

Metody liniowe wielkiej częstotliwości

Streszczenie

Artykuł ten przedstawia trzy najważniejsze metody liniowe wielkiej częstotliwości do przyspieszania cząstek. Uwzględniono w nim budowę układów przyspieszających, jak i wady i zalety z nich wynikające.

Słowa kluczowe: metoda przyspieszania liniowego w.cz. Wideröe, metoda przyspieszania liniowego w.cz. Alvareza

Wprowadzenie

Media ciągle zaskakują nas swoimi usługami: co raz lepszy obraz, szybsze odświeżanie, a wszystko to dzięki rozwojowi radiotechniki. Szybki rozwój techniki radarowej (radiolokacyjnej i telewizyjnej) jest możliwy dzięki możliwości co raz szybszego przyspieszania cząstek naładowanych za pomocą pola elektromagnetycznego wielkiej częstotliwości (w.cz.). Metody te wykorzystywane są również do przyspieszania cząstek np. elektronów, ciężkich jonów. Istnieje wiele różnych metod przyspieszania liniowego w.cz.. Najpopularniejsze to Wideröe i Alvareza. Inne metody stosuje się do cząstek lekkich takich jak elektrony. Metody w.cz. w stosunku do metod wysokich napięć pozwalają na wielokrotne wykorzystanie napięcia do przyspieszenia cząstek, dzięki czemu zyskują dużą efektywność.

Metoda przyspieszania liniowego w.cz. Wideröe [1, 2]

Na początku XX wieku szwajcarski uczyony Wideröe przyspieszył w urządzeniu własnej konstrukcji (Rys. 1) jony potasu K. Układ ten składa się z trzech elektrod (elektrody dryftowe) z których dwie skrajne były uziemione, zaś środkowa była zasilana generatorem o częstotliwości 1MHz i o amplitudzie 25V. W układzie tym musi być spełniony warunek:

$$\frac{d}{v} = \frac{1}{2f} \quad (1)$$

lub

$$d = \frac{\beta \lambda_0}{2} \quad (2)$$

gdzie:

f – częstotliwość generatora w.cz. [Hz]

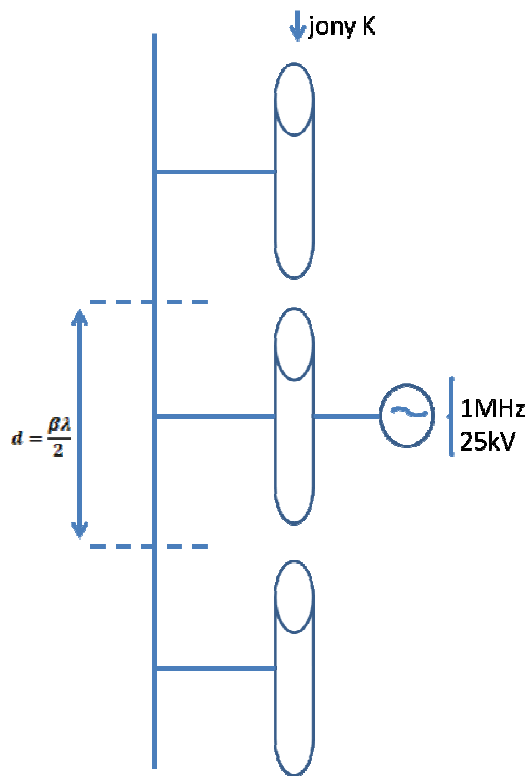
v – prędkość jonów [$\frac{m}{s}$]

β – prędkość względna, opisana wzorem (3):

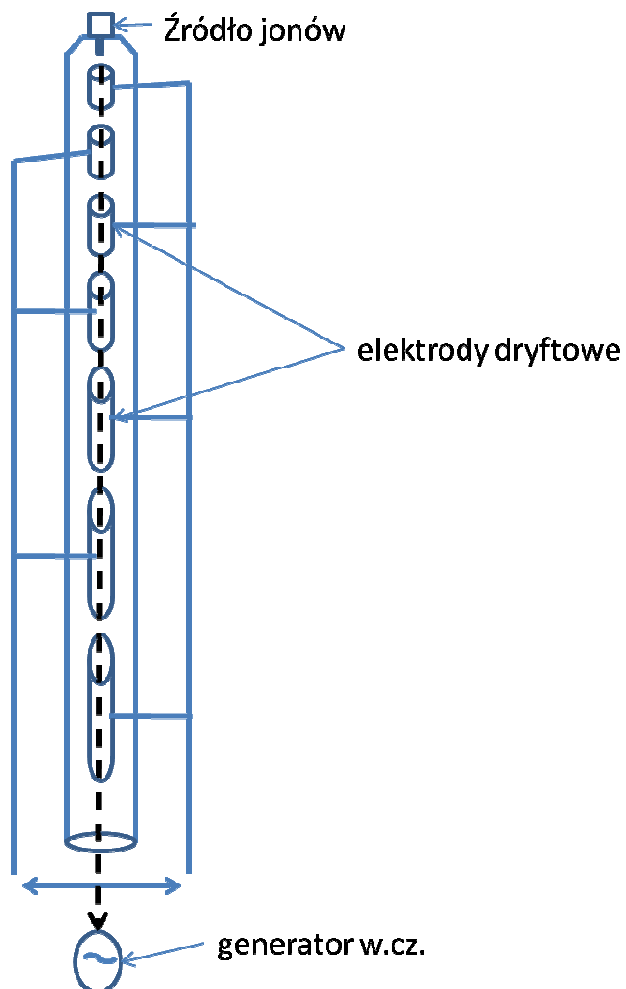
$$\beta = \frac{v}{c} \quad (3)$$

λ_0 – długość fali w przestrzeni międzyelektrodowej, odpowiadającej częstotliwości f [nm]

Obecnie układ przyspieszający Wideröe ma inną postać (Rys. 2). Zbudowany jest z elektrod o narastającej długości. Metoda ta polega na akceleracji cząstek w torze, którego kolejne części mają potencjał przyciągający cząstkę. Ponieważ dla wysokich częstotliwości pojawiają się efekty mikrofalowe, konieczne jest zastosowanie ekranowania i doboru modu rozchodzenia się fal przyspieszających. Metoda ta stosowana jest tylko dla cięższych cząstek – nie nadaje się do przyspieszania elektronów.



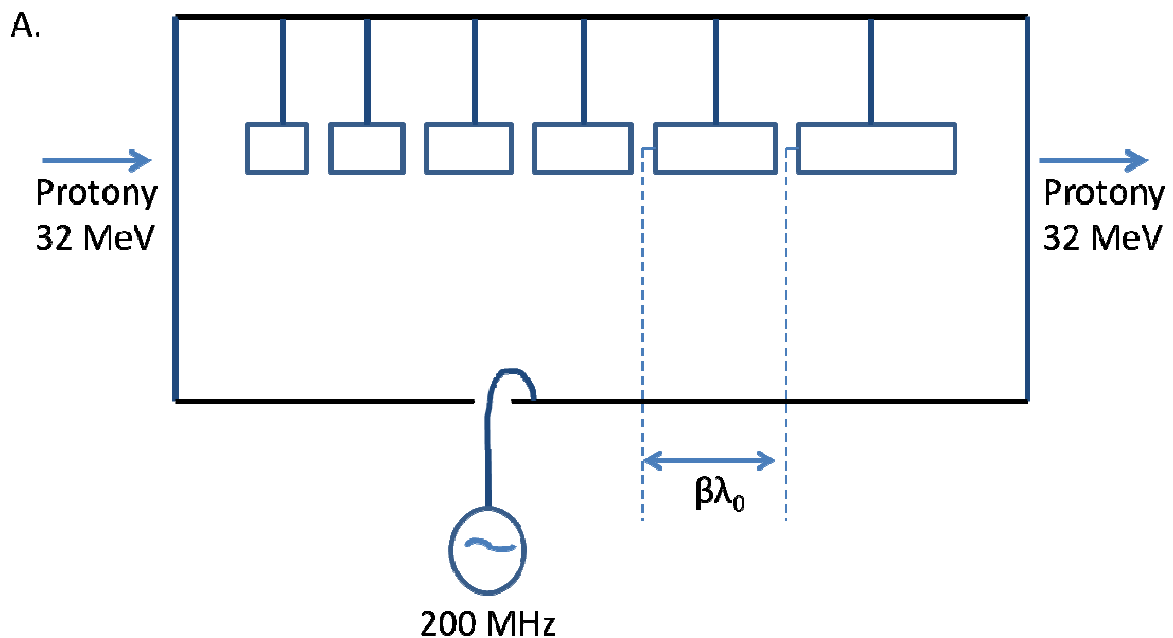
Rys. 1 Układ doświadczalny Wideröe do przyspieszania liniowego w.cz. jonów dodatnich



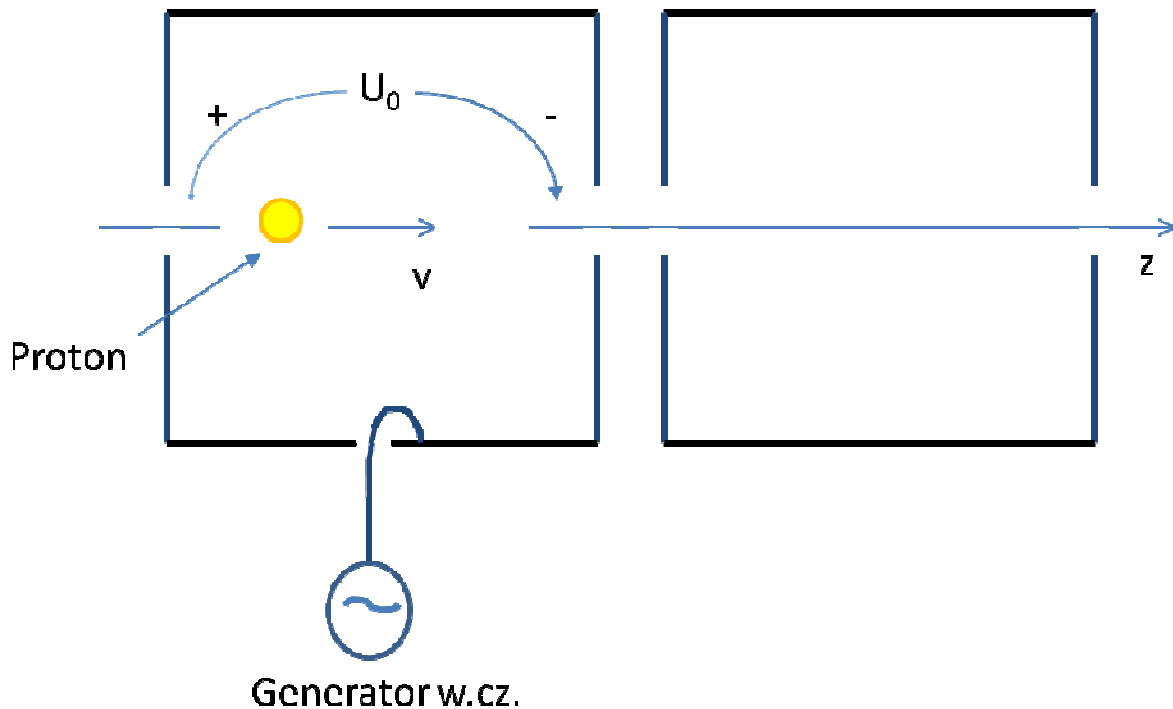
Rys. 2 Układ elektrod do przyspieszania liniowego jonów

Metoda przyspieszania liniowego w.cz. Alvareza [1]

Dwadzieścia lat później Alvarez przyspieszył protony do energii 32MeV w akceleratorze zasilanym generatorem radarowym częstotliwości 200 MHz. Jednak metoda ta różni się znacząco od poprzednio omówionej metody. Układ Alvareza (Rys. 3) składa się z zespołu rezonatorów zasilanych napięciem w.cz. o tej samej fazie. Każdy rezonator posiada różnicę napięć (potencjał), czyli wnętrza rezonatora stanowi główną jednostkę przyspieszającą. Brzegi rezonatorów posiadają cylindryczne elektrody dryfowe o odpowiedniej długości, co pozwala na ekranowanie cząstki przed hamującym działaniem pola. Dodatkową różnicą pomiędzy metodą przyspieszania Wideröe a metodą przyspieszania Alvareza, że elektrody w tej pierwszej metodzie wzdłuż całej długości miały stały, ten sam potencjał, zaś w drugiej elektrody te stanowią część rezonatorów, co powoduje zmienność napięć. Ta zmiana pozwoliła na uzyskanie fali stojącej, która zapewnia przyspieszenie cząstek. Układ ten służy jedynie do przyspieszania ciężkich cząstek.



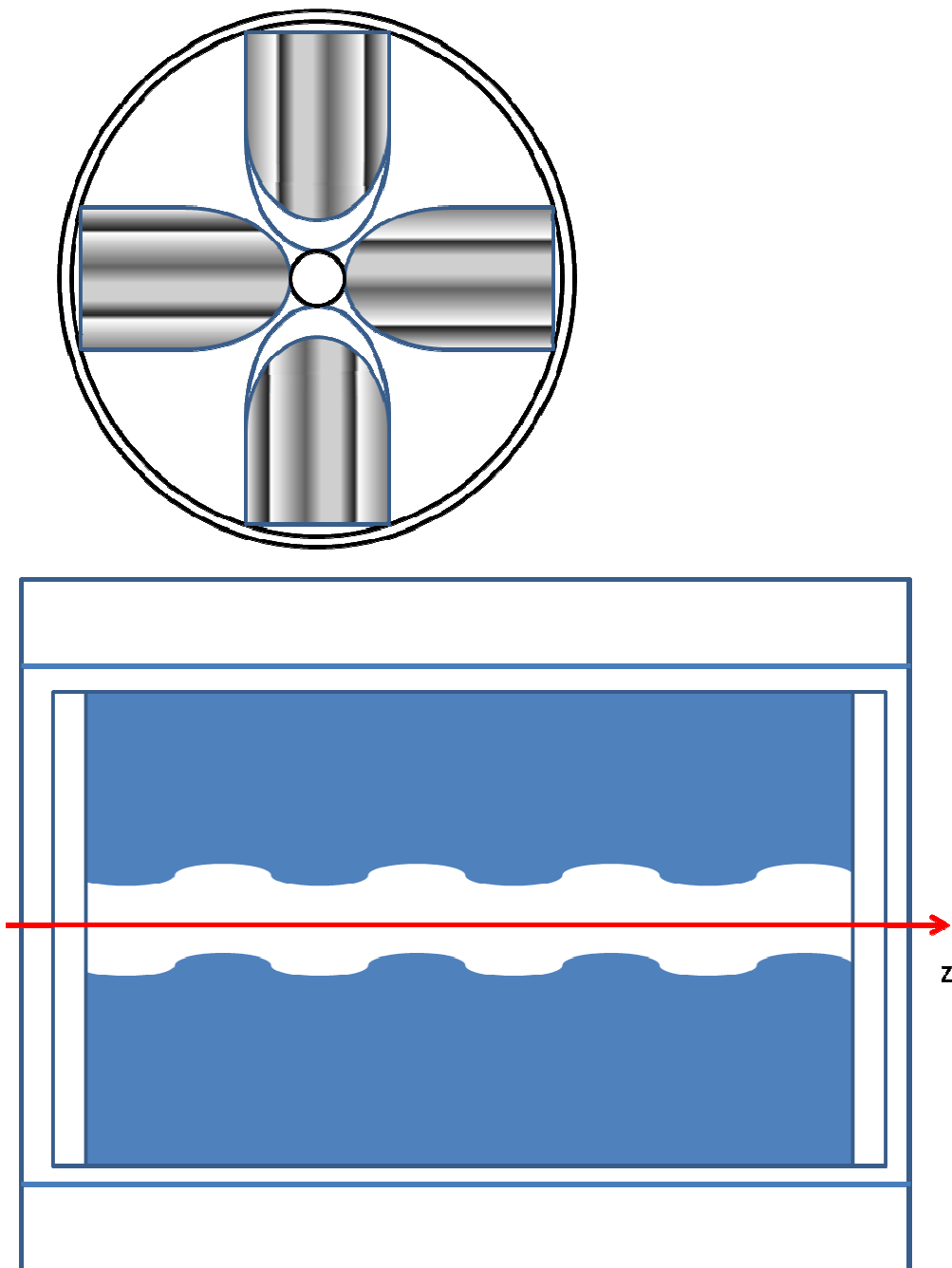
B.



Rys. 3 Układ Alvareza do przyspieszania liniowego w.cz. jonów: A. schemat doświadczalny; b. rozkład potencjałów w rezonatorze

Metoda kwadrupoli w.cz. [1, 2]

Metoda kwadrupoli wysokich częstotliwości została odkryta najpóźniej. Układ do tej metody posiada rezonator w.cz. o symetrii odpowiadającej symetrii kwadrupoli magnetycznych. Stąd też nazwa metody - metoda kwadrupoli wysokich częstotliwości została, często oznaczana jest skrótem – RFQ (*Radio frequency quadrupole*). Rezonator w tym układzie posiada poza funkcją przyspieszającą również własność ogniskowania strumienia i grupowania wiązki. Ogniskowanie zapewnia poprzeczny gradient elektryczny (efektywny nawet przy bardzo małych prędkościach jonów). Tor zbudowany jest z czterech prowadnic o specjalnie przygotowanych kształtach dzięki czemu występują wzdłużne zmiany gradientu pola zapewniające przyspieszanie i skupianie cząstek.



Rys. 4. Schemat rezonatora kwadrupolowego (RFQ) wyposażony w cztery prowadnice powodujące wzdlużne zmiany poprzecznego gradientu pola, wytwarzające wzdlużną składową elektryczną, zapewniającą przyśpieszenie i grupowanie cząstek.

W metodzie tej protony lub ciężkie jony można od kilku keV do kilku MeV. Układy RFQ są najczęściej obecnie stosowanymi przyśpieszaczami (często jako wstęp do dalszego przyśpieszania). Dzięki tej metodzie można przyspieszać cząstki o małych energiach, a tym samym małych prędkościach ($\beta < 0,04$).

Podsumowanie

Do najważniejszych metod liniowych wielkiej częstotliwości przyśpieszania cząstek: metoda przyśpieszania liniowego w.c.z. Wideröe i Alvareza oraz metoda kwadrupolowa. Wszystkie z tych metod wykorzystywane są w akceleratorach biomedycznych.

Literatura

[1] <http://www.ha.physik.uni-muenchen.de>

[2] W. Scharf. 1994. Akceleratory biomedyczne. Wydawnictwo Naukowe PWN