

**POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA**



**URZĄD
PATENTOWY
PRL**

O P I S P A T E N T O W Y 70093

**Patent dodatkowy
do patentu _____**

Zgłoszono: 08.07.71 (P. 149303)

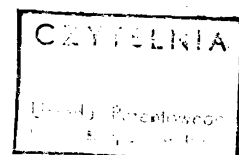
Pierwszeństwo: 10.07.10 (Stany Zjednoczone
Ameryki)

Zgłoszenie ogłoszono: 30.05.73

Opis patentowy opublikowano: 30.08.1979

Int. Cl³. B01D 53/24

MKP B01d 53/24



Twórca wynalazku: _____

Uprawniony z patentu: Nils Anders Lennart Wikdahl,
Djursholm (Szwecja)

Sposób i urządzenie do rozdzielania mieszanin gazowych

Przedmiotem wynalazku jest sposób rozdzielania mieszanin gazowych na frakcje składowe według ich ciężarów cząsteczkowych lub atomowych, a zwłaszcza sposób rozdzielania gazowych mieszanin izotopów, przez poddanie mieszaniny gazowej działaniu siły odśrodkowej. Przedmiotem wynalazku jest również urządzenie do stosowania tego sposobu.

Znane sposoby rozdzielania mieszanin gazowych na frakcje składowe według ich ciężarów cząsteczkowych lub atomowych oparte są na prostych zasadach, w praktyce jednak są bardzo trudne do realizacji. Ze względu na to, że składniki mieszaniny różnią się ciężarem cząsteczkowym lub atomowym można je rozdzielać według masy poddając ruchowi obrotowemu w wyniku czego cząsteczki o ciężarze wyższym zostałyby odrzucone na dalszą odległość niż cząsteczki lżejsze o ile sposób ten w odniesieniu do ciał sypkich czy ciekłych nie stanowi żadnego problemu technicznego w odniesieniu do gazów stanowi poważny problem ze względu na dyfuzję. Dlatego też rozdział mieszanin gazowych, a zwłaszcza rozdział gazowych mieszanin izotopów realizowano innymi sposobami.

Ponieważ cząsteczki i atomy są różne rozdzielano je stosując pole elektryczne lub magnetyczne i wykorzystując różnice w reagowaniu atomów i cząsteczek na działanie tych pól. I tak, na przykład, izotopy o określonym spinie jądrowym można było wydzielić, przepuszczając przez takie pola strumień atomów pierwiastka, posiadających w stanie podstawowym spin elektronowy różny od zera. Możliwe jest także rozdzielanie oparte na przepuszczeniu wiązki jonów przez urządzenie, takie, jak filtr masowy, wykorzystujący ogniskowanie jonów w kwadripolowym polu elektrycznym. Narzucone pole o wysokiej częstotliwości wprawia jony o określonej masie w rezonans i wyrzuca je z wiązki. Pola elektryczne utrzymuje się znacznie łatwiej, niż pola magnetyczne i łatwo można utrzymać układ wielu wiązek biegnących równolegle. Są to jednak metody laboratoryjne i nie nadają się do stosowania na większą skalę ze względu na koszty i potrzebne wyposażenie.

Na skalę techniczną wykorzystywano rozdział dyfuzyjny. Różnica mas powoduje różnicę szybkości dyfuzji. Zasadę tę wykorzystano do rozdzielania lub wzbogacania izotopów zwłaszcza uranu. Mieszaninę gazową

rozdzielano przez przepuszczanie jej wzdłuż powierzchni membrany, której pory były dostatecznie małe, aby następował przepływ molekularny cząsteczek lżejszych. Część mieszaniny, która przeszła przez membranę była wzbogacona w składnik lżejszy, natomiast pozostała część w składnik cięższy. W przypadku U 235 i U 238 zmiana stężenia izotopów w poszczególnych frakcjach była tak mała, że należało prowadzić rozdzielanie wielostopniowe.

Znane jest wykorzystanie działania siły odśrodkowej do rozdzielu gazów np. w wirówce gazowej, w której stosuje się wirujący cylinder z pierścieniowymi otworami wlotowymi na jednym końcu. Gaz zbiera się na przeciwnym końcu cylindra w dwóch pierścieniach. Składniki cięższe występują w większym stężeniu w zewnętrznym pierścieniu wylotowym, a składniki lżejsze w pierścieniu wylotowym wewnętrznym. Można też przy użyciu różnych technik powodować dwukrotny przepływ gazu przez wirnik, w jednym kierunku wzdłuż ścianek peryferyjnych, a przy zmniejszonym promieniu w innym kierunku. Jednakże jak podaje Avery w *Physics Bulletin*, str. 17–21 (styczeń 1970) przy obecnych ograniczeniach inżynierskich wydajność urządzeń wirówkowych jest mniejsza niż wydajność urządzeń dyfuzyjnych, co w praktyce wymagałoby stosowania setek tysięcy aparatów. Oznacza to, że należałoby rozwiązać masową produkcję tych urządzeń i ich części zapasowych przy niskich kosztach, a to stanowi główny problem konstrukcyjny. Mimo, że wirówka gazowa może być technicznie możliwa do wykonania, pozostaje jeszcze sprawą otwartą, czy będzie ona praktyczna, ponieważ wskaźniki kosztów są spekulatywne jako, że nie były badane za wyjątkiem eksperymentów, prowadzonych na małą skalę.

Proponowano również wykorzystać efekt bezwładności, wywodzący się z różnic mas, występujący w wirówce gazowej, bez stosowania części ruchomych. Jednym z oczywistych sposobów jest wprowadzenie gazu w ruch wirowy w cyklonie, w którym można się spodziewać, że cząsteczki cięższe dyfundowałyby w kierunku odśrodkowym, a lżejsze ku środkowi cyklonu. Jednakże, aby utrzymać pracę cyklonu, konieczny jest dośrodkowy przepływ mieszaniny gazów oraz ustalony stosunek pomiędzy dyfuzją a lepkością kinematyczną. W ostatecznym wyniku oba składniki poruszają się ku środkowi, chociaż z różną prędkością.

Nöller i Mürtz w *Naturwissenschaften* 45, (16) str. 382–3, 1958 opisali próby rozdzielania, ale stwierdzili znaczne trudności związane z turbulencją przy wysokich liczbach Reynoldsa. W rezultacie metoda ta nie została uznana za atrakcyjną i uznano, że otrzymany rozdział w najlepszym razie będzie podobny jak metodą dyfuzji. Ponieważ jednak zużycie mocy jest wysokie, ztraca się korzyści z odwirowania w stosunku do metody dyfuzyjnej.

Celem wynalazku jest wyeliminowanie wymienionych niedogodności.

Według wynalazku mieszaniny składników gazowych różniących się ciężarem cząsteczkowym lub atomowym rozdziela się na frakcje składowe według ciężarów cząsteczkowych i atomowych, poddając je działaniu siły odśrodkowej w wirze w kształcie stożka o średnicy nie większej niż 5 mm, przy zasilaniu gazem o ciśnieniu bezwzględnym na wlocie do komory rozdzielającej około 5–1000 mm słupa rtęci i stosunku ciśnień w granicach od około 1,5 do około 10. Stosunek ciśnień określa się jako stosunek ciśnienia na wlocie do ciśnienia na wylocie. W tych warunkach pracy, ważnych dla osiągnięcia rozdzielania, można wyizolować frakcję o wyższym ciężarze cząsteczkowym w części peryferyjnej wiru, a frakcję o niższym ciężarze cząsteczkowym w rdzeniowej części wiru. Sposób ten jest prosty i nie wymaga urządzeń z ruchomymi częściami oprócz urządzenia do wprowadzania w ruch gazu oraz jest praktyczny i nadaje się do technicznego stosowania na wielką skalę.

Jeśli składniki gazowe różnią się znacznie ciężarem cząsteczkowym lub atomowym, wówczas można uzyskać dobre rozdzielanie w jednym cyklonie. Jeśli ciężary cząsteczkowe lub atomowe są raczej bliskie, może okazać się koniecznym powtórzyć proces w kilku stopniach, za każdym razem odbierając z odpowiedniego miejsca wiru frakcję o wysokim lub niskim ciężarze cząsteczkowym i zwracając ją do cyklonu w następnym stopniu. W przypadku rozdzielania izotopów takich jak U 235 i U 238 może okazać się konieczne stosowanie wielu cyklonów dla zadawalającego wzbogacenia rdzeniowej partii wiru.

Rozdział mieszaniny gazowej przeprowadza się w urządzeniu według wynalazku składającym się z obudowy mieszczącej komorę separatora o przekroju kołowym, posiadającej wierzchołek, podstawę i mającej kształt stożka przynajmniej w części wierzchołkowej. Obudowa ma przy podstawie średnicę nie większą niż 5 mm, a przy wierzchołku nie mniejszą niż 0,01 mm. Przy podstawie obudowy znajduje się co najmniej jeden otwór wlotowy gazu, wprowadzający gaz wpływający z zewnątrz stycznie do komory w celu ustalenia wirowego przepływu gazu w kierunku od podstawy ku wierzchołkowi. Przepływ wirowy powoduje rozprowadzenie do części peryferyjnej wiru składników gazowych o wzrastającym ciężarze cząsteczkowym lub atomowym, a w kierunku rdzenia wiru składników o malejącym ciężarze cząsteczkowym lub atomowym. W części rdzeniowej wiru panuje niższe ciśnienie gazu niż w części peryferyjnej. Jeden otwór wylotowy przechodzi przez obudowę podstawy komory i jest usytuowany współosiowo z komorą, a drugi, również współosiowy z komorą znajduje się w wierzchołku komory. Przez otwór wylotowy na wierzchołku komory wypływa gaz z peryferyj-

nych części wiru, a przez otwór wylotowy umieszczony w podstawie — gaz z rdzeniowej części wiru tak, że stężenie składników o niższym ciężarze cząsteczkowym lub atomowym jest większe w gazie wypływającym przez otwór wylotowy w podstawie, podczas gdy gaz wypływający przez otwór wylotowy na wierzchołku komory wzbogacony jest w składniki cięższe. Opisany separator cyklonowy ma prostą i nieskomplikowaną konstrukcję, nie posiada ruchomych części i pomimo małych rozmiarów nadaje się do technicznego rozdzielania gazów na wielką skalę.

Siły odśrodkowe, działające w wirze powodują, że składniki o większych ciężarach cząsteczkowych lub atomowych dyfundują do części peryferyjnej wiru, a składniki o ciężarach cząsteczkowych lub atomowych niższych dyfundują do jego części centralnej lub rdzeniowej. W rdzeniowej części wiru panuje ciśnienie niższe niż w części peryferyjnej. Ponieważ w urządzeniu będącym przedmiotem wynalazku frakcje peryferyjne i rdzeniowe wiru odbierane są w dwóch przeciwnych końcach komory separatora, powstają w niej dwa przeciwprądowe przepływy, w jednym kierunku przepływ peryferyjny w kierunku części peryferyjnej lub wierzchołkowego otworu wylotowego i przepływ rdzeniowy, płynący w kierunku przeciwnym, ku części rdzeniowej i otworowi wylotowemu znajdującemu się w podstawie. W efekcie rozszerza to znacznie strefę rozdzielania.

Separator cyklonowy, będący przedmiotem wynalazku, można wykonywać z dowolnego odpowiedniego materiału, odpornego w warunkach pracy na działanie rozdzielanych mieszanin gazów lub powodowaną przez nie korozję. Stosuje się metale takie, jak stal nierdzewna i aluminium oraz stopy niklu i chromu. Jeśli jednak metalu nie można odlewać, trudno jest go ukształtować ze względu na bardzo małe wymiary, wymagane do rozdzielania sposobem według wynalazku. Dlatego korzystniejsze są materiały ceramiczne, szkło i tworzywa sztuczne, jeśli są mocne, odporne na ciśnienie, zdolne do zachowania kształtu przy stosowanych ciśnieniach. Materiały te można kształtować lub formować do wymaganego kształtu przez prasowanie w formach lub wtrysk i bez ograniczeń ilościowych. Nadają się do tego celu zarówno szkło, porcelana, nylon, polichloroetylen, poliestry, poliwęglany, polietylen, polipropylen, kauczuki syntetyczne, żywice fenolowoformaldehydowe, moczynkowe i melaminowe jak również polioksymetylen i polimery chlorotrójfluoroetyleny.

W korzystnej postaci separatora cyklonowego w komorze znajduje się przegroda rurowa, biegnąca od otworu wylotowego w podstawie do punktu poza otworem lub otworami wlotowymi. Ma ona za zadanie ukierunkować wypływ gazu z otworu wylotowego i wzmocnić inicjowanie wirowego przepływu gazu przy podstawie i stąd przez komorę ku jej części wierzchołkowej. Styczne ułożenie jednego lub więcej otworów wlotowych gazu wymusza cyklonowy lub wirowy przepływ wprowadzanej mieszaniny gazów. Otwory wlotowe, jeśli jest ich więcej niż jeden, powinny być rozmieszczone jednolicie aby zapoczątkować równomierny przepływ wirowy. Zazwyczaj wystarcza 2—6 otworów wlotowych gazu. Gaz, wprowadzony do komory z dużą prędkością zmuszony jest przez zakrzywione ścianki komory separatora do utworzenia wiru, przepływającego spiralnie ku wierzchołkowi lub peryferyjnej części wylotu z komory.

Ważne jest, aby wir powstały w komorze separatora a tym samym i komora separatora miały średnicę nie większą niż 5 mm, a korzystnie 2 mm lub mniejszą. Dolną granicę średnicy ograniczają jedynie możliwości wytwórcze małych cyklonów. Praktycznie dolna granica wynosi 0,1 mm. Długość komory separatora nie jest krytyczna, nie powinna być jednak większa niż 200 mm ani mniejsza niż 5 mm, a jeśli ma ona kształt stożkowy, średnica wierzchołka powinna wynosić co najmniej 0,1 mm.

Stwierdzono, że sposobem według wynalazku nie można rozdzielić efektywnie składników gazu według ich ciężarów cząsteczkowych lub atomowych, jeśli komora ma średnicę większą niż 5 mm, a ponieważ dotychczas stosowano komory znacznie większe, było to zapewne przyczyną, dla której do tej pory nie uzyskiwano pozytywnych wyników przy stosowaniu separatorów cyklonowych. Jeśli wir ma średnicę większą niż 5 mm, obydwa składniki przemieszczają się ku środkowi wiru ze zbyt dużą prędkością, aby mogło nastąpić dobre rozdzielanie i napotyka się na problemy, stwierdzone przez Londona w pracy Separation of Isotopes (Londyn, John Newnes Ltd). Tak więc małe rozmiary urządzenia pozwalają przezwyciężyć trudności, na które napotkali poprzedni badacze, zajmujący się gazowymi separatorami cyklonowymi.

Stożkowy kształt komory separatora (i wiru) jest bardzo istotny dla poprawienia wydajności rozdzielania. Średnica komory musi zmniejszać się ku wierzchołkowi, zmniejszając promień wiru i zwiększając siłę odśrodkową. Komora może mieć od podstawy do wierzchołka kształt stożka o równych tworzących zawierających kąt prosty lub też może być częściowo cylindryczna, a stożkowa tylko przy wierzchołku. Stożek nie musi być jednolity lub o równych tworzących. Mogą to być tworzące wklęsłe lub wypukłe o jednakowej krzywiznie, malejącej lub wzrastającej. Średnica stożka może zmniejszać się ku wierzchołkowi w sposób ciągły lub etapami. Tak więc możliwe są różne kształty stożkowe, a wybrany kształt będzie zależny od szczególnych warunków w jakich prowadzi się rozdzielanie i może być określony metodą kolejnych prób.

Ważne jest także osiągnięcie spadku ciśnienia pomiędzy wlotem gazu a wylotami wierzchołkowymi i rdzeniowym, wystarczającego do przyspieszenia prędkości gazu, gdy zbliża się on do regionu mniejszej średnicy

rdzenia. Daje to maksymalną rozdzielającą siłę odśrodkową w obszarze o najmniejszym promieniu. Ponieważ ciśnienie spada, energia ciśnienia lub wysokość ciśnienia zamienia się w wysokość prędkości i prędkość gazu wzrasta. Energię potrzebną do przyspieszenia cząsteczek uzyskuje się więc ze spadku ciśnienia i przyczynia się ona do zwiększania wydajności rozdzielania. Jest to przyczyna powodująca, że dla sposobu według wynalazku stosunek ciśnienia jest krytyczny. Oznacza to również, że maksymalna wydajność rozdzielania występuje w obszarze wiru o małym promieniu, a nie w części peryferyjnej wiru i że obszar ten występuje tam, gdzie konieczny jest maksymalny efekt rozdzielający, a mianowicie na granicy pomiędzy obszarem rdzeniowym a peryferyjnym, to znaczy tam, gdzie gaz przepływa w kierunku wylotów wierzchołkowego i rdzeniowego, a więc w różnych kierunkach. Oznacza to, także, że cząsteczki cięższe w obszarze rdzeniowym mają największą szansę na odrzucenie, co powoduje, że nie pozostają one w rdzeniowej części gazu, płynącej ku obszarowi rdzeniowego otworu wylotowego.

Odpowiednio średnice otworów wylotowych wierzchołkowego i rdzeniowego są tak dobrane, aby stosunek ciśnień

P otworu wlotowego

P otworu rdzeniowego wylotowego

zawierał się w przedziale od około 1,5 do około 10 przy bezwzględnym ciśnieniu roboczym doprowadzanego gazu wynoszącym od około 5 do około 1000 mm słupa rtęci. W efekcie oznacza to, że ciśnienie gazu w otworze wlotowym jest co najmniej 1,5–10 razy większe niż ciśnienie w rdzeniowym otworze wylotowym komory. Dla optymalnej wydajności rozdzielania korzystnie, stosunek ciśnień zawiera się w przedziale od około 2 do około 6.

Gaz do otworu wlotowego wprowadza się poprzez dyszę, kryzę lub jako strumień swobodny, które częściowo zamieniają wysokość ciśnienia na wysokość prędkości. Jest to szczególnie korzystne przy zapoczątkowaniu wiru. Duże prędkości gazu w otworze wlotowym są korzystne, ponieważ zwiększają szybkość rozdzielania.

Prędkość mieszaniny gazów na wlocie powinna być równa co najmniej prędkości dźwięku w temperaturze pracy, a w razie potrzeby, kilkakrotnie większa, wymaga to jednak specjalnych urządzeń wlotowych. Można stosować też niższe prędkości, zależy to jednak od natury gazu i musi być dla każdego gazu określone doświadczalnie. Efekt rozdziału dla danego spadku ciśnienia zależy również w pewnym stopniu od samych otworów wlotowych, ich kształtu, ilości i rozmieszczenia. Jeśli otwory wlotowe zapewniają doskonale jednolity przepływ w strefie peryferyjnej, wówczas można pracować przy stosunkowo niskich prędkościach gazu wlotowego, poniżej prędkości dźwięku.

Proces prowadzi się w dowolnej temperaturze. Małe wahania temperatury nie są istotne. Za temperaturę roboczą przyjmuje się zazwyczaj taką temperaturę, w której wszystkie rozdzielane składniki stanowią fazę gazową. Dla niektórych materiałów może to wymagać stosunkowo wysokich temperatur, podczas gdy w przypadku materiałów, które w temperaturze pokojowej są gazami, stosuje się temperaturę pokojową. W niektórych przypadkach korzystne są bardzo niskie temperatury. Zakres temperatury roboczej zawiera się więc w przedziale od około -50 do około 500°C , korzystnie od około -20 do około 300°C . W przypadku, gdy mieszaninę poddaje się wirowaniu wielostopniowemu, korzystnie jest stosować układ separatorów wirowych lub cyklonów ułożony kaskadowo w dwóch seriach. Rdzeniową porcję gazu z cyklonu każdego stopnia rozdziela się i łączy w serię z porcją wierzchołkową z cyklonu następnego stopnia, powtarzając to w każdym stopniu do końca serii, podczas gdy w innych seriach rozdziela się porcje wierzchołkowe gazu i wprowadza porcję rdzeniową ze stopnia późniejszego. Stosuje się dowolnie ustawienie cyklonów i sprzężeń zwrotnych. W ten sposób nie traci się żadnej części rozdzielanych gazów, a ewentualnie w miarę potrzeby można odzyskać wszystkie rozdzielane składniki.

Cyklony będące przedmiotem wynalazku nadają się do rozdzielania mieszanin gazowych na składniki według ciężarów cząsteczkowych lub atomowych. Można w ten sposób rozdzielać w postaci pary lub związków gazowych izotopy różnych pierwiastków. Rozdzielone związki poddaje się obróbce w celu odzyskania pierwiastka w dowolnej żądanej postaci, włącznie z pierwiastkami metalicznymi. Można, na przykład, rozdzielać mieszaninę U 234 i U 238 w postaci sześciofluorku uranu.

Urządzenie według wynalazku zostało przedstawione w przykładzie wykonania na załączonym rysunku, na którym fig. 1 przedstawia typowy stożkowy separator cyklonowy w przekroju podłużnym, fig. 2 — przekrój wzdłuż linii 2–2 fig. 1 pokazując separator cyklonowy w przekroju poprzecznym z zaznaczeniem peryferyjnej i rdzeniowej części przepływu wirowego, a fig. 3 — schematycznie typowy układ separatorów cyklonowych ułożonych w dwóch seriach kaskadowych a i b, składający się z cyklonów dla frakcji odbieranych z wierzchołka i cyklonów dla frakcji rdzeniowej, pokazując przepływ frakcji wierzchołkowych i frakcji rdzeniowych gazu przez każdą serię aż do ostatecznego rozdzielenia składników mieszaniny gazowej na końcu każdej serii.

Cyklon przedstawiony na fig. 1 i 2 posiada obudowę 1 z sześcioma otworami wlotowymi 2 usytuowanymi stycznie przy podstawie 3 stożkowej komory rozdzielającej 5. W wierzchołku 9 stożkowej komory rozdzielającej

5 znajduje się otwór wylotowy 4 dla peryferyjnej części wiru, a otwór wylotowy 6 dla części rdzeniowej wiru znajduje się w podstawie komory. Koniec przewodu 7 wystaje wewnątrz komory z podstawy stożka i opisuje pierścień 8, do którego skierowane są otwory wlotowe gazu 2. Ponieważ otwory wlotowe 2 umieszczone są stycznie, zapoczątkowują wirowy przepływ gazu wokół pierścienia 8, określonego przez wystający wewnątrz komory koniec przewodu 7, co pokazano za pomocą spiralnych strzałek. Powstały przepływ wirowy przemieszcza się wzdłuż peryferyjnej części stożka w kierunku otworu wylotowego 4. W czasie tego przemieszczania składniki o większym ciężarze cząsteczkowym lub atomowym odrzucone są do peryferyjnej części wiru, podczas gdy składniki o niższym ciężarze cząsteczkowym lub atomowym przesuwają się do części rdzeniowej wiru. Rdzeniowa część wiru przesuwa się w kierunku przeciwnym, ku otworowi wylotowemu 6. Występuje więc przeciwny przepływ wewnętrznej i zewnętrznej części wirów, poprawiając wydajność rozdzielania bez potrzeby zwiększania strefy rozdziału.

Podczas pracy urządzenia mieszanina gazów wpływa przez otwory wlotowe 2, opasuje wir dokoła części peryferyjnej komory, po czym następuje peryferyjny przepływ gazu w kierunku otworu wylotowego 4. Jednocześnie w środku wiru tworzy się jego część rdzeniowa i gaz w tej części przepływa w przeciwnym kierunku, ku otworowi wylotowemu części rdzeniowej 6. W części rdzeniowej wiru panuje niższe ciśnienie niż w otworze wlotowym 2. W ten sposób część gazu o niższych ciężarach cząsteczkowych opuszcza separator wirowy przez przewód wylotowy 6, a część gazu o większych ciężarach cząsteczkowych składników wypływa z separatora przez otwór wylotowy 4. Układ takich cyklonów w dwóch kaskadowych seriach a i b, zapewniający zwielokrotnienie stopni separacji odśrodkowej może mieć postać przedstawioną na fig. 3. Mieszanina gazów wchodzi z kompresora C przez otwór wlotowy do separatora cyklonowego I. Mieszaninę wchodzącą do kompresora C stanowi porcja wierzchołkowa z separatora cyklonowego IIa i porcja rdzeniowa z separatora IIb.

W serii a gaz zateża się lub zostaje wzbogacony w lżejszy składnik. Rdzeniową porcję gazu odbiera się przez wylot w podstawie cyklonu I i przesyła do następnego separatora IIa serii i miesza z porcją wierzchołkową z separatora cyklonowego IIIa; stamtąd jako porcję rdzeniową, zmieszaną z porcją wierzchołkową z separatora IVa wprowadza się do separatora cyklonowego IIIa, skąd jako porcję rdzeniową zmieszaną z porcją wierzchołkową z separatora cyklonowego Va wprowadza się ją do separatora cyklonowego IVa, a stąd jako porcję rdzeniową zmieszaną z porcją wierzchołkową gazu z separatora Vb wprowadza się do separatora Va, stamtąd jako porcję rdzeniową wprowadza się gaz do separatora cyklonowego VIa. W ten sposób porcje rdzeniowe sukcesywnie wzbogacają się w lżejszy składnik aż wreszcie z cyklonu VIa na końcu układu odbiera się składnik lżejszy.

W serii b zateża się składnik cięższy. Porcja wierzchołkowa z cyklonu I po zmieszaniu z porcją rdzeniową IIIb przechodzi, przez kompresor C do separatora cyklonowego IIb; odbiera się porcję wierzchołkową i po zmieszaniu z porcją rdzeniową z separatora cyklonowego IVb wprowadza się ją do cyklonu IIIb; odbiera się porcję wierzchołkową z cyklonu IIIb i po zmieszaniu z porcją rdzeniową gazu z cyklonu Vb wprowadza się ją do cyklonu IVb; odbiera się porcję wierzchołkową i po zmieszaniu z porcją rdzeniową gazu z cyklonem IVb wprowadza się ją do cyklonu Vb; odbiera się porcję wierzchołkową z cyklonu IVb i wprowadza się ją do cyklonu VIb. W ten sposób porcja wierzchołkowa mieszaniny gazów stopniowo wzbogaca się w składnik cięższy.

Sposób według wynalazku zilustrowano w podanych niżej przykładach.

Przykład 1. Do prób użyto cyklon typu przedstawionego na fig. 1 i 2. Cyklony te zastosowano do rozdzielania mieszaniny powietrza z dwutlenkiem węgla. Mieszanina miała w przybliżeniu stały skład i zawierała 8,5% objętościowych CO_2 . Gaz ze zbiornika podawano przez zawór redukcyjny, bezpiecznik ciśnieniowy, filtr, zawór regulacyjny i zwężkę Venturiego do zbiornika mieszającego cyklony. Dwie frakcje odbierane z cyklonów przechodziły przez zwężkę Venturiego i zawory regulacyjne do pompy próżniowej, a następnie każdą z porcji, odbieraną poprzez zawór wprowadzano do analizatora gazu w celu dokonania analizy.

Ciśnienie gazu w pomieszczeniu zbiornika cyklonów mierzono bezwzględny manometrem rtęciowym z dokładnością około 0,5 mm słupa rtęci.

Różnice zawartości CO_2 w obu frakcjach odebranych z cyklonów rejestrowano za pomocą analizatora do analizy w podczerwieni, połączonego z potencjometrycznym urządzeniem rejestrującym. Otrzymane wyniki uzyskane w cyklonie o średnicy 2 mm zestawiono w tablicach I, II, III. Cyklon ten miał zbieżność stożka; określoną jako średnica podstawy podzielona przez wysokość wierzchołkową wynoszącą 1:10 oraz 3 lub 6 jednakowo rozmieszczonych otworów wlotowych o przekroju prostokątnym 0,6 mm X 0,3 mm.

Tablica I

Separator cyklonowy	Ciśnienie na wlocie mm Hg	Ciśnienie w rdzenio- wym otwo- rze wylo- towym mmHg	Ciśnienie w wierzchoł- kowym otworze wylotowym mm Hg	Molowy %CO ₂	Szybkość przepływu	Współczynnik rozdziatu	Współczynnik rozdziatu przepływu
Ilość otworów wlotowych	90,0	15,0	13,0	8,35	0,50	0,0542	0,663
	90,0	15,0	15,0	8,35	0,50	0,0539	0,647
	90,0	15,0	17,0	8,35	0,50	0,0532	0,653
Średnica otworu wlotowego w podstawie 0,75 mm	90,0	15,0	19,0	8,35	0,50	0,0524	0,653
	90,0	15,0	21,0	8,35	0,50	0,0516	0,644
	90,0	15,0	30,0	8,35	0,49	0,0443	0,596
Średnica otworu wylotowego u wierzchołka mm 1,0	90,0	18,0	14,0	8,35	0,50	0,0544	0,672
	90,0	18,0	16,0	8,35	0,50	0,0528	0,665
	90,0	18,0	18,0	8,35	0,50	0,0524	0,657
	90,0	18,0	20,0	8,35	0,50	0,0511	0,652
	90,0	18,0	22,0	8,35	0,48	0,0513	0,640
	90,0	18,0	24,0	8,35	0,50	0,0499	0,645
	90,0	18,0	26,0	8,35	0,50	0,0488	0,627
	90,0	18,0	30,0	8,35	0,49	0,0443	0,525
	90,0	22,0	16,0	8,35	0,50	0,0523	0,670
	90,0	22,0	20,0	8,35	0,50	0,0514	0,666
	90,0	22,0	22,0	8,35	0,50	0,0515	0,669
	90,0	22,0	24,0	8,35	0,50	0,0514	0,650
	90,0	22,0	26,0	8,35	0,50	0,0487	0,645
	90,0	25,0	18,0	8,35	0,48	0,0489	0,724
	90,0	25,0	20,0	8,35	0,48	0,0484	0,718
	90,0	25,0	22,0	8,35	0,48	0,0499	0,711
	90,0	25,0	24,0	8,35	0,48	0,0483	0,708
	90,0	25,0	26,0	8,35	0,48	0,0479	0,683
	90,0	25,0	28,0	8,35	0,48	0,0470	0,667

Tablica II

Separator cyklonowy	Ciśnienie na wlocie mm Hg	Ciśnienie w rdzenio- wym otwo- rze wylo- towym mm Hg	Ciśnienie w wierzchoł- kowym otworze wy- lotowym mm Hg	Molowy % CO ₂	Szybkość przepływu	Współczynnik rozdziatu	Współczynnik rozkładu przepływu
Ilość otworów wlotowych	90,0	15,0	14,0	8,35	0,46	0,0435	0,657
	90,0	15,0	16,0	8,35	0,46	0,0435	0,657
Średnica otworu wylotowego w podstawie 0,75 mm	90,0	15,0	20,0	8,35	0,46	0,0436	0,691
	90,0	18,0	16,0	8,35	0,46	0,0440	0,665
	90,0	18,0	18,00	8,35	0,46	0,0430	0,671
Średnica otworu wylotowego przy wierzchołku mm 1,0							

Tablica III

Separator cyklonowy	Ciśnienie na wlocie mm Hg	Ciśnienie w rdzenio- wym otwo- rze wyloto- wym mm Hg	Ciśnienie w wierzchoł- kowym ot- worze wyló- towym mmHg	Molowy % CO ₂	Szybkość przepływu	Współczynnik rozdziatu	Współczynnik rozkładu przepływu
Ilość otworów wlotowych	90,0	15,0	13,0	8,67	0,51	0,0572	0,520
	90,0	15,0	15,0	8,67	0,51	0,0567	0,513
	90,0	15,0	17,0	8,67	0,50	0,0565	0,514
Średnica otworu wylotowego w podstawie	90,0	15,0	19,0	8,67	0,50	0,0554	0,498
	90,0	15,0	21,0	8,67	0,50	0,0541	0,487
1,0 mm	90,0	18,0	16,0	8,67	0,50	0,0552	0,535
	90,0	18,0	18,0	8,67	0,50	0,0548	0,526
Średnica otworu wylotowego przy wierzchołku 1,0 mm	90,0	18,0	20,0	8,67	0,50	0,0530	0,511
	90,0	18,0	22,0	8,67	0,50	0,0519	0,491
	90,0	18,0	24,0	8,67	0,50	0,0515	0,471
	90,0	22,0	20,0	8,67	0,50	0,0504	0,566
	90,0	22,0	22,0	8,67	0,50	0,0503	0,554
	90,0	22,0	24,0	8,67	0,50	0,0511	0,525
	90,0	22,0	26,0	8,67	0,49	0,0486	0,481
	90,0	25,0	23,0	8,67	0,49	0,0457	0,598
	90,0	25,0	25,0	8,67	0,49	0,0460	0,573
	90,0	25,0	27,0	8,67	0,49	0,0455	0,542
	90,0	25,0	29,0	8,67	0,48	0,0438	0,489

W powyższych tablicach współczynnik rozdziatu określono z równania:

$$\frac{X \text{ wierzchołkowe} - X \text{ rdzeniowe}}{X \text{ wlotowe} (1 - X \text{ wlotowe})}$$

gdzie X oznacza molowy udział, w tym przypadku, dwutlenku węgla w gazie. Im większy jest współczynnik rozdziatu tym wydajniejsze jest rozdzielanie. Współczynnik rozkładu przepływu określa się jako frakcję molową wprowadzonych gazów, odbieranych przez wierzchołkowy otwór wylotowy. Z przytoczonych danych wynika, że uzyskano dobry rozdział.

Przykład II. Izotop U 235 oddzielono od izotopu U 238 w postaci gazowego sześciofluorku uranu w urządzeniu składającym się z 310 stopni w układzie, w którym przepływ odbywał się w sposób przedstawiony na fig. 3. Komora każdego separatora miała maksymalną średnicę otworów wlotowych 2 mm i średnicę otworu wylotowego w części rdzeniowej 1 mm. Komory separatorów były stożkowe, takie jak przedstawiono na fig. 1 i 2 i miały długość 10 mm każda. Ciśnienie wlotowe gazu wynosiło 90 mm słupa rtęci, ciśnienie gazu w otworach wylotowych rdzeniowych i wierzchołkowym wynosiło 15 mm słupa rtęci, Stosunek spadku ciśnienia wynosił 4. Prędkość wlotowa gazu do komory separatora była równa prędkości dźwięku.

Mieszanka gazowa wprowadzona do separatora cyklonowego w pierwszym stopniu zawierała 99,3% U 238 i 0,7% U 235. W każdej z serii stopni cyklonów frakcja rdzeniowa wzbogacana była w U 235. Gaz wypływający z cyklonu na 250 stopniu (licząc od stopnia zasilania) w części rdzeniowej serii wzbogacony był w U 235 do 3%, a gaz otrzymany z porcji wierzchołkowej serii cyklonów zawierał niemal całkowicie U 238 i bardzo małą ilość to jest 0,2% U 235.

Cyklony według wynalazku nadają się także do stosowania w połączonych układach chromatografii gazowej i spektrometrii masowej jako stopień separacji molekularnej. Chromatografia gazowa stanowi najbardziej wydajną technikę rozdzielania związków organicznych o wystarczającej lotności i trwałości termicznej, podczas gdy spektrometria gazowa służy do identyfikacji składników. Bezpośrednie wprowadzenie rozdzielonych składników gazowych z kolumny do chromatografii gazowej przez cyklon według wynalazku do spektrometru masowego zmniejsza do minimum martwą objętość, powoduje szybki przepływ i wysokie wzbogacenie gazu w kolejnych próbkach. W układach takich stosuje się konwencjonalne chromatografy gazowe i spektrometry masowe. Przykładowym odpowiednim układem jest chromatograf gazowy ze spektrometrem masowym w układzie LKB, który zawiera jednoogniskowy spektrometr masowy wyposażony w analizator magnetyczny o promieniu 20 mm z sektorem 60° i generator odchylający do szybkiego przeszukiwania widma, włókno z renu stanowiące źródło jonów powstałych przez bombardowanie elektronami oraz układ pomiarowy z 14-stopniowym powielaczem elektronowym, elektrometrem i wzmacniaczem szerokopasmowym, zasilającym oscylograf UV bezpośredniego zapisu. Jako nośnik stosuje się gazowy hel, a próbkę wtryskuje się przez kolumnę do chromatografii gazowej, wypełnioną helem.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób rozdzielania gazowej mieszaniny zwłaszcza izotopów na co najmniej dwie frakcje według ciężarów cząsteczkowych lub atomowych składników mieszaniny przez poddanie jej działaniu siły odśrodkowej, z n a m i e n n y t y m , że mieszaninę poddaje się działaniu siły odśrodkowej w wirze, w którym występuje strefa peryferyjna i strefa rdzeniowa wiru o średnicy równej co najwyżej 5 mm, przy ciśnieniu bezwzględnym gazu na wlocie wynoszącym około 5–1000 mm słupa rtęci i stosunku ciśnienia na wlocie do ciśnienia gazu na wylocie z wiru zawartym w granicach około 1,5–10 i odbiera się frakcję gazową izotopu o wyższym ciężarze cząsteczkowym lub atomowym z peryferyjnej strefy wiru a frakcję izotopu o niższym ciężarze cząsteczkowym lub atomowym odbiera się z rdzeniowej strefy wiru.

2. Sposób według zastrz. 1, z n a m i e n n y t y m , że rozdzielone frakcje mieszaniny gazowej w celu wzbogacenia ich we frakcje o wyższym lub niższym ciężarze cząsteczkowym poddaje się sukcesywnie stopniowemu rozdzielaniu wirowemu w stałych warunkach.

3. Sposób według zastrz. 1, z n a m i e n n y t y m , że rozdziela się izotopy z ich mieszaniny.

4. Sposób według zastrz. 1, z n a m i e n n y t y m , że wytwarza się wir o kształcie stożkowym.

5. Sposób według zastrz. 1, z n a m i e n n y t y m , że wytwarza się wir o średnicy co najwyżej 2 mm.

6. Sposób według zastrz. 1, z n a m i e n n y t y m , że gazowej mieszaninie nadaje się prędkość równą co najmniej prędkości dźwięku w tej mieszaninie, w temperaturze prowadzenia procesu.

7. Urządzenie do rozdzielania gazowej mieszaniny zwłaszcza izotopów na co najmniej dwie frakcje według ciężarów atomowych lub cząsteczkowych składników mieszaniny przez poddanie jej działaniu siły odśrodkowej, z n a m i e n n e t y m , że składa się z obudowy (1) mieszczącej w sobie komorę rozdzielania (5) o przekroju kołowym, posiadającą wierzchołek i podstawę mającą co najmniej w części wierzchołkowej kształt stożka, przy czym średnica komory przy podstawie równa jest co najwyżej 5 mm, a średnica w części wierzchołkowej równa jest co najmniej 0,01 mm, w obudowie (1) przy podstawie komory (5) wykonany jest co najmniej jeden otwór wlotowy (2) gazu usytuowany stycznie do obwodowej powierzchni wewnętrznej komory (5) jak również otwór wylotowy (6) do odprowadzania składników mieszaniny o niższym ciężarze atomowym lub cząsteczkowym ze strefy rdzeniowej wiru, usytuowany współosiowo z komorą (5), natomiast przy wierzchołku komory (5) jest otwór wylotowy (4) do odprowadzania składników o wyższym ciężarze atomowym lub cząsteczkowym ze strefy peryferyjnej wiru.

8. Urządzenie według zastrz. 7, z n a m i e n n e t y m , że ma przegrodę (7) przy podstawie komory (5) rozgraniczającą strefę wlotową i wylotową ciągnącą się od podstawy komory do miejsca poza wlotem gazu.

9. Urządzenie według zastrz. 7, z n a m i e n n e t y m , że długość komory wynosi co najwyżej 200 mm.

10. Urządzenie według zastrz. 9, z n a m i e n n e t y m , że ścianki komory stożkowej są proste i gładkie.

11. Urządzenie według zastrz. 7, z n a m i e n n e t y m , że ma co najmniej 2 równomiernie rozmieszczone otwory wlotowe.

12. Urządzenie według zastrz. 7, z n a m i e n n e t y m , że ma zwężające się otwory wlotowe.

13. Urządzenie według zastrz. 7, z n a m i e n n e t y m , że komora (5) w większej części ma kształt stożka.

14. Urządzenie według zastrz. 7, z n a m i e n n e t y m , że maksymalna średnica komory wynosi mniej niż 2 mm.

