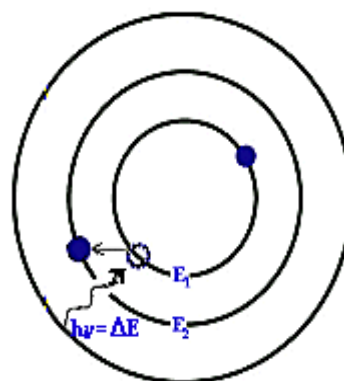


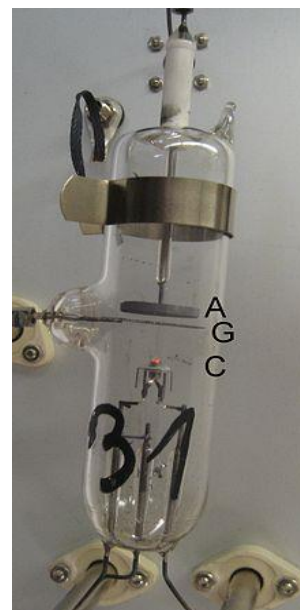
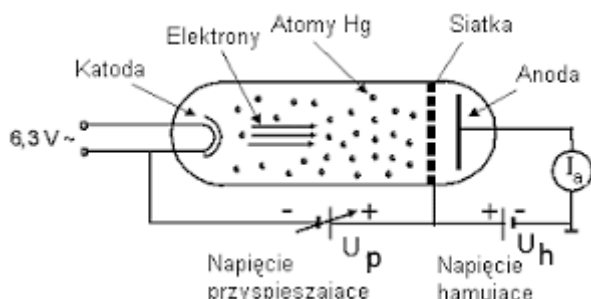
## Doświadczenie Francka-Hertza.

Zgodnie z modelem Bohra atomu wodoru elektron w atomie może posiadać tylko ściśle określone warunkami kwantowymi wartości energii. Nazywamy to stanem stacjonarnym (lub orbitą stacjonarną) elektronu. Będąc na takiej orbicie elektron może zmienić swą energię tylko wtedy, gdy może pobrać z otoczenia (lub oddać do otoczenia) ściśle określoną porcję energii. Porcja ta musi być równa różnicy energii pomiędzy energią, którą elektron właśnie posiada, a wartością energii innego, dozwolonego dla tego elektronu stanu stacjonarnego. Innymi słowy, tak jak to widać na rysunku obok, elektron przeskakuje z jednego poziomu energetycznego dozwolonego (na którym ma energię  $E_1$ ) na inny, wyższy (o energii  $E_2$ ), pobierając porcję energii z zewnątrz. Energia ta może zostać dostarczona na wiele sposobów, np. w postaci kwantu światła o częstotliwości  $\nu$  spełniającej zależność  $h\nu = E_2 - E_1 = \Delta E$  lub (co ma miejsce np. w doświadczeniu Francka-Hertza) w wyniku zderzenia elektronu z innym elektronem uderzającym w atom. Elektron nie może pochłonąć mniejszej ani większej porcji energii niż wynosi różnica energii między poziomami dozwolonymi dla elektronu. Elektrony o innej energii odbijają się po prostu od atomu (zderzenie sprężyste)<sup>(\*)</sup>, przy czym elektrony te praktycznie nie zmieniają energii kinetycznej. Dzieje się tak z powodu znacznej dysproporcji mas elektronu i atomów gazu. Np. w doświadczeniu Francka-Hertza elektrony zderzają się z atomami rtęci  $^{202}_{80}\text{Hg}$ , które są prawie 370 000 razy cięższe od elektronu.



Doświadczenie Francka-Hertza było pierwszym elektrycznym pomiarem potwierdzającym kwantową naturę atomów. W oryginalnym eksperymencie użyto lampy próżniowej podgrzanej do temperatury  $115\text{ }^{\circ}\text{C}$  i wypełnionej odrobiną rtęci. W tej temperaturze rtęć wyparowała, a jej ciśnienie w lampie wynosiło około  $100\text{ Pa}$  ( $\approx 0,001$  ciśnienia atmosferycznego). Na fotografii użytej w doświadczeniu lampy widać elektrody: A- anoda, C- katoda, G- siatka. Uproszczony schemat doświadczenia przedstawia rysunek poniżej:

Źródło: <http://www.fizyka.wip.pcz.pl/docs/labs/fiztech/CW10.pdf>

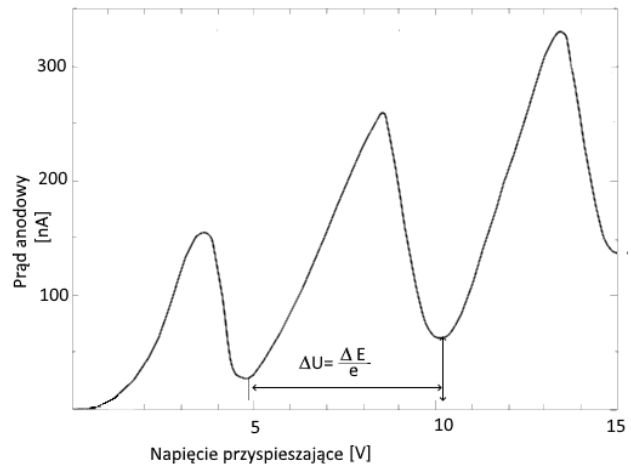


Źródło zdjęcia:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Franck%E2%80%93Hertz\\_experiment](https://en.wikipedia.org/wiki/Franck%E2%80%93Hertz_experiment)

Katoda rozgrzana do wysokiej temperatury emituje powolne elektrony. Do siatki przyłożone jest dodatnie względem katody napięcie  $U_p$ . Napięcie to jest regulowane i służy do przyspieszania elektronów. Do anody z kolei przyłożone jest niewielkie, ujemne względem siatki, napięcie  $U_h$  hamujące elektrony. Elektrony przyspieszone napięciem  $U_p$  przelatują przez siatkę i, jeśli mają wystarczającą do pokonania napięcia hamującego  $U_h$  energię, docierają do anody. Odległości katoda-

siatka oraz siatka-anoda są tak dobrane, aby odległość katoda-siatka była znacznie większa niż odległość siatka-anoda znacznie mniejsza od średniej drogi swobodnej elektronów. Dzięki temu dążące do siatki elektrony zderzają się co pewien czas z atomami rtęci, a na odcinku siatka-anoda takie zderzenie jest mało prawdopodobne.

W miarę zwiększania napięcia przyspieszającego obserwujemy wzrost prądu anodowego od zera do pewnej wartości granicznej, przy której następuje gwałtowny spadek natężenia tego prądu. Przy dalszym zwiększaniu napięcia sytuacja powtarza się tzn. prąd narasta po czym gwałtownie maleje. Sytuację przedstawia wykres obok.

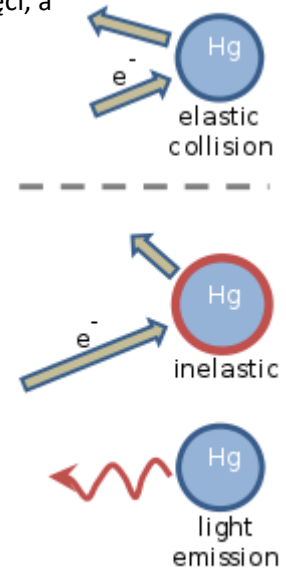


Zjawisko to tłumaczymy następująco:

Atom  ${}_{80}^{202}\text{Hg}$  ma 80 elektronów, ale tylko najbardziej zewnętrzne, elektrony walencyjne z podpowłoki  $6s^2$ , można wzbudzić na wyższy poziom. Tak się dzieje, kiedy dążące do anody elektrony przyspieszane napięciem  $U_p$  osiągną energię  $e \cdot U_p = \Delta E = E_2 - E_1$ , czyli równą różnicy poziomu podstawowego elektronu walencyjnego i pierwszego poziomu wzbudzonego. Wtedy zderzenia z atomami stają się niesprężyste<sup>(\*)</sup> i rozprężony elektron oddaje energię (równą energii wzbudzenia) elektronowi walencyjnemu atomu. Elektron walencyjny przechodzi na poziom wzbudzony, tam przebywa stosunkowo krótko, po czym wraca na poziom podstawowy emitując foton promieniowania ultrafioletowego energii  $\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ . Tak więc dopóki energia elektronów jest mniejsza niż  $\Delta E$  to, pomimo zderzeń z atomami rtęci, nie mogą one przekazać jej elektronom tych atomów i, pokonując niewielkie napięcie hamujące  $U_h$ , docierają bez przeszkód do anody. Rejestrujemy to jako narastające natężenie prądu anodowego. Po zderzeniu elektron, który stracił swoją energię na rzecz elektronu walencyjnego, ma zbyt małą energię kinetyczną, aby pokonać napięcie hamujące między siatką a anodą. Obserwujemy gwałtowny spadek prądu anodowego. Gdy nadal zwiększamy napięcie przyspieszające, elektron zyskuje energię umożliwiającą mu dotarcie do anody. Obserwujemy więc dalszy wzrost prądu anodowego, ale gdy ta energia uzyska wartość wystarczającą do wzbudzenia kolejnego atomu rtęci to następuje znowu zderzenie niesprężyste<sup>(\*)</sup>, wyhamowanie elektronu i kolejny spadek prądu anodowego. Jeśli nadal zwiększamy napięcie przyspieszające, to opisana sytuacja może powtarzać się wielokrotnie. Dzieje się to regularnie, za każdym razem, gdy napięcie przyspieszające wzrośnie o około 4,9 V, gdyż energia wzbudzenia elektronu walencyjnego w atomie rtęci wynosi 4,88 eV.

Z wykresu można wyznaczyć energię wzbudzenia mierząc różnice napięć między kolejnymi minimumami prądu anodowego.

(\*)Różnicę między zderzeniem sprężystym elektronu z atomem rtęci, a zderzeniem niesprężystym, w którym elektron zderzający się traci energię, przedstawia rysunek obok. Proszę zauważyć, że w tym przypadku energia pobrana przez atom rtęci (a dokładniej przez elektron walencyjny tego atomu) zostaje oddana w postaci kwantu promieniowania (fotonu). Na rysunku długość strzałek obrazuje wielkość energii (ewentualnie pędu) elektronu.



(Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Franck%E2%80%93Hertz\\_experiment](https://en.wikipedia.org/wiki/Franck%E2%80%93Hertz_experiment))