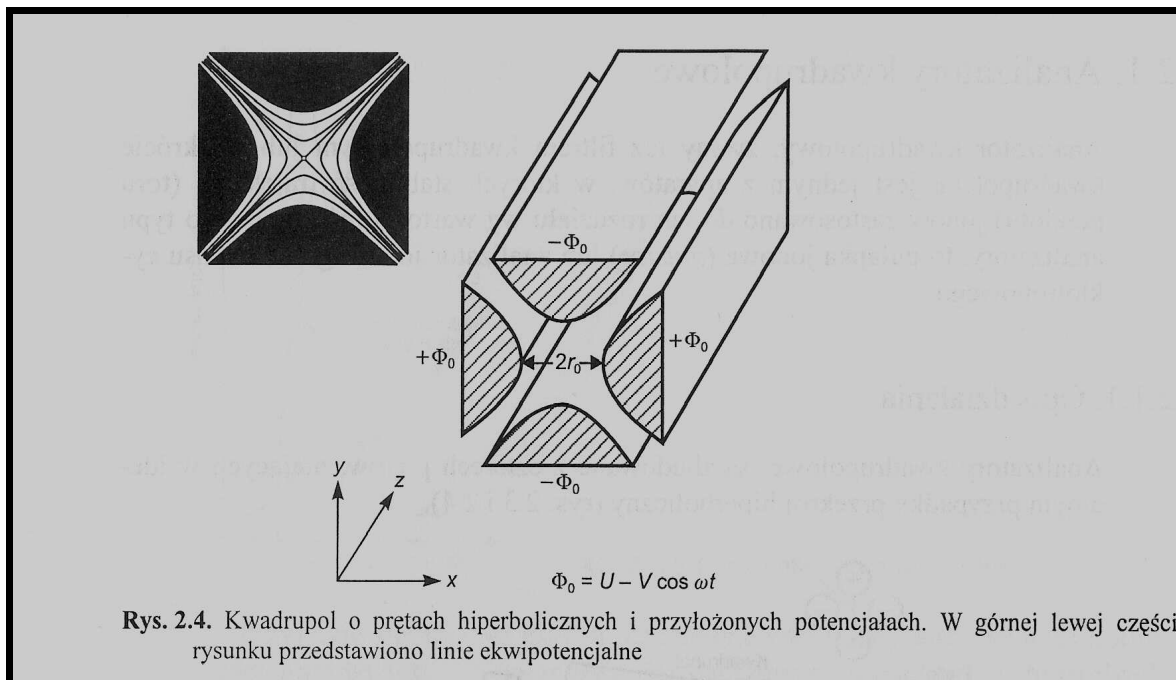
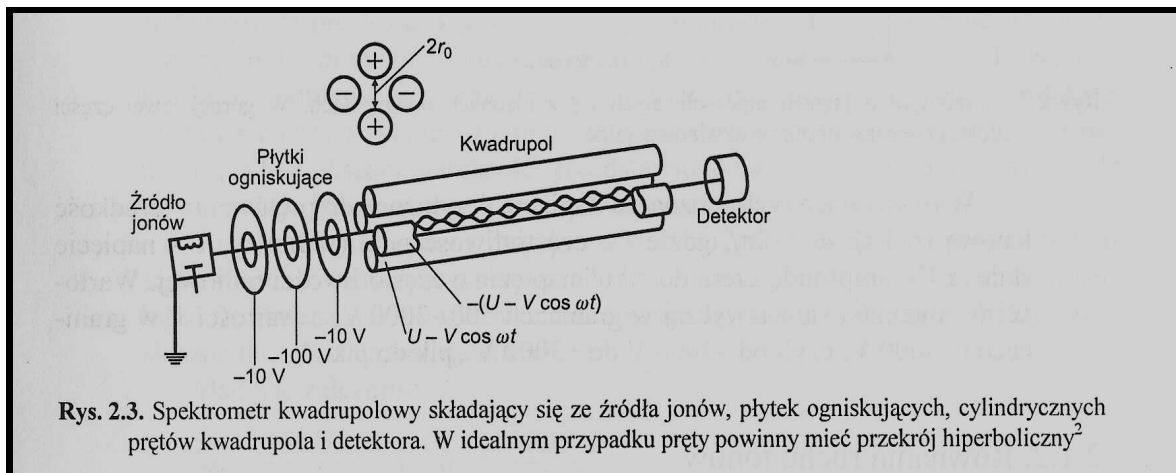


Analizatory kwadrupolowe

Analizator kwadrupolowy, zwany też filtrem kwadrupolowym lub w skrócie kwadrupolem, jest typem analizatora w którym stabilność trajektorii jonów wykorzystano do ich rozdzielenia wg wartości m/z . Inne tego typu analizatory, to pułapka jonowa (*quistor*) lub analizator jonowego rezonansu cyklotronowego.

Analizatory kwadrupolowe są zbudowane z czterech prętów, mających w idealnym przypadku przekrój hiperboliczny



Jon dodatni, poruszający się między prętami, będzie przyciągany przez pręt o ładunku ujemnym. Jeżeli potencjał pręta zmieni znak zanim jon ulegnie rozładowaniu, spowoduje to zmianę kierunku ruchu jonu. Zasada działania analizatora kwadrupolowego została opisana przez Paula i Steinwedela z Uniwersytetu w Bonn w 1953 r.

Jony poruszające się wzdłuż osi z podlegają działaniu pola elektrycznego, składającego się z kwadrupolowego pola zmiennego nałożonego na pole stałe, co wynika z przyłożenia do prętów odpowiednich potencjałów

$$\phi_o = +(U - V\cos\omega t)$$

$$\phi_o = -(U - V\cos\omega t)$$

W równaniach tych ϕ_o oznacza napięcie przyłożone do prętów, ω - prędkość kątowna (rad/s); $\omega=2\pi f$, gdzie f - częstotliwość pola (radiowa); U – napięcie stałe; V - amplituda napięcia o częstotliwości radiowej. Wartości U zmieniają się zazwyczaj w granicach 500-2000 V, a wartości V w granicach 0-3000 V, czyli od -3000 V do +3000 V "pik do pik".

Jony przyspieszane wzdłuż osi z są wprowadzane między pręty kwadrupola i zachowują swoją prędkość w kierunku tej osi. Względem osi x i y są one poddawane przyspieszeniom wynikającym z sił działających w polu elektrycznym zgodnie z równaniami:

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

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

gdzie m oznacza masę jonu a $q=ze$ jego ładunek elektryczny.

Równania powyższe mogą być przekształcone do postaci:

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

gdzie:

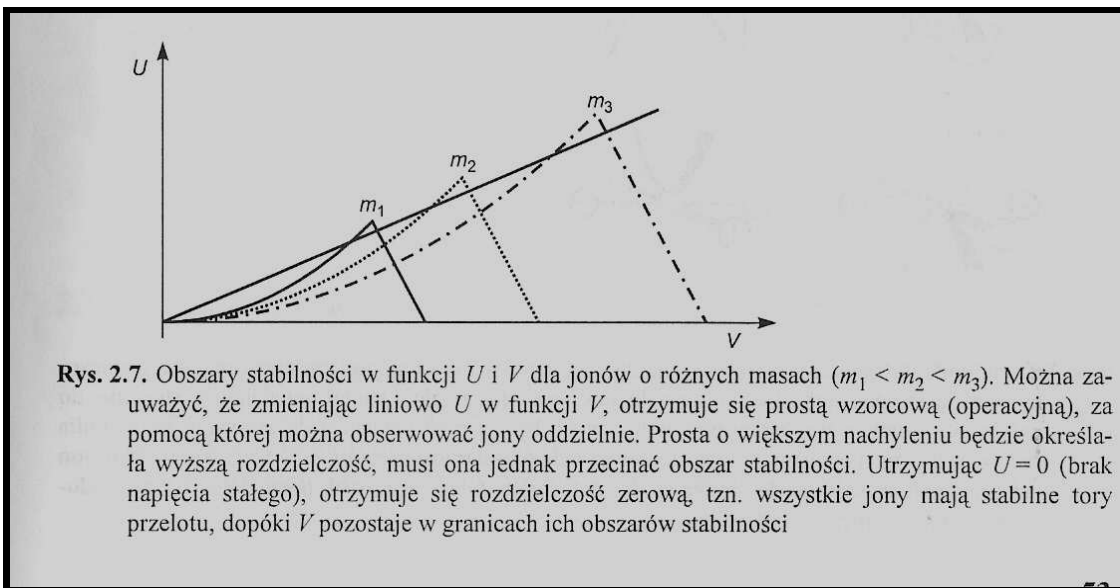
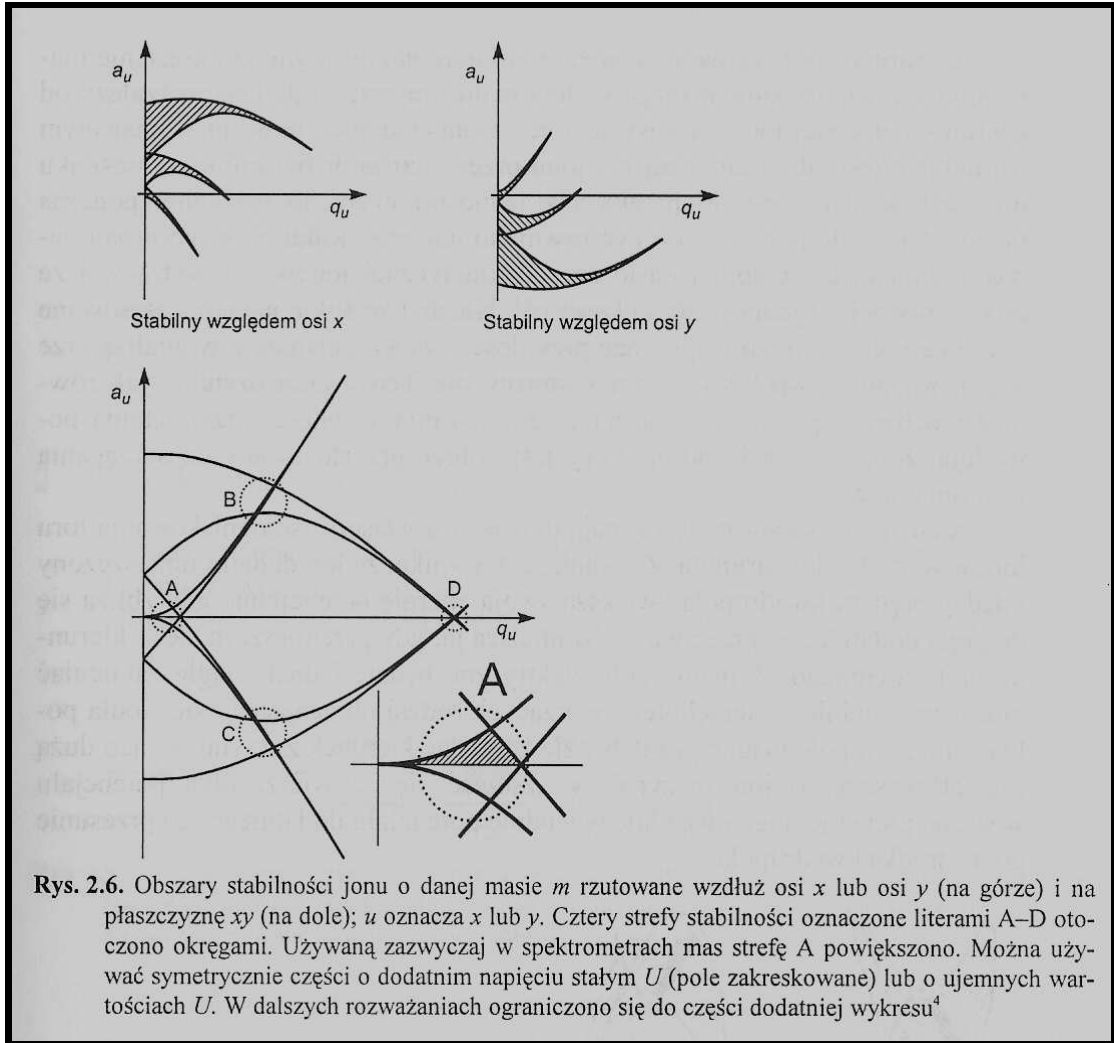
$$\eta = \frac{\omega t}{2}$$

$$a_u = \frac{8zeU}{mr_o^2\omega^2}$$

$$q_u = \frac{4zeV}{mr_o^2\omega^2}$$

W danym kwadrupolu r_o jest wielkością stałą; jest również utrzymywana stała wartość prędkości kątowej $\omega=2\pi f$, natomiast U i V są zmienne. Dla jonu o danej masie m można określić zmiany x i y w czasie w funkcji U i V . Na wykresie a_u w funkcji q_u można wskazać obszary stabilności, czyli strefy o takich wartościach U i V , gdzie x i y nie osiągną w czasie wartości wyższych lub równych r_o .

Obszary stabilności (zakreskowane) zaznaczono na rysunku poniżej dla różnych wartości parametrów a_u i q_u . Przejście od jednej wartości masy m do innej spowoduje proporcjonalne zmiany a_u i q_u , co z kolei zmieni proporcje rysunku. Strefa A, o kształcie zbliżonym do trójkąta, będzie zatem zmieniać swoją wielkość, lecz nie kształt, tak jak trójkąty podobne. Na rysunku poniżej przedstawiono wykres zależności U od V dla strefy A różnych wartości mas jonów.

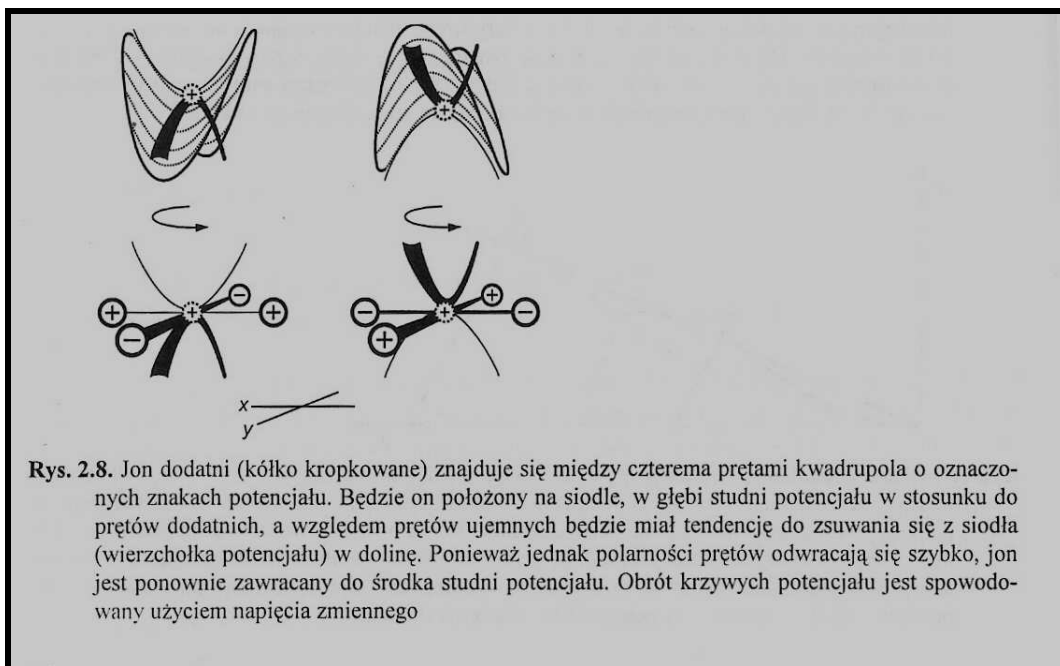


Pracując na analizatorze kwadrupolowym nie można rejestrować większych wartości masy niż 4000 Da oraz uzyskać rozdzielczości przekraczającej 3000 Da. Oznacza to, że powyżej masy 3000 Da jony molekularne nie będą wystarczająco dobrze rozdzielone od swoich jonów izotopowych. Jon molekularny i jego jony izotopowe tworzą razem *masyw izotopowy*, czyli grupę jonów.

Rozdzielczość, którą można uzyskać w kwadrupolu umożliwia rozdzielenie jonów różniących się o jednostkę masy. Spektrometry z analizatorem kwadrupolowym są zatem aparatami o małej rozdzielczości. Ponieważ pracują one przy stałej wartości δm , to przemiatanie może być prowadzone ze stałą szybkością w całym mierzonym zakresie mas, w odróżnieniu od spektrometrów z sektorem magnetycznym, wymagających wykładniczej zmiany prędkości przemiatania.

Kwadrupol jest typowym analizatorem ukierunkowanym na określanie masy jonów, a wygląd otrzymanego widma w dużym przedziale mas nie zależy od energii kinetycznej jonów po wyjściu ze źródła. Jedynym wymaganym warunkiem jest, aby czas przejścia jonu przez analizator był krótki w stosunku do czasu koniecznego do przejścia z jednostki masy do następnej podczas przemiatania, ale powinien on być równy co najmniej kilku okresom drgań napięcia zmiennego. Odpowiada to energii kinetycznej jonów wychodzących ze źródła, równej od jednego do kilkuset eV. Niezbyt wysokie napięcia stosowane w źródle jonów umożliwiają pracę przy dość wysokim ciśnieniu w analizatorze w porównaniu ze spektrometrami sektorowymi. Ten ostatni czynnik, jak również możliwość prostego i znacznego zwiększania szybkości przemiatania powodują, że analizator kwadrupolowy jest dobrze przystosowany do sprzęgania z chromatografami.

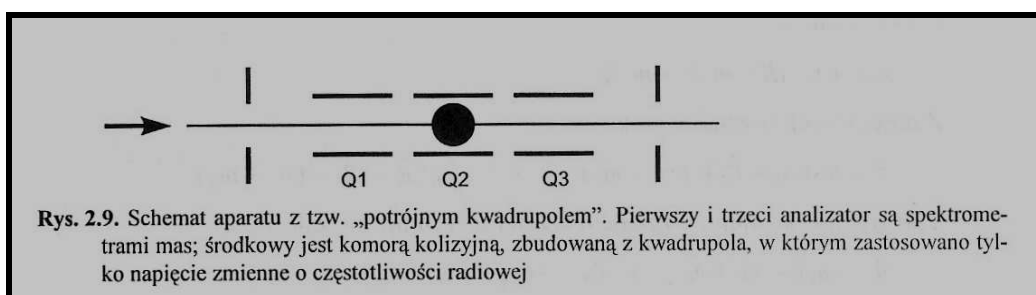
Analizatory kwadrupolowe mają dodatkową właściwość ogniskowania toru jonów w środku kwadrupola. Jon dodatni umieszczony między prętami kwadrupola zwiększa swoją energię potencjalną, gdy zbliża się do pręta dodatniego i przeciwnie - zmniejszają, gdy przemieszcza się w kierunku pręta ujemnego. Zmienne pole elektryczne będzie jednak ciągle zamieniać miejscami studnię i wierzchołek, tworzących rodzaj obracającego się siodła potencjału.



Jeśli pole magnetyczne będzie zmieniać kierunek z wystarczająco dużą częstotliwością, to jon zaczynający "zsuwać się" z wierzchołka potencjału w stronę pręta ujemnego wpadnie w studnię potencjału dodatniego, co przesunie go do środka kwadrupola.

ANALIZATORY O WIELU KWADRUPOLACH

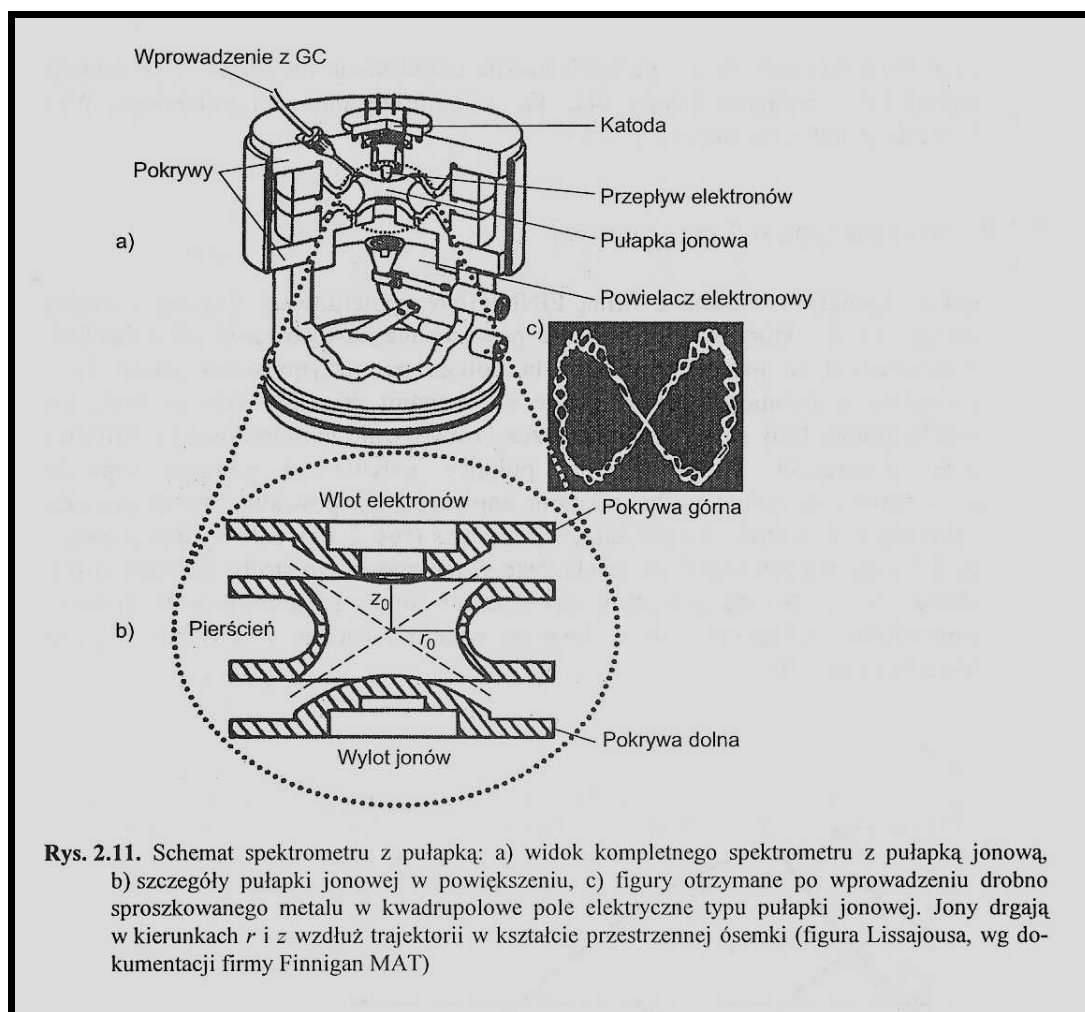
Ogólny schemat spektrometru o wielu kwadrupolach przedstawiono na rysunku poniżej. Do środkowego kwadrupola (Q2) można wprowadzić gaz kolizyjny pod takim ciśnieniem, że jon wchodzący do analizatora ulegnie jednemu lub wielu zderzeniom. Niektóre spektrometry składają się z wielu połączonych szeregowo analizatorów, rozdzielonych jedną lub kilkoma komorami kolizyjnymi.



KWADRUPOLOWA PUŁAPKA JONOWA

Paul i Steinwedel, którzy wcześniej wynaleźli analizator kwadrupolowy, w 1960 r. opatentowali pułapkę jonową (*ion trap*). Jest ona zbudowana z elektrody o kształcie zbliżonym do torusa, przykrytej z obu stron sferycznymi pokrywami. Pułapka jonowa jest w zamyśle kwadrupolem kołowym, którego wewnętrzny pręt zmniejszono do fikcyjnego punktu, pręt zewnętrzny przekształcił się w okrąg, a pręty górny i dolny - w pokrywy.

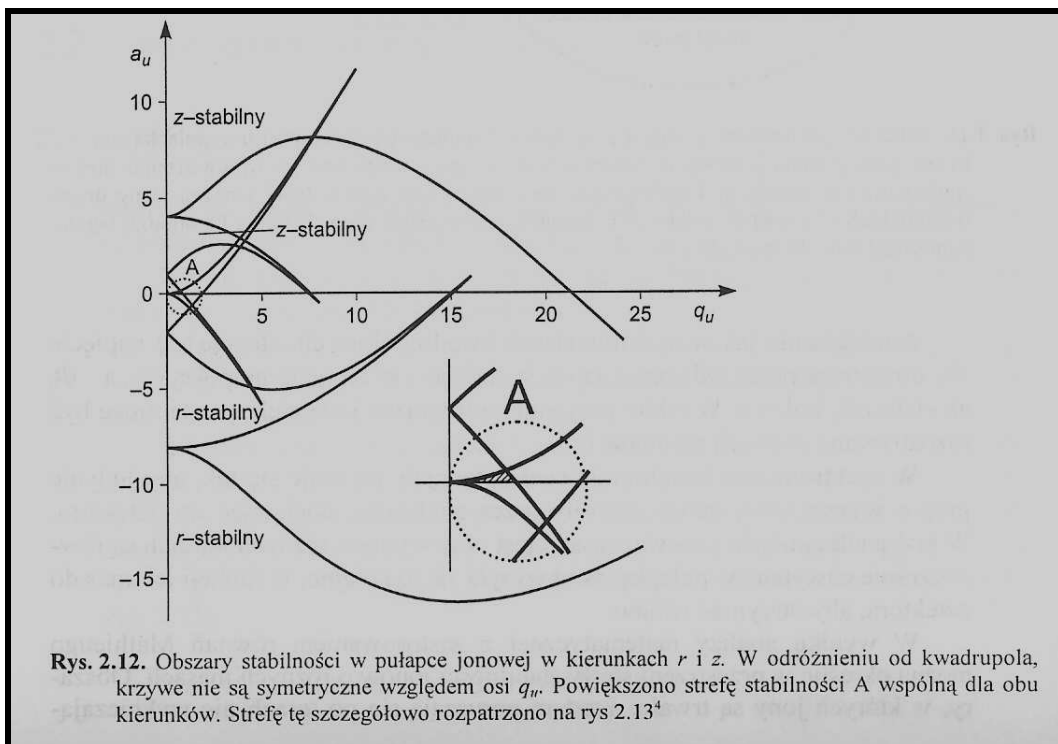
Nakładanie się napięć stałych i zmiennych na elektrodach pułapki umożliwia uzyskanie rodzaju "trójwymiarowego analizatora kwadrupolowego", w którym jony są utrzymywane ("złapane") na trajektorii w formie trójwymiarowej ósemki. Wynalazcy zaproponowali użycie pułapki jonowej jako spektrometru z detekcją za pomocą częstotliwości rezonansowych.



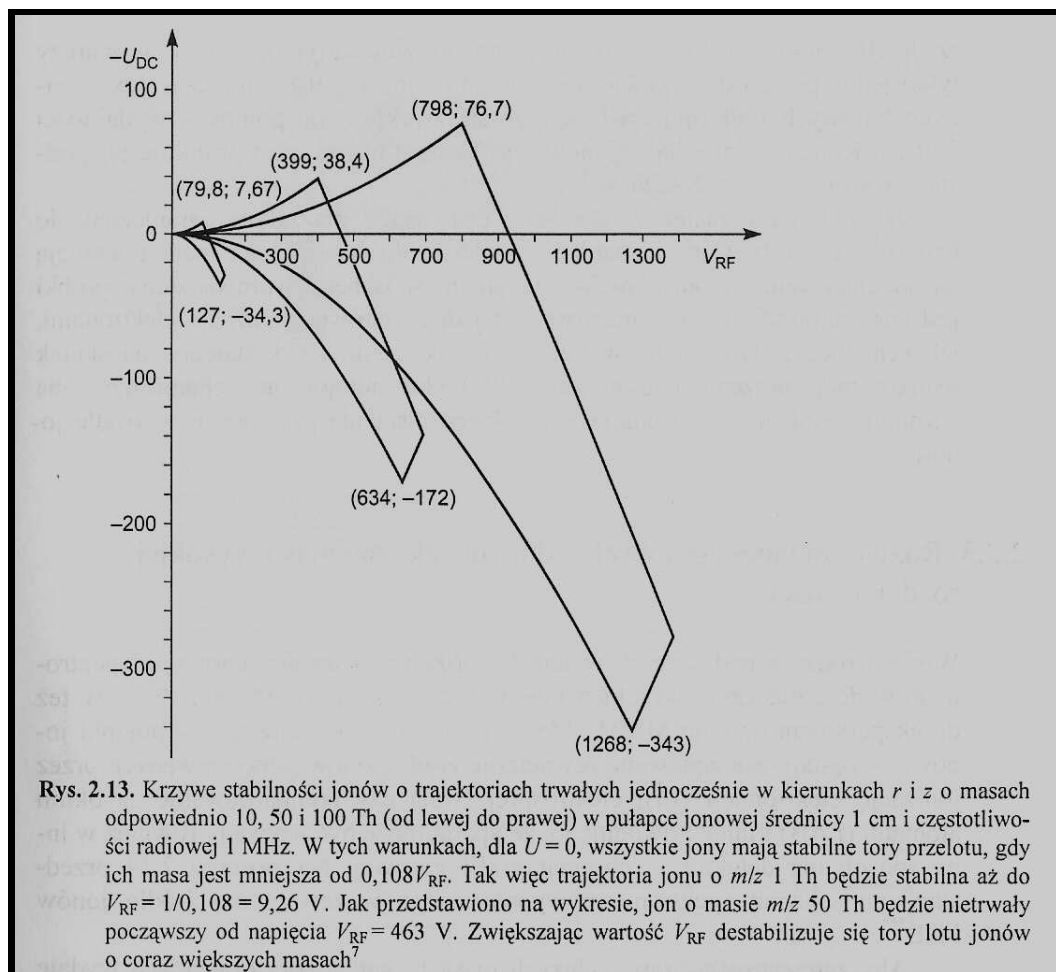
Analogicznie jak w spektrometrach kwadrupolowych, stosuje się napięcie Φ_0 , otrzymane przez nałożenie napięcia stałego i zmiennego na pokrywy, a $-\Phi_0$ na elektrodę kołową. W takim przypadku otrzymane pole elektryczne może być rozpatrywane w trzech wymiarach.

W spektrometrze kwadrupolowym potencjały reguluje się tak, aby jedynie jony o wyznaczonej masie przeszły przez analizator, docierając do detektora. W przypadku pułapki jonowej zasada jest inna - jony o różnych masach są równocześnie chwytaone w pułpkę, skąd wysyła się je kolejno, w funkcji ich mas do detektora, aby otrzymać widmo.

W wyniku analizy matematycznej z wykorzystaniem równań ruchu jonów można określić w przestrzeni strefy stabilności jonów o różnych masach. Obszary, w których jony są trwałe, a zatem poruszają się po torach nie wykraczających poza wymiary r_0 i Z_0 pułapki, można przedstawić na wykresie w funkcji wartości U - napięcia stałego, oraz V_{RF} - amplitudy napięcia zmiennego:



Rys. 2.12. Obszary stabilności w pułapce jonowej w kierunkach r i z . W odróżnieniu od kwadrupola, krzywe nie są symetryczne względem osi q_u . Powiększono strefę stabilności A wspólną dla obu kierunków. Strefę tę szczegółowo rozpatrzono na rys 2.13⁴



PUŁAPKA JONOWA JAKO DETEKTOR W CHROMATOGRAFII GAZOWEJ

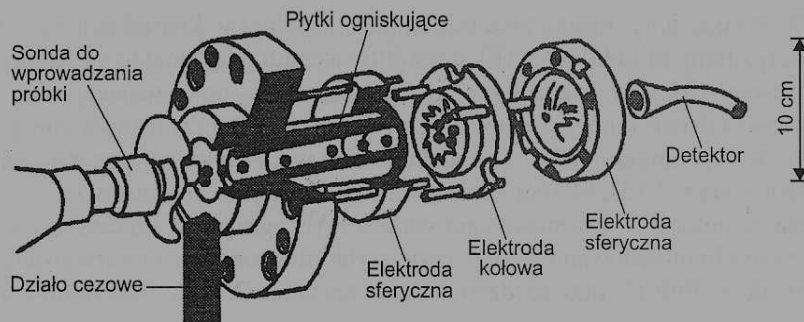
Grupa badaczy związana z firmą FINNIGAN opatentowała wariant opisanej wyżej metody, który znalazł obecnie powszechne zastosowanie jako detektor w chromatografii gazowej. Metoda ta polega na otrzymywaniu jonów bezpośrednio w pułapce przez jonizację elektronami. Jony są wytwarzane przez krótkotrwałe bombardowanie strumieniem elektronów i chwywane w pułapkę jedynie za pomocą napięcia o częstotliwości radiowej. Przemiatanie napięciem V_{RF} powoduje ich uwalnianie z pułapki w kolejności zwiększających się mas. Jak wynika z rysunku 2.12, można zauważyć, że wychodząc w ten sposób ze strefy stabilności dochodzi się do obszaru, w którym tory przelotu jonów są stabilne w kierunku r , a niestabilne w kierunku osi z . Jony są więc wyrzucane w kierunku tej osi (ulegają *ekspulsji*).

W pułapkach jonowych wprowadzonych na rynek przez firmę FINNIGAN, średnica pułapki $2r_0$ wynosi 1 cm, a częstotliwość radiowa - 1,1 MHz. W tych warunkach graniczna wartość napięcia dla obszaru niestabilności masy wynosi $0,08898V_{RF}$. Ponieważ stosowane napięcie V_{RF} nie przekracza zazwyczaj 7500 V, zakres mas pułapki jonowej ograniczony jest do 650 Th.

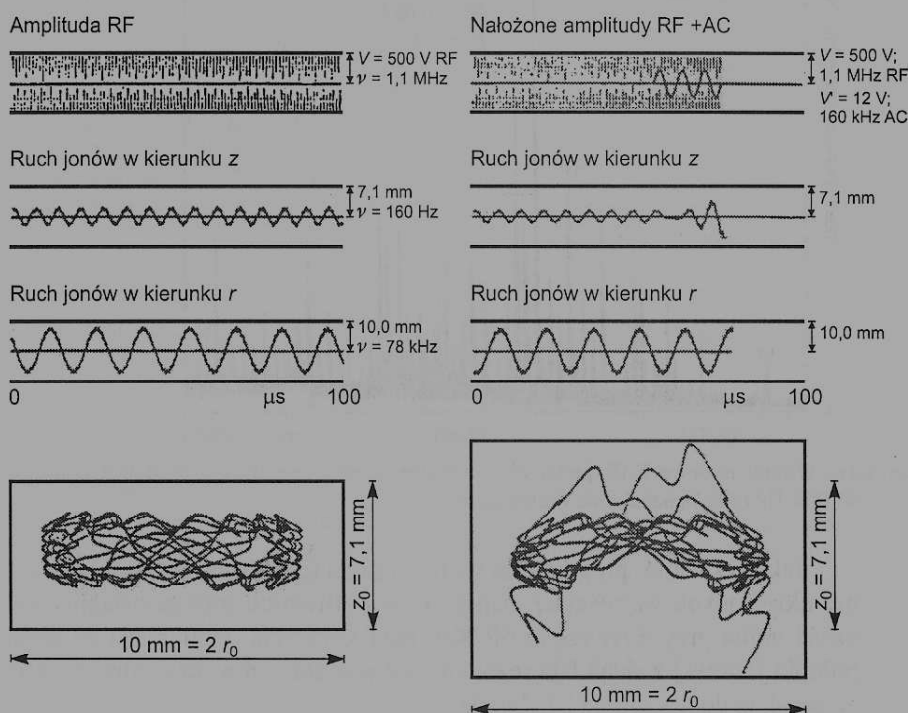
Ponieważ jony odpychają się wzajemnie, to mają skłonność do powiększania zajmowanej przez siebie objętości w wyniku zwiększania promienia toru ich ruchu. Z tego powodu w analizatorze musi być utrzymywane stosunkowo wysokie ciśnienie gazu obojętnego, najczęściej helu, aby stale hamować jony i w ten sposób utrzymywać je na torze o niewielkim promieniu. Jest to ciśnienie rzędu 10^{-3} mm Hg (0,13 Pa). Aby utrzymać próżnię na tym poziomie, wystarczy tylko jedna pompa do wysokiej próżni o wydajności 40 l/s, podczas gdy w innych typowych spektrometrach stosuje się zwykle dwie pompy o wydajności 250 l/s. Konstrukcja pułapki jonowej jest zatem prosta, co warunkuje jej podstawową zaletę - jest dość tania. Jedynym sposobem wprowadzenia próbki jest chromatograf gazowy. Możliwa jest zarówno jonizacja elektronami jak i jonizacja chemiczna.

W wyniku prac rozwojowych prowadzonych w ostatnich latach do pułapki jonowej zostały zaadaptowane zewnętrzne źródła jonów, otrzymywanych przez jonizację elektronami, elektrosprej czy bombardowanie szybkimi atomami (FAB). Powoduje to, że pułapka może być używana również w inny sposób niż tylko jako detektor w chromatografii gazowej. Komercyjnie produkowane pułapki jonowe mogą mieć zakres mas rozszerzony do 6000 Th, a dzięki innej konstrukcji katody i oddaleniu źródła jonów od analizatora mogą być również wyposażone w bezpośrednie wprowadzenie próbki.

Wszystkie jony, niezależnie od ich mas, oscylują w kierunkach r i z z własnymi, różnymi od radiowej (RF), częstotliwościami. Nakładając na RF napięcie przemiennie (AC) w kierunku z o częstotliwości pokrywającej się z częstotliwością drgań jonów o danej masie, dokonuje się przekazania energii wyłącznie do wybranych jonów. Tor ruchu jonów w kierunku z ulega wówczas destabilizacji. Metodę tę nazywa się *ekspulsją rezonansową*.



Rys. 2.14. Pułapka jonowa ze źródłem jonów FAB z zewnętrznym działem cezowym^{***}. Jony są przenoszone do pułapki przez płytki ogniskujące⁸

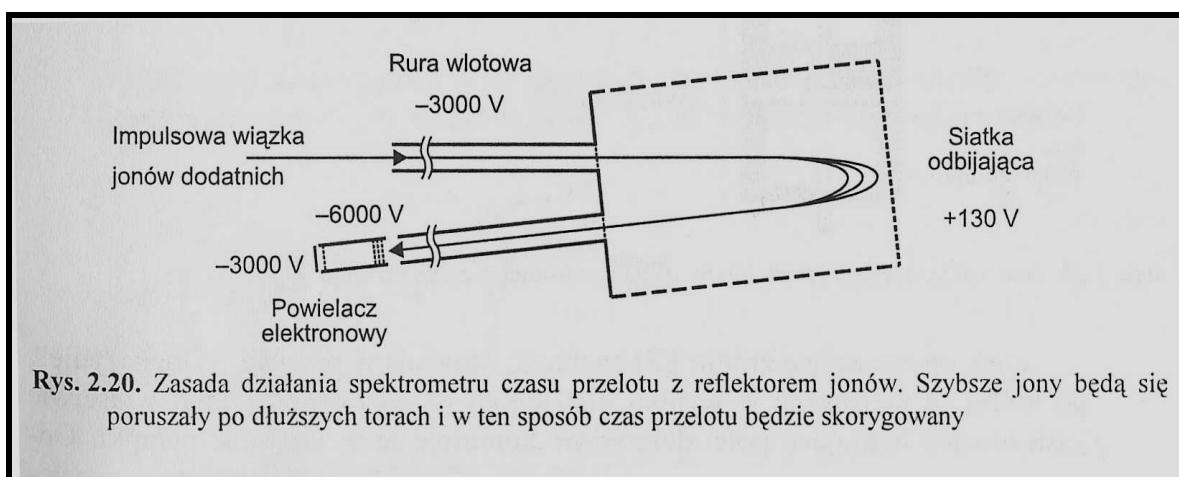


Rys. 2.15. Rezonansowa ekspulsja jonu o masie 100 Da. Każdy jon ma swoją własną częstotliwość oscylacji w kierunkach r i z . Nakładając na napięcie przemiennego o częstotliwości radiowej (RF) napięcie przemiennego o częstotliwości równej częstotliwości własnej drgań jonu w kierunku z (AC), przekazuje się mu energię przez rezonans. W podanym przykładzie częstotliwość rezonansowa wynosi 160 kHz. Tor przelotu jonu w kierunku z ulega destabilizacji. Ten sposób ekspulsji umożliwi obserwowanie jonów o dużej masie. W ramach pokazano symulację komputerową ruchu jonów w pułapce⁸

Przy bardzo wolnym przemieszczaniu oraz stabilnych i dokładnie określonych wartościach napięć i częstotliwości, można osiągnąć rozdzielczość $m/\delta m$ przy 50% rzędu 50 000. Inną korzyścią wynikającą ze stosowania pułapki jonowej z ekspulsją rezonansową jest granica wykrywalności, która może zejść aż do attomola (10^{-18} mola).

ANALIZATORY CZASU PRZELOTU

Analizatory czasu przelotu (TOF) działają impulsowo. Jony są wystrzelane ze źródła impulsami po zastosowaniu bądź to metody desorpcji laserowej lub desorpcji plazmą, bądź to bardzo krótkiego przykładania odpowiednich potencjałów do płytek ogniskujących źródła jonów. Są one następnie przyspieszane w polu elektrycznym za pomocą różnicy potencjałów V_s i po przebyciu drogi d docierają do detektora.



Energia kinetyczna opuszczającego źródło jonu o masie m i całkowitym ładunku $q = ze$, będzie wynosiła:

$$mv^2/2 = qV_s$$

Przebiegnie on ruchem jednostajnym drogę d w czasie t , wynoszącym

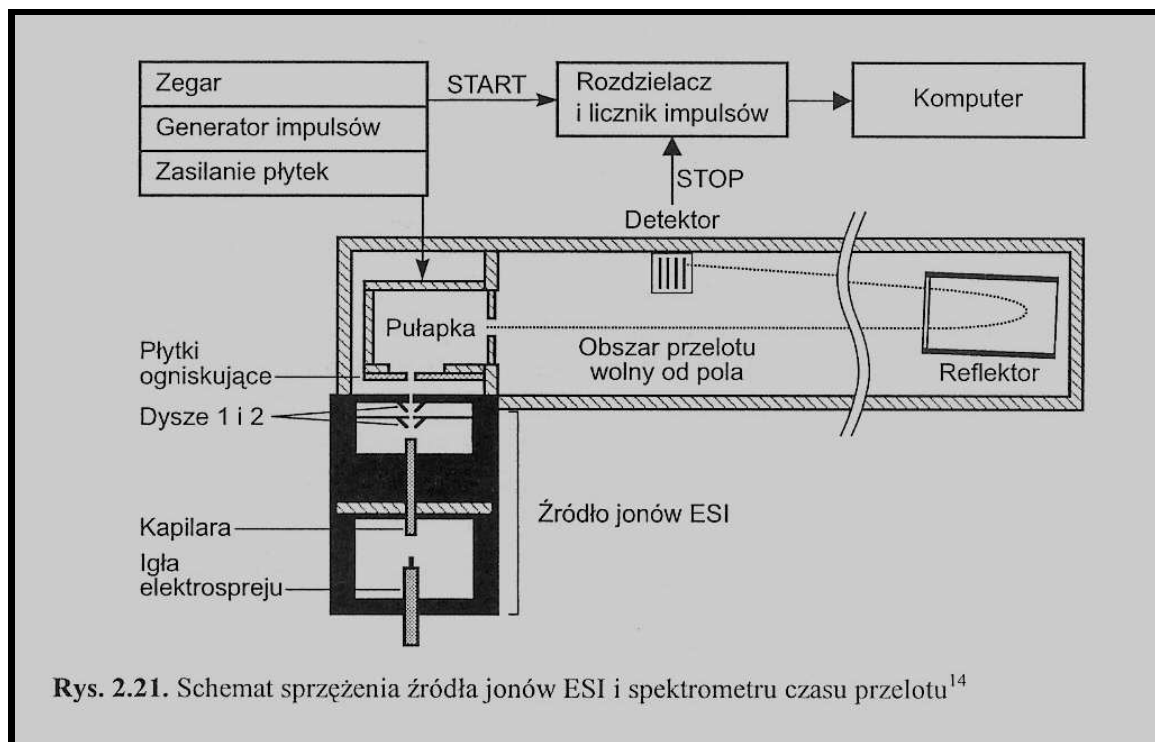
$$t = d/v$$

Stąd otrzymujemy:

$$t^2 = \frac{m}{q} \left(\frac{d^2}{2V_s} \right) = \frac{m}{z} \left(\frac{ed^2}{2V_s} \right)$$

Pomiar t umożliwi więc obliczenie stosunku masy do ładunku m/z lub m/q , zakładając stałą wartość wyrażenia w nawiasie.

Metoda pomiaru czasu przelotu w spektrometrach mas przeżywa obecnie renesans. Wynika to z rozwoju elektroniki umożliwiającej obróbkę szybkiego strumienia informacji oraz z konieczności zastosowania analizatora czasu przelotu do źródeł jonów z desorpcją laserową w ciekłej matrycy. Sprzężenie ze źródłem jonów realizuje się poprzez interfejs.



Jony opuszczające źródło ESI są magazynowane w pułapce - "magazynie", do której są kierowane w wyniku niewielkiej różnicy potencjałów. Odpowiednio zastosowane hamujące pole elektryczne kumuluje je w komorze pułapki. Generowane impulsy napięcia wysyłają jony z pułapki do - prostopadłej do kierunku wchodzącego do pułapki strumienia jonów - rury analizatora TOF w impulsach, powtarzających się z częstotliwością kilku tysięcy H (herców). Dzięki prostopadłemu ustawieniu rury w stosunku do analizatora możliwe jest znaczne obniżenie mierzonej wzdłuż kierunku lotu dyspersji jonów w wiązce. Interfejs ten umożliwia uzyskanie rozdzielczości przewyższającej 25 000 dla dużych mas przy wyjątkowo dużej czułości

ANALIZATORY CYKLOTRONOWEGO REZONANSU JONOWEGO (ICR)

Jak pokazano w poprzednich rozdziałach, tor ruchu jonów ulega zakrzywieniu w polu magnetycznym. Jeżeli prędkość jonów jest niewielka, a natężenie pola duże, to promień krzywizny toru staje się mały. Jon może więc być w ten sposób "złapany w pułapkę" na torze kołowym w polu magnetycznym; jest to zasada działania cyklotronu.

Jon będzie się poruszał po torze kołowym którego promień wynosi r jeżeli siła Lorentza będzie równoważona siłą odśrodkową:

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

$$qB = \frac{mv}{r}$$

Częstość obiegu:

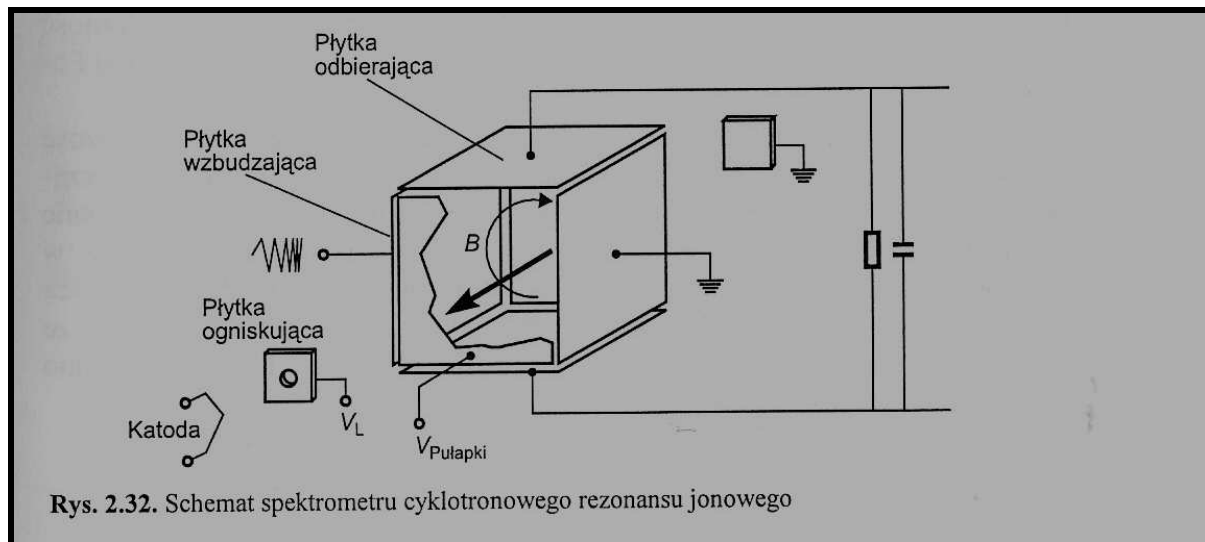
$$\nu = \frac{v}{2\pi r}$$

Prędkość kątowna:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{v}{r} = \frac{q}{m}B$$

Z powyższego równania wynika, że zarówno częstość, jak i prędkość kątowna zależą od wartości wyrażenia $(q/m)B$, są więc niezależne od prędkości jonu. Dla danego jonu jednak, proporcjonalnie do jego prędkości, zwiększy się promień krzywizny toru, który po przekroczeniu wymiarów komory cyklotronu ulegnie ekspulsji.

W praktyce, jony są wprowadzane do komory w kształcie sześciangu o boku rzędu kilku cm, umieszczonym w polu magnetycznym o natężeniu kilku tesli, zazwyczaj 3 T. W takim polu częstotliwość cyklotronowa jonu o masie 28 Th wynosi 1,72 MHz, a jonu o masie 4000 Th - 12,03 kHz. Zakres częstotliwości jest więc bardzo duży. Obecnie są używane magnesy o natężeniu pola 7 T.



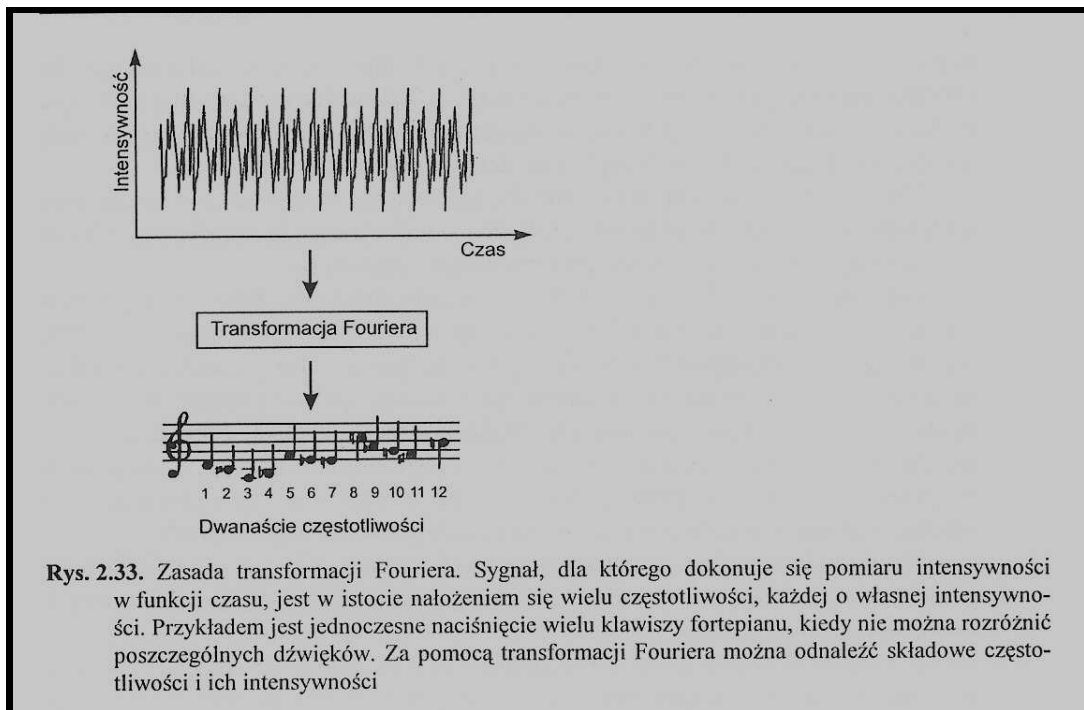
Związek między częstotliwością a masą wskazuje, że określenie masy jonu sprowadza się do określenia częstotliwości. Można to wykonać na różne sposoby, według dwóch ogólnych kategorii. Pierwsza z nich, to bezpośredni pomiar pojedynczych częstotliwości, a druga - zastosowanie fal złożonych, przekształconych przez transformację Fouriera.

Wzbudzenie promieniowaniem elektromagnetycznym o tej samej częstotliwości co w cyklotronie umożliwia rezonansową absorpcję tego promieniowania. Energia, dostarczona do jonu tą drogą zwiększa odpowiednio jego energię kinetyczną, co pociąga za sobą zwiększenie promienia toru ruchu jonu. Można zatem zmierzyć energię pochłoniętej fali elektromagnetycznej, podobnie jak przeprowadza się to w klasycznej spektroskopii absorpcyjnej: UV, IR, NMR itp. W komorze cyklotronu można jeszcze dodatkowo umieścić elektrodę wykrywającą jony. Zwiększając promień swojego toru ruchu, jony wzbudzone docierają do detektora gdzie jest mierzony powstający prąd, proporcjonalny do liczby jonów. Metoda ta nazywana jest niekiedy omegatronem.

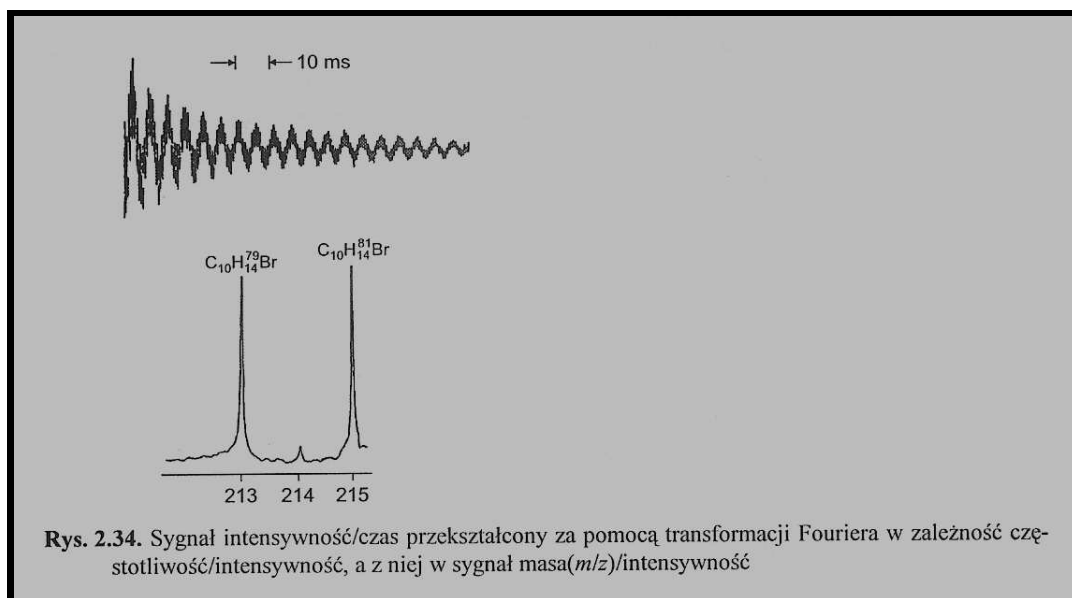
Można także mierzyć prąd indukowany przez krążące jony w prostopadłej do toru ich ruchu ściance komory cyklotronu. W takim przypadku stosuje się przemienne fazę wzbudzenia jonów o danej masie w taki sposób, aby przeszły w pobliżu ścianki, oraz fazę detekcji.

SPEKTROMETRIA MAS Z TRANSFORMACJĄ FOURIERA (FT-MS)

Metoda ta, określana często jako FT-MS (*Fourier Transformation Mass Spectrometry*) lub pełną nazwą FT-ICRMS, polega na jednoczesnym wzbudzeniu wszystkich obecnych w cyklotronie jonów przez szybkie przemiatanie w rozległym zakresie częstotliwości w czasie rzędu mikrosekund. W wyniku tego uzyskuje się nie tylko tor ruchu jonów przechodzący w pobliżu ścianki prostopadłej do ich orbity, ale przede wszystkim wprowadza się je w fazę. Dlatego możliwe jest przekształcenie fali złożonej, zarejestrowanej w funkcji czasu, w zależność intensywność w funkcji częstotliwości, wykorzystując metodę transformacji Fouriera.



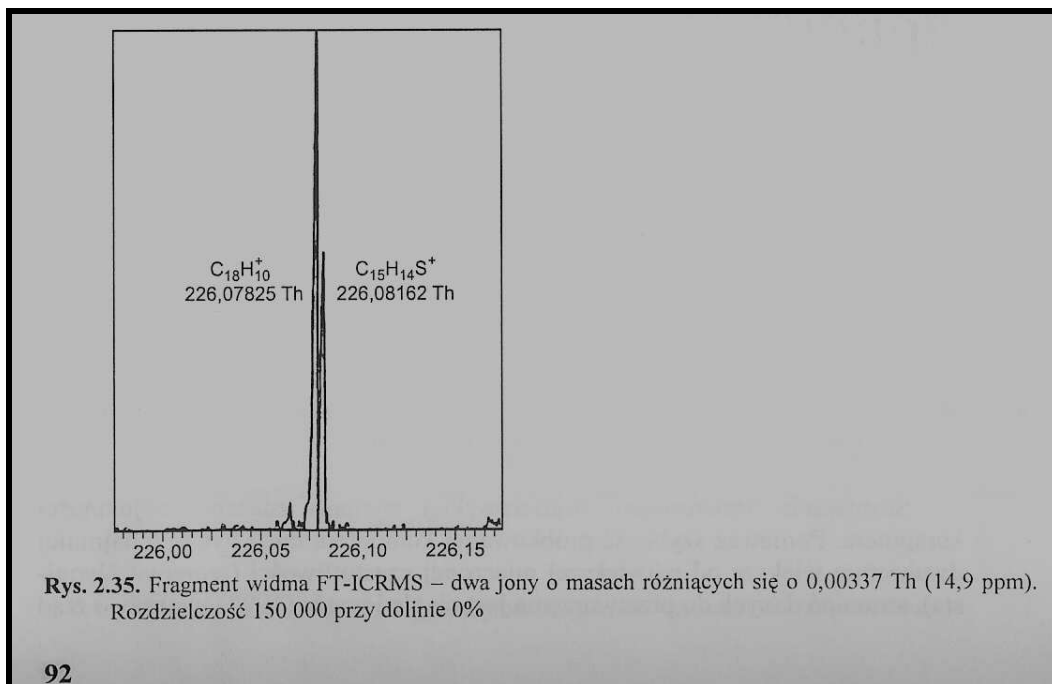
Rys. 2.33. Zasada transformacji Fouriera. Sygnał, dla którego dokonuje się pomiaru intensywności w funkcji czasu, jest w istocie nałożeniem się wielu częstotliwości, każdej o własnej intensywności. Przykładem jest jednoczesne naciśnięcie wielu klawiszy fortepianu, kiedy nie można rozróżnić poszczególnych dźwięków. Za pomocą transformacji Fouriera można odnaleźć składowe częstotliwości i ich intensywności



Jak w każdej metodzie opartej na tej transformacji, uzyskana rozdzielczość zależy od czasu pomiaru, który jest z kolei związany z odnawianiem się mierzonej wartości (czasem relaksacji). W przypadku spektrometrii mas, wydłużenie czasu relaksacji powodowane jest przede wszystkim spowalnianiem jonów w zderzeniach jon-cząsteczka z obecnymi w komorze śladami nie zjonizowanych cząsteczek. Żeby zatem uzyskać odpowiednio wysoką rozdzielczość, w komorze cyklotronu powinna być bardzo wysoka próżnia, rzędu $10^{-4} - 10^{-6}$ Pa. Jest to jedno z ważnych ograniczeń tej metody.

Stosowanie transformacji fourierowskiej wymaga znacznej pojemności komputera. Ponieważ szybkość próbkowania komputera musi być co najmniej dwukrotnie większa od największej mierzonej częstotliwości, obróbka matematyczna sygnału z reguły nie jest prowadzona w czasie rzeczywistym i musi być wykonana oddzielnie; stąd konieczność zarejestrowania z ogromną szybkością na nośniku magnetycznym dużej liczby danych numerycznych.

Z punktu widzenia zastosowań analitycznych, dzięki FT-MS można osiągnąć nieograniczony zakres mas przy bardzo dużej rozdzielczości, w praktyce jednak nie przekracza się 2000 Th. Natomiast rozdzielczość jest spektakularna, lecz tylko przy małych masach, czyli tam, gdzie nie jest użyteczna. Wynika to z niestabilności trajektorii jonów o dużej masie.



Na rysunku powyżej przedstawiono widmo mieszaniny dwóch związków, których masy różnią się o 0,00337 Th. Na rysunku widoczna jest bardzo duża rozdzielczość - 150 000 przy dolinie 0%, co wynika także ze smukłości obserwowanych pików. Zdolności rozdzielcze rzędu 10^6 dla mas rzędu 100 Th nie należą do rzadkości. Tak więc dla metody FT-MS poszukuje się zagadnień, dla których tak duża rozdzielczość byłaby użyteczna.

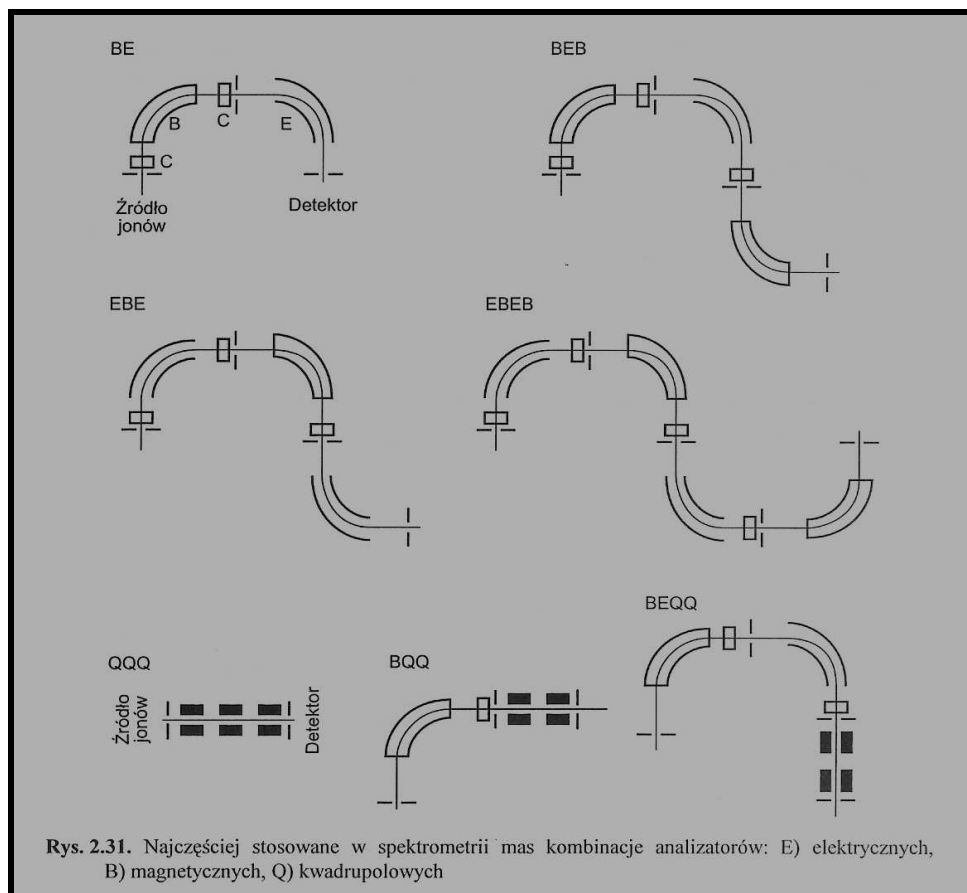
Odwrotna proporcjonalność między rozdzielczością i wartością stosunku m/z pociąga za sobą zmniejszenie zdolności rozdzielczej, gdy zwiększa się masa, z czego wynika maksymalna rozdzielczość 10 000 przy m/z 10 000. Górny zakres możliwych do obserwowania mas wynosi około 20 000.

Spektrometry FT-MS są niezwykle czułe i za ich pomocą można wykryć już około 10 jonów w komorze cyklotronu. Liczba jonów obecnych w komorze nie może jednak przekroczyć rzędu 10^6 , ponieważ siły odpychania między jonami powodują ich nadmierne rozproszenie. Zakres dynamiczny spektrometru jest zatem ograniczony do 10^5 .

Zainteresowanie metodami MS opartymi na zasadzie rezonansu cyklotronowego wynika zwłaszcza z możliwości stosunkowo długiej obserwacji jonów; czas ten może bez trudu osiągnąć rząd minuty. Pozwala to badać nie obserwowalne w klasycznej spektrometrii mas wolne fragmentacje, jak również równowagę między różnymi rodzajami jonów, wreszcie - reakcje jon-cząsteczka.

SPEKTROMETRY O WIELU ANALIZATORACH – SPEKTROMETRY HYBRYDOWE

Można wyobrazić sobie połączenie więcej niż dwóch analizatorów, dających większe możliwości analiz MS-MS. Na rynku dostępne są seryjne spektrometry o trzech i czterech sektorach w różnych konfiguracjach. Przykładem może być konfiguracja EBEB, połączenie dwóch sektorów elektrycznych i dwóch magnetycznych, które umożliwia analizę jonów macierzystych i potomnych z dużą rozdzielczością.



Analizatory sektorowe mogą być także łączone z kwadrupolowymi i wtedy nazywa się je **spektrometrami hybrydowymi**. Najczęściej spotykaną konfiguracją jest tu dwusektorowy spektrometr magnetyczny, za którym umieszczone są kolejno: kwadrupolowa komora kolizyjna i analizator (filtr) kwadrupolowy. Jony mogą być kolejno analizowane przy dużej rozdzielczości w spektrometrze sektorowym, a następnie przy niskiej rozdzielczości w części kwadrupolowej.