

Kwadrupol

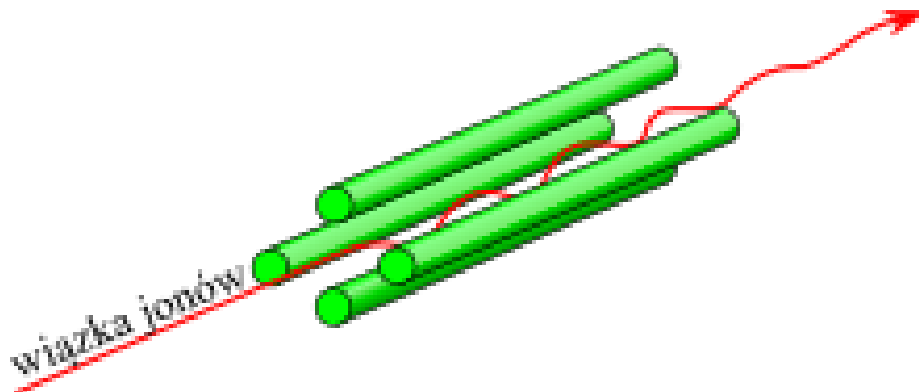
Mateusz Krakowski
Kamil Strójkwaś

Czerwiec 2023

1 Wstęp

Celem naszego projektu w ramach przedmiotu FO (Fizyka Ogólna) było stworzenie kwadrupola, czyli analizatora mas jonów. Kwadrupol to przyrząd działający jako filtr masy, przepuszcza tylko jony o odpowiednim stosunku masy do ładunku elektrycznego.

Przyrząd ten jest zwyczajowo zbudowany z czterech prętów, dwóch naładowanych sumą napięcia zmiennego i stałego które służą jako offset. Na przeciwnych prętach jest ta sama biegunowość, pręty oddzielone są od siebie w odległości $2r_0$ od siebie. Biegunowość na prętach jest zmienna w czasie t z okresem ω , zmienia się z ujemnej w dodatnią i z dodatniej w ujemną.



2 Działanie kwadrupola

Do kwadrupola wpada jon. W zależności od jego masy m i ładunku $n \cdot e$ gdzie $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$, będzie on się w kwadrupolu poruszał w kierunku prętów z różną prędkością, małe jony ruszają się szybko podczas gdy te duże poruszają się znacznie wolniej. W zależności od częstości zmian biegunowości na kwadrupolu, różne jony będą różnie reagować na te zmiany, jeżeli masa jonu jest odpowiednia,

będzie się on utrzymywać mniej więcej w odległości r_0 pomiędzy oboma prętami wykonując ruch sinusoidalny. Amplituda tego ruchu zależy od ładunku i od masy danej cząsteczki. Takie jony nazywane są stabilnymi, gdyż przejdą przez całą długość prętów wewnątrz kwadrupola. Jony niestabilne będą wylatywać poza przyrząd, właśnie z tego powodu przyrząd ten używany jest do filtrowania jonów.

Zarówno pręty w osi X jak i te w osi Y służą do filtracji jonów których nie chcemy.

3 Opis matematyczny

Poruszające się jony podlegają działaniu pola elektrycznego który się składa się z pola zmiennego wewnątrz kwadrupola nałożonego na pole stałe. Napięcie przyłożone do prętów można wyrazić następującym wzorem:

$$\Phi_O = \pm(U - V\cos(\omega t))$$

Gdzie U to napięcie stałe, V to amplituda napięcia o częstotliwości radiowej. Jony są poddawane przyspieszeniu względem osi X i Y w wyniku działania sił w polu elektrycznym zgodnie z drugą zasadą dynamiki Newtona:

$$F_x = ma_x = m \frac{d^2x}{dt^2} = -ze \frac{\partial \Phi}{\partial x}$$

$$F_y = ma_y = m \frac{d^2y}{dt^2} = -ze \frac{\partial \Phi}{\partial y}$$

Równania te można przekształcić do równań Mathieu:

$$\frac{d^2x}{d\zeta^2} + (a_u - 2q_u \cos(2\zeta))x = 0$$

$$\frac{d^2y}{d\zeta^2} + (a_u - 2q_u \cos(2\zeta))y = 0$$

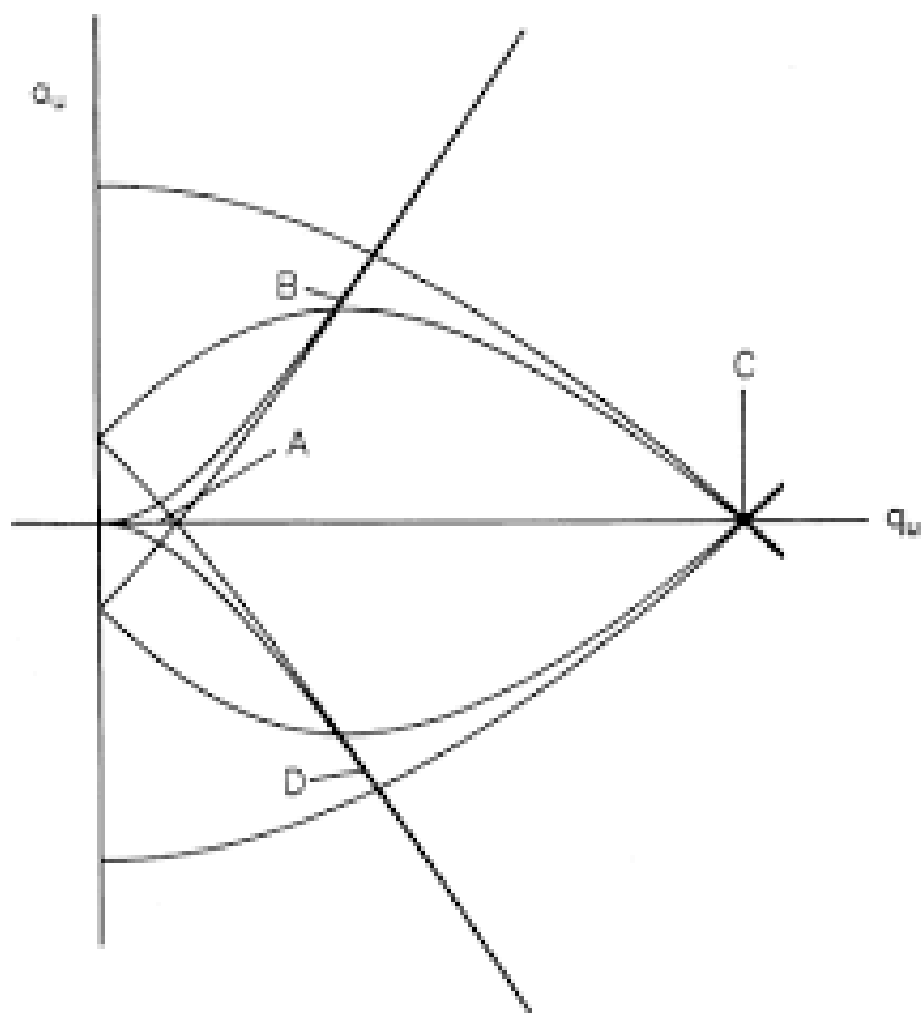
Gdzie:

$$\zeta = \frac{\omega t}{2}$$

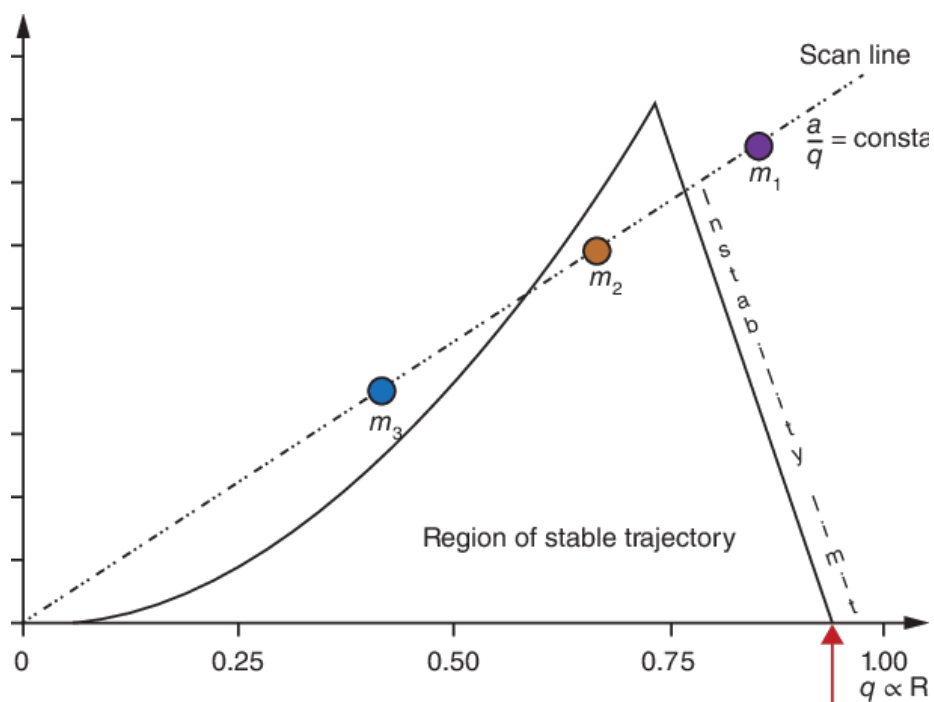
$$a_u = \frac{8neU}{mr_0^2\omega_0^2}$$

$$a_u = \frac{4neV}{mr_0^2\omega_0^2}$$

Część wspólna wykresów rozwiązań obu równań to obszary stabilności w których jon o zadanej masie i ładunku będzie przechodził przez kwadrupol.



Można wybrać dowolny z tych obszarów, interesować nas będzie najbardziej obszar A, głównie jest dodatnia strona.



Widać tutaj diagram stabilności, linia będąca stałą $\frac{a}{q} = \frac{2U}{V}$ pokazuje jakie jony będą stabilne. W przypadku tego diagramu, jedynym stabilnym jonem będzie m_2 gdyż on jako jedyny znajduje się w środku obszaru stabilności.