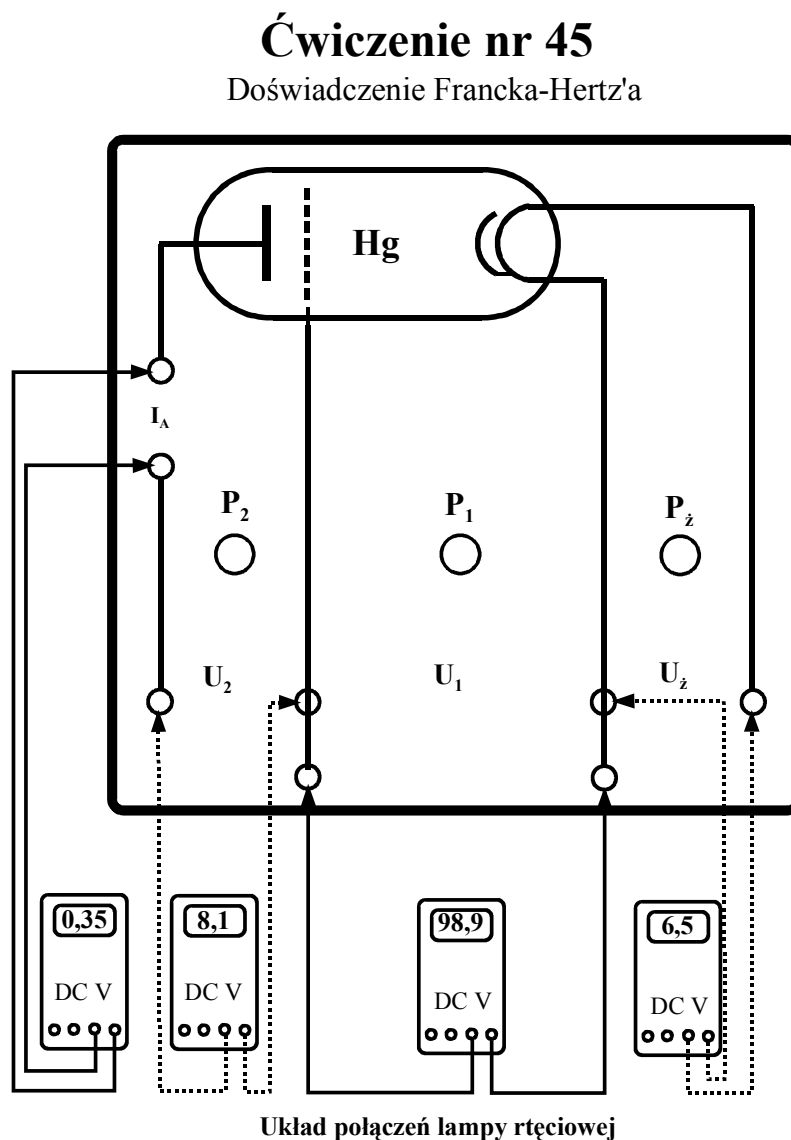
Rys. 7. Prąd anodowy w funkcji napięcia anodowego.

W lampie wypełnionej neonem możemy obserwować świeące obszary, których liczba równa jest liczbie minimów na charakterystyce prądowo-napięciowej. Znajdują się one w miejscach gdzie dochodzi do zderzenia przyspieszanych napięciem anodowym elektronów z atomami neonu prowadzące do wzbudzenia atomu i emisji kwantów światła.

Z powyższego wykresu możemy wyznaczyć energię potrzebną do wzbudzenia atomu. Wyznaczają ją różnice napięć pomiędzy kolejnymi maksimami lub minimami prądu.

Układ pomiarowy

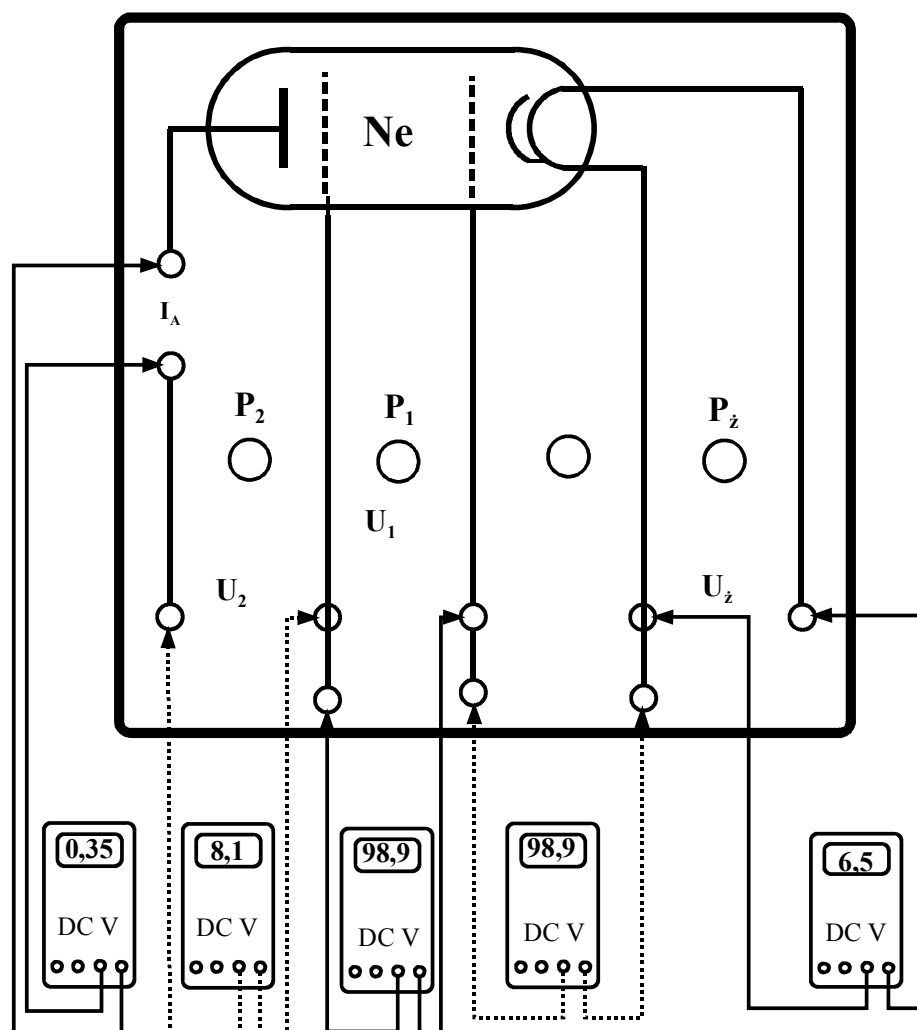
Schemat układu pomiarowego do badania zjawiska Francka-Hertza w lampie wypełnionej parami rtęci prezentuje poniższy rysunek:



Układ pomiarowy dla lampy wypełnionej neonem jest podobny. Lampa posiada dodatkową siatkę ukierunkowującą elektrony w stronę anody, oraz dodatkowo zapewniającą jednorodność pola elektrycznego w obszarze pomiędzy siatkami. Dzięki temu możliwa jest obserwacja wyraźnie rozdzielonych, równoległych, świeących obszarów, w których występują niesprężyste zderzenia elektronów z atomami neonu.

Ćwiczenie nr 45

Doświadczenie Francka-Hertza'a



Układ połączeń lampy neonowej

Badanie prądu lampy rtęciowej

Włączamy grzanie piecyka podłączając go do sieci. Odczekujemy aż temperatura wewnątrz osiągnie wartość w zakresie 180 -190 0C. Ogrzewanie lampy rtęciowej trwa ok. 30-45 min. Ustawiamy napięcie żarzenia U_z oraz napięcia hamowania na U_2 zgodnie z poleceniem prowadzącego. Wykonujemy pomiary zależności prądu anodowego od napięcia pomiędzy anodą i katodą zmieniając wartości napięcia w zakresie od zera do maksymalnej wartości **30 V**.!!!

Powtarzamy pomiary dla różnych wartości napięć hamowania.

Opracowanie wyników

Wykonujemy wykres zależności prądu anodowego od napięcia anodowego. Punkty pomiarowe otaczamy prostokątami niepewności pomiarowych. Dla napięcia możemy przyjąć $\Delta V = 0,1 \text{ V}$, dla prądu $\Delta J = 2 \text{ nA}$. Poprzez pola niepewności prowadzimy gładkie krzywe zależności prądu anodowego od napięcia. Z wykresu wyznaczamy różnicę napięć pomiędzy maksymalnie oddalonymi od siebie maksimumami lub minimumami prądu ΔU_{\min} . Dzieląc to napięcie przez liczbę minimumów/maksimumów pomiędzy tymi skrajnymi napięciami wyznaczmy wartość średnią różnicę napięcia pomiędzy kolejnymi dwoma maksimumami/minimumami. Wartość ta pomnożona przez wartość ładunku elektronu odpowiada energii niezbędnej do wzbudzenia atomu rtęci z poziomu podstawowego do najniższego poziomu wzbudzonego:

$$E=e*\Delta U_{\max}/n \quad \text{lub} \quad E=e*\Delta U_{\min}/n$$

Szacujemy niepewność wyznaczenia energii wzbudzenia jako podwojoną niepewność wyznaczenia maksimum/minimum napięcia ΔV (bo wyznaczamy różnicę pomiędzy dwoma napięciami, z których każde jest wyznaczone z niepewnością ΔV) podzieloną przez liczbę minimów/maksimów i pomnożoną przez wartość ładunku elektronu:

$$\Delta E=e*2*\Delta V/n$$

Materiały pomocnicze:

[1] D. Halliday i R. Resnick; „Fizyka” t.II W – wa, PWN 1984, rozdz. 49-4

[2] T.Dryński, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN 1967

[3] R.G. Keesing, Eur. J. Phys. 1981, p. 139 - 149

Wartości tablicowe stałych fizycznych stosowanych w doświadczeniu:

$$c = 299792458 \text{ m/s}, \quad e = 1,60217733 * 10^{-19} \text{ C}, \quad h = 6,6260755 * 10^{-34} \text{ Js}$$