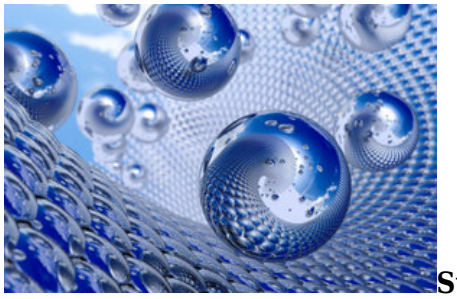
Akceptuję
W ramach naszej witryny stosujemy pliki cookies w celu świadczenia państwu usług na najwyższym poziomie, w tym w sposób dostosowany do indywidualnych potrzeb. Korzystanie z witryny bez zmiany ustawień dotyczących cookies oznacza, że będą one zamieszczone w Państwa urządzeniu końcowym. Możecie Państwo dokonać w każdym czasie zmiany ustawień dotyczących cookies. Więcej szczegółów w naszej Polityce Prywatności

Urządzenia jonizacyjne, czyli komory jonizujące i ich nieświadome użytkowanie



Streszczenie

Urządzenia jonizujące są bardzo popularne w użytkowaniu jednak mało kto zdaje sobie sprawę z ich obecności, a już na pewno ich budowa i działanie są odległym tematem. Często świat badaczy korzysta z komór jonizacyjnych, które są podstawą urządzeń jonizacyjnych, jednak nawet tu nie spotyka się często osób znających ich pospolite wykorzystanie. Artykuł ten przybliża budowę i działanie komór jonizacyjnych i jednej z najprostszych jej typów: komory jonizacyjnej płaskiej. Oprócz tego czytelnik znajdzie tu prawa dotyczące działaniu komór jonizacyjnych, jak i zależności pomiędzy nimi. Poniżej zostały omówione również zastosowania publiczne (czujki gazów), przemysłowe (eliminatory ładunków elektrostatycznych) oraz badawczych (chromatograf).

Słowa kluczowe: *komora jonizacyjna, płaska komora jonizacyjna, czujki dymu, chromatograf, eliminatory ładunków elektrostatycznych*

Wprowadzenie

Od lat 50tych do chwili obecnej technika jądrowa bardzo szybko się rozwinęła. W dzisiejszych czasach racjonalne wykorzystanie właściwości promieniowania jonizującego jest obecne we wszystkich dziedzinach naszego życia.

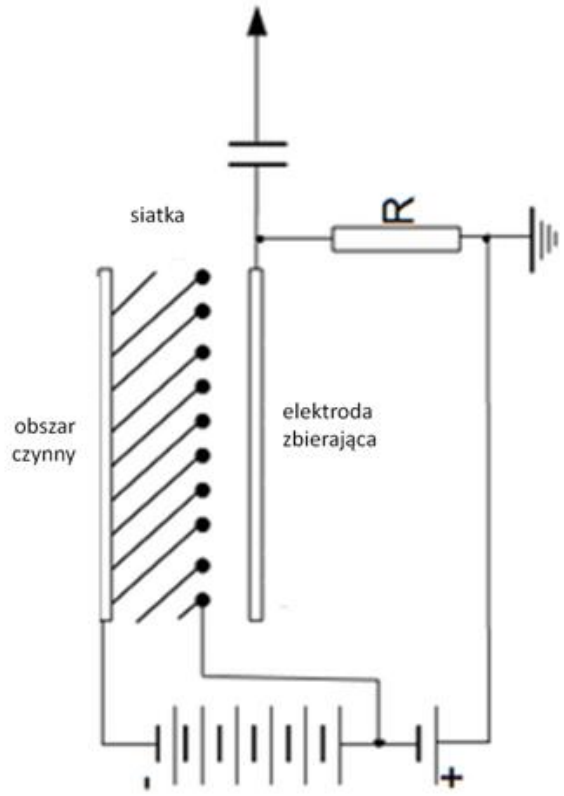
Urządzenia jonizujące są powszechnie eksploatowane. Szczególnie często wykorzystywane są urządzenia oparte na oddziaływaniach promieniowania jonizującego z gazami.

Komora jonizacyjna – teoria [1, 2, 3]

Głównym elementem budowy wszystkich urządzeń jonizujących jest komora jonizacyjna. Urządzenie to służy do pomiaru jonizacji gazu wywołanej różnego rodzaju promieniowaniem np. promieniowanie jądrowe, rentgenowskie i inne.

W gazie wypełniającym komorę w wyniku promieniowania powstają jony oraz uwolnione elektrony (powstaje prąd elektryczny). Pomiar prądu jest możliwy poprzez pomiar prądu jonizacyjnego (komora prądowa) lub zliczania oddzielnych impulsów (komora impulsowa). Jonizacji może ulegać także ciecz (np. ciekły argon) lub ciało stałe (półprzewodnik). Co pozwala na uzyskanie większych sygnałów na elektrodach przy tym samym źródle promieniowania. Jonizacja gazu zachodzi w wyniku następujących procesów:

- zderzeniem cząstki o wysokiej energii z protonem, elektronem lub cząstką α
- wzajemnych zderzeniach cząstek o wysokiej energii (jonizacji wzajemna)
- przez wybicie elektronu z powłoki atomu
- po wychwycie elektronu przez atom



Rys. 1 Schemat budowy komory jonizacyjnej

Liczbę jonów powstałych w komorze jonizacyjnej można wyrazić poprzez stosunek szerokości połówkowej piku energii sygnału, w której energie cząstek są w odpowiednim zakresie przez energię jednej jonizacji wyrażonych:

$$\Delta n_{jon} = \frac{\Delta E}{E_0}$$

Całkowita zmiana natężenia sygnału jest opisana poprzez wzór:

$$\Delta J \sim \Delta n_{jon} e = \frac{e}{E_0} \Delta E$$

gdzie:

$$\Delta U \sim \frac{e}{E_0 C} \Delta E$$

C – pojemność kondensatora

Komora jonizacyjna pozwala:

- określić straty energii jonizacyjnej cząstki, np. dla cząstki α straty energii są dla energii cząstki jonizacyjnej $\varepsilon = \frac{\Delta E}{E} = 0{,}5\%$

- rejestrować moment przejścia cząstki przez komorę $2\tau_0 \sim 10^{-6}s$.
- rejestrować średnie natężenie prądu jonizacji spowodowanego przez strumień cząstek
- zaobserwować impulsy pochodzące od poszczególnych cząstek.

Dla impulsów spowodowanych przez poszczególne cząstki urządzeniem rejestrującym jest kondensator przyłożony do okładki komory jonizacyjnej. Gdy cząstka przejdzie przez okładki kondensatora, spowoduje przepływ prądu elektrycznego, który jest wzmocniony i zarejestrowany. Elektrony ze względu na bardzo małą masę są o wiele szybsze niż dodatnie jony, czyli nasz impuls będzie składał się z dwóch części:

- szybko narastającej, która jest związana z przejściem elektronów
- powoli narastającej, która odpowiada za przejście kationów.

W komorze jonizacyjnej energia tracona przez cząstkę jest wprost prostopadła do liczby zjonizowanych jonów. Jeżeli wszystkie zbierzemy na elektrodach, to wtedy w ostatecznych rozrachunkach otrzymujemy impuls o energii wprost proporcjonalnej do jego wysokości. Nachylenie części podstawowej wykresu jest wprost proporcjonalne do liczby pierwotnych jonów. Wykres zróżniczkowany jest wprost proporcjonalny do energii cząstek w komorze.

Generacja sygnału w komorze jonizacyjnej [2, 3]

Detektor odbiera impuls prądowy indukowany w zewnętrznym obwodzie elektrody zbiorczej. Przebieg czasowy takiego impulsu opisuje twierdzenie Ramo-Shockley'a [ ]:

$$i_k(t) = \mp Q_k w_k(t) \times \varphi_k(r)$$

gdzie:

k-tą - składową globalnego ładunku wytworzonego w akcie detekcji
w_k (t) - prędkość chwilową dryfu k-tej składowej ładunku
φ_k (r) - natężenie pola elektrycznego w punkcie r wytworzonego przez jednostkowe napięcie polaryzacji detektor w warunkach usunięcia ładunku Q z objętości czynnej detektora.
r - jest chwilowym położeniem dryfującego ładunku, tj. r = r(t) określonym równaniem kinematycznym jego ruchu.
Wzór (4) ma charakter ogólny, a wykorzystuje się go, gdy funkcja w_k (t) jest znana. Funkcję tą należy wyznaczyć oraz sprowadzić funkcję φ_k (r) do postaci „odwikłanej" względem czasu - φ_k (t). Zależności te wyznaczane są dla konkretnych typów i konfiguracji detektorów. [4]

Płaska komora jonizacyjna [2, 4]

Najbardziej popularną i najprostszą w budowie jest komora jonizacyjna tzw. „komora płaska". Zbudowana ona jest z elektrod zbiorczych ułożonych względem siebie równolegle w znanej odległości D. Elektrody te są zamknięte w szczelnym pudełku wypełnionym znanym gazem o odpowiednim ciśnieniu (Rys. 2).

W wyniku działania promieniowania powstaje N elektronów i N jonów dodatnich, które przemieszczają się w kierunku odpowiednich elektrod zbiorczych z prędkościami dryfu odpowiednio w_el i w_jon, które w dużej mierze zależne są od natężenia pola elektrycznego E i jak właściwości gazu otaczającego układ. Zależności te opisane są wzorem:

$$w_k = \mp \mu_k \frac{E^n}{p}$$

gdzie:

μ_k - ruchliwość k-tego rodzaj nośnika ładunku (jonu lub elektronu)
n - wykładnik potęgowy; stanowi współczynnik empiryczny zależny od stosunku E/p (dla niewielkich wartości tego stosunku współczynnik n jest równy jedności)
∓ - znak dodatni dotyczy składowej jonowej; znak ujemny - składowej elektronowej
E - natężenie pola elektrycznego w całym czynnym obszarze komory, równe:

$$E(r) = \frac{V_s}{D} = const.$$

Kierunek wektorów prędkości dryfu nośników ładunku jest zgodny z kierunkiem wektora pola elektrycznego. Iloczyn skalarny obu wymienionych wcześniej wektorów stanowi iloczyn ich modułu. Dlatego też można wyprowadzić równanie:

$$i_k(t) = \mp Nq\mu_k \frac{E}{p}\frac{1}{D} = \mp \frac{NqV_s\mu_k}{pD} = const. \quad \text{dla } 0 < t < T_k$$

Czas zbierania nośników ε_k ładunku wyznacza się za pomocą kinematycznych parametrów ruchu nośników: prędkości dryfu w_k i odległości dzielącej punkt generacji nośników ładunku r_0 od elektrod zbiorczych. Wartość czasów zbierania nośników ładunku jest różna w zależności od powstałego ładunku:

a/ dla elektronów,

$$T_{el} = \frac{r_0}{w_{el}} = \frac{pD}{V_s\mu_{el}} r_0$$

b/ dla jonów dodatnich

$$T_{jon} = \frac{D - r_0}{w_{jon}} = \frac{pD}{V_s\mu_{jon}}(D - r_0)$$

Równanie (8) i (9) pozwalają wyznaczyć równania szczegółowe opisujące przebiegi czasowe obu składowych indukowanego impulsu prądowego komory:

a/dla elektronów

$$i_{el}(t) = \frac{NqV_s\mu_{el}}{pD^2} = const. \text{ dla } 0 < t < T_{el}$$

b/ dla jonów dodatnich

$$i_{jon}(t) = \frac{NqV_s\mu_{jon}}{pD^2} = const. \text{ dla } 0 < t < T_{jon}$$

W obliczeniach tych ważna jest również znajomość wartości ruchliwości μ_el i μ_jon. Ruchliwość

jonów jest zależna od rodzaju jonu, jego masy i temperatury ośrodka w którym się znajduje. Najczęściej przyjmuje się μ_jon = 10-3[cm-3 mmHg/V μs]. Ruchliwość elektronów jest znacznie większa (ok. trzy rzędy wielkości) μel. 5

Proporcja czasów zbierania nośników ładunku zależna jest nie tylko od ruchliwości ale również zależy od początkowego położenia r_0 wytworzonych nośników ładunku w komorze jonizacyjnej. Indukowany impuls prądowy przybiera kształt schodkowy o rozciągłości poszczególnych „stopni" zależnych od początkowego położenia nośników ładunku. Produkcja nośników ładunku zachodzi wzdłuż trajektorii cząstki jonizującej dając zbiór przesuniętych w czasie składowych impulsu o kształcie typu „tail pulse" o stromym czole i łagodnym zaniku (efekt ogonowania).

Reasumując wyznaczenie funkcji k(t) jest możliwe na podstawie bilansu energii dostarczanej (Wzas) przez źródło zewnętrzne i rozpraszanej (Wdys) w procesie transportu nośników ładunku:

$$NqE(r)\partial r = \partial(\frac{Q_k^2}{2C_k})$$

gdzie:

Qk - oznacza ładunek elektryczny zawarty w pojemności własnej komory
Ck – pojemność własna komory zawierająca ładunek Qk
Vs - napięciem polaryzacji

$$W_{dys} = NqE(r)\partial r$$

W_dys - praca niezbędną do przemieszczenia ładunku Nq na elementarnej drodze ∂r . Strona prawa

$$W_{zas} = \partial\left(\frac{Q_k^2}{2C_k}\right)$$

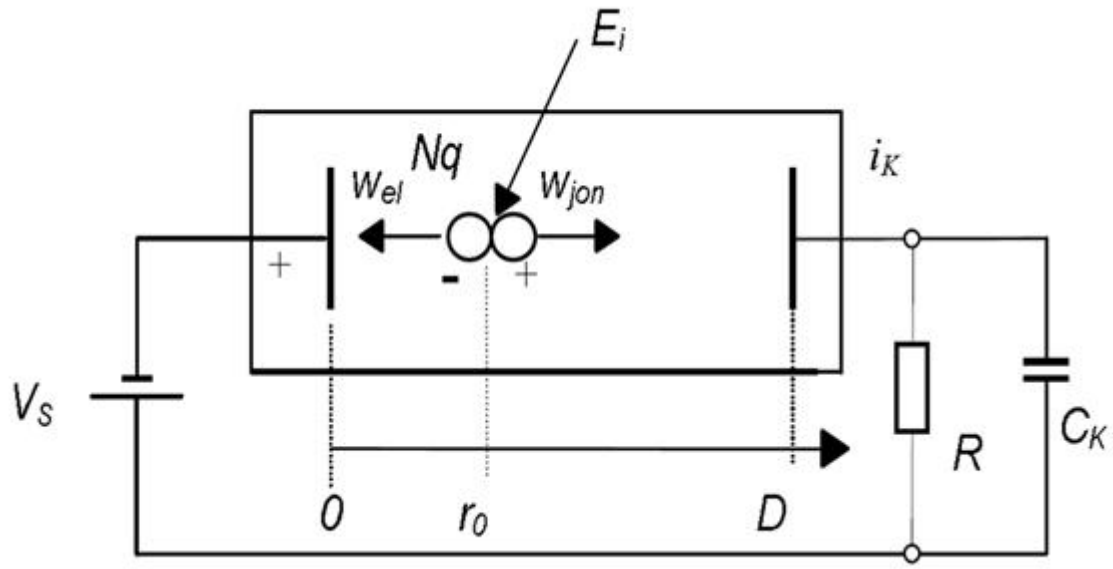
W_zas - energia pobierana ze źródła, równa infinitezymalnej zmianie energii elektrycznej kondensatora Ck
Równanie (12) najczęściej podawane jest jako bilans mocy :

$$NqE(r)\frac{dr}{dt} = V_s(\frac{dQ_k}{dt})$$

gdzie:

$\frac{dr}{dt}$ - prędkość dryfu w nośników ładunku,
$\frac{dQ_k}{dt}$ - prąd płynący w obwodzie zewnętrznym.

Całkowity ładunek impulsu prądowego jest wprost proporcjonalny do energii zdeponowaną w komorze podczas detekcji promieniowania stąd też jest nośnikiem informacji w spektrometrii jądrowej.



Rys.2 Schemat budowy komory jonizacyjnej płaskiej [4]

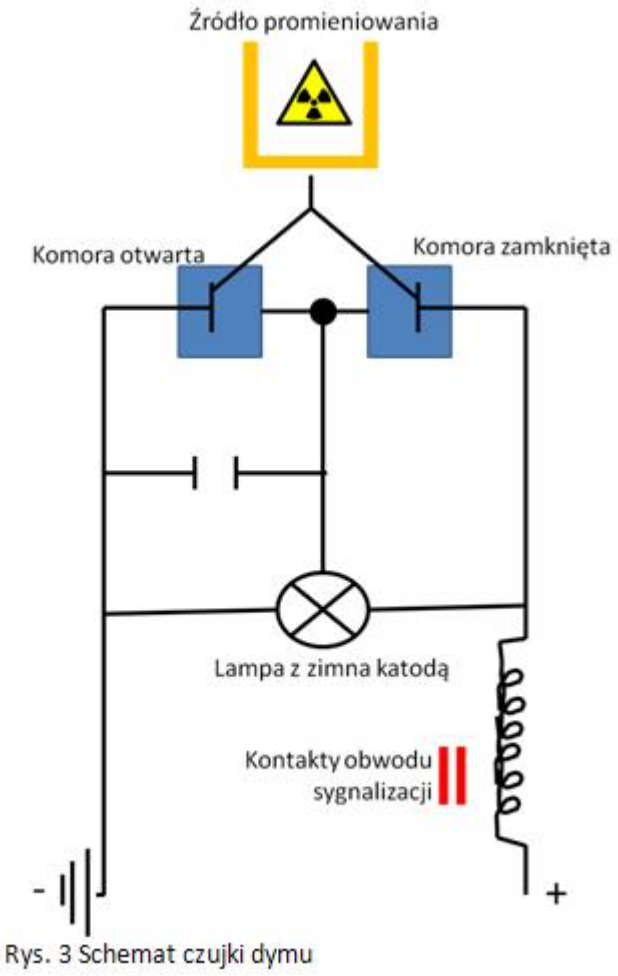
Czujniki dymu, domowe urządzenie jonizujące

Czujki dymu posiadają w swojej budowie izotopy, które są emiterami promieniowania alfa. W momencie, gdy do czujki dostanie się gaz (ciężkie cząsteczki dymu), zmniejszy się natężenie prądu jonizacyjnego w komorze jonizacyjnej. Gdy w komorze jonizacyjnej jest czyste powietrze ono także ulega jonizacji, wyznaczając tym samym bazowe natężenie prądu przepływającego przez komorę. Ciężkie cząsteczki dymu powodują kondensację jonów obu znaków (kationy i aniony), zjawisko to zmniejsza liczbę nośników ładunków. Dodatkowo cząsteczki dymu są akceptorami elektronów, co wywołuje zwiększenie ilości anionów. Ponad to cząsteczki dymu są na tyle duże, że zmniejsza się ich ruchliwość. Stan ten powoduje zmniejszenie natężenia prądu jonowego oraz gęstości objętościowej ładunku. Napięcie na elektrodach komory pozostaje bez zmian.

Czujki dymu zbudowane są z dwóch komór jonizacyjnych: otwartej i zamkniętej. Przez otwartą komorę jonizacyjną przepływa powietrze i to do niej wpadają cząsteczki dymu. Do momentu nasycenia dymem pracuje ona w obszarze rekombinacji. Zamknięta komora jonizacyjna jest nasycona, dzięki temu ma stały, niezmienny przepływ prądu. Komora zamknięta jest źródłem prądu stałego. Komory czujki dymu różnią się opornością dynamiczną (oporność komory otwartej jest o połowę mniejsza niż oporność komory zamkniętej). Komora otwarta zwiększa swój opór gdy wypełniona zostanie gazem. Zjawisko to nie zmieni jednak prądu przepływającego przez te komory jonizacyjne(komory połączone są ze sobą szeregowo), ponieważ wymusza to komora zamknięta. Zmieni się jednak stosunek napięć obu komór jonizacyjnych. Potencjał się nie zmieni, gdyż w komorze otwartej napięcie wzrośnie a zamkniętej zmaleje. W wyniku tego na zwoju pomiędzy nimi nastąpi wzrost napięcie, który spowoduje zapalenie lampy z zimną katodą. Powstały prąd uruchamia urządzenie alarmowe.

Do budowy tych urządzeń używa się źródeł o małej aktywności, aby nie stwarzały niebezpieczeństwa użytkownikom. W tym celu używane są izotopy radu 226Ra, ameryka 241Am, plutonu 238Pu oraz kryptonu 85Kr. Trzy pierwsze posiadają aktywność w przedziale 5 – 3000 kBq, krypton zaś ma większą aktywność równą kilkudziesięciom MBq.
Czujki polskiej produkcji posiadają źródło promieniowania w postaci tlenku ameryku zmieszanego ze złotem. Z tego formułowany jest pasek, który układa się na podłożu srebrnym o większej szerokość.

Następnie w wysokiej temperaturze (ok. 800 ^{0}C) spiekane są w piekarniku. Po schłodzeniu pokrywane są złotem i zwalcowywane na gorąco w celu osiągnięcia 0,2 mm grubości. Z otrzymanej foli wykrawane są krążki i umieszczane w specjalnej osłonce. Szczegółowa budowa czujki dymu została przedstawiona na rysunku poniżej.



Rys. 3 Schemat czujki dymu

Eliminatory ładunków elektrostatycznych, przykład zastosowania urządzeń jonizacyjnych w przemyśle

W celu usunięcia zgromadzonego, nadmiernego ładunku stosuje się eliminatory ładunków elektrostatycznych. W tym celu wykorzystuje się emitery promieniowania alfa bądź beta, które powodują wysoką jonizacje ośrodka z którymi oddziałuje. Jonizacja powietrza wywołana takim źródłem spowoduje powstanie obszaru przewodzącego, co zapobiegnie powstaniu dużej różnicy potencjałów pomiędzy powietrzem a ładunkiem zgromadzonym na dowolnej powierzchni. Jonizację powietrza można wywołać generatorami jonów zasilanych elektrycznie lub izotopami promieniotwórczymi. Izotopy promieniotwórcze nie powodują tak dużej jonizacji miejscowej ale nie potrzebują źródła prądu.

Eliminatory promieniotwórcze ładunków elektrostatycznych zbudowane są ze źródła promieniowania umieszczonego w uziemionej obudowie. Pudełko to umieszczane jest w optymalnej odległości od materiału, na którym gromadzą się ładunki. Odległość ta jest wyznaczana na podstawie efektywności jonizacji. Efekt jonizacji zależy, a tym samym odległość zależy od zastosowanego izotopu i rodzaju promieniowania jakie emituje. Dla źródeł beta (tal 204Tl; strąt 90Sr/ iterb 90Y) od 30 do 70 cm (odpowiednio), dla źródeł gamma np. plutonu 239Pu tylko 3-6 cm. Źródła umieszczane są w płytkach,

których aktywność całkowita wynosi 1,85 MBq. W każdy eliminatorze ładunków znajduje się od kilku do kilkudziesięciu płytek ułożonych w jednej płaszczyźnie. Eliminatory maja dwa możliwe położenia źródła: robocze (aktywne) i ochronne (w osłonie).

Ładunki elektrostatyczne powstałe na materiałach nieprzewodzących powodują:	Przemysł/ materiał, w którym problem występuje
przyciąganie pyłów, czyli brudzenie	• przemysł laminatów szklanych • przemysł tekstylny • filmy fotograficzne
Przyciąganie lub odpychanie arkuszy materiałów	• szybka produkcja materiałów • przemysł papierniczy
Zwiększenie niebezpieczeństwa pożarem	• produkcja łatwopalnych materiałów • produkcja sztucznej gumy • produkcja materiałów wybuchowych • przemysł chemiczny
Powstawanie słabych wstrząsów elektrycznych	Jedynie nieprzyjemne dla personelu

Tab. 1. Zestawienie gałęzi przemysłu w których wykorzystuje się eliminatory ładunków elektrostatycznych.

Chromatografy gazowe, nieświadome zastosowanie urządzeń jonizujących w laboratoriach

W chromatografach gazowych, służących do analizy mieszanin substancji gazowych i lotnych cieczy, wykorzystanie znalazły detektory jonizacyjne o dużej czułości. Daje on sygnał elektryczny powstały w wyniku odebrania przez detektor substancji. Substancje przesuwane są przez chromatograf w wyniku oddziłowywania z gazem nośnym. Użyty w tym urządzeniu radiofonizujący detektor jest mikrobjętościową komorą jonizacyjną. Zbudowany jest on ze źródła promieniowania beta. Promieniowanie to jonizuje gaz nośny wraz z jego zawartością (badanymi substancjami). Proces ten powoduje powstanie ładunków elektrycznych, które odbierane są przez detektor jako prąd jonizacyjny elektrod detektora. Wartość powstałego w ten sposób prądu zależy od substancji badanych. Wartość prądu komory jonizacyjnej zależy od: promieniowania, gęstości gazu (detektor argonowy), przekroju czynnego na jonizację cząstek gazu (detektor przekroju czynnego; gazem nośnym jest wodór, bądź tlen) i rekombinacji jonów powstałych w gazie (detektor wychwytu elektronów). Cechą wspólną dla wszystkich wymienionych detektorów jest posiadanie źródła promieniowania. Źródłem promieniowania w chromatografach gazowych jest wodór 3H, nikiel 63Ni, strąt 90Sr/ iterb 90Y. Dzięki izotopom można otrzymać skuteczną jonizację a tym samym wartość prądu na detektorze rzędu 10-8 A (źródło trytowe).

Podsumowanie

Komory jonizacyjne są powszechnie użytkowane, co sprawia, że z urządzeniami jonizacyjnymi spotykamy się na co dzień, mimo, że jesteśmy tego nieświadomi.

Autor: *Karolina Wójciuk*

Literatura

[1] http://pl.wikibooks.org/wiki/Wst%C4%99p_do_fizyki_j%C4%85dra_atomowego
[2] P. W. Atkins. 2008. Chemia fizyczna. Wydawnictwo Naukowe PWN
[3] K. Korbel. 2005. Układy elektroniki „Front End”
[4] D. Middleton. 1960. An Introduction to Statistical Communication Theory. McGraw-Hill, New

York,
[5] D.H. Wilkinson. 1930. Ionisation Chambers and Counters. Cambridge University Press.

http://laboratoria.net/artykul/13724.html
Informacje dnia: Jazda na rolkach - Czy jest dobrym sportem? Polimer o właściwościach przeciwgrzybiczych Stypendia ministra nauki dla niemal 400 studentów Skuteczniejsze leczenie chorych na nowotwory krwi Tylko 36% transgranicznych wód podziemnych ma ochronę Technologia ultradźwiękowa w diagnostyce chorób Jazda na rolkach - Czy jest dobrym sportem? Polimer o właściwościach przeciwgrzybiczych Stypendia ministra nauki dla niemal 400 studentów Skuteczniejsze leczenie chorych na nowotwory krwi Tylko 36% transgranicznych wód podziemnych ma ochronę Technologia ultradźwiękowa w diagnostyce chorób Jazda na rolkach - Czy jest dobrym sportem? Polimer o właściwościach przeciwgrzybiczych Stypendia ministra nauki dla niemal 400 studentów Skuteczniejsze leczenie chorych na nowotwory krwi Tylko 36% transgranicznych wód podziemnych ma ochronę Technologia ultradźwiękowa w diagnostyce chorób

Partnerzy