

Odtwarzanie i przekazywanie jednostki mocy kermy w powietrzu dla promieniowania gamma

Ewa Kaczorowska, Michał Derlaciński, Adrian Bożydar Knyziak

Główny Urząd Miar – Zakład Promieniowania i Wielkości Wpływających

W niniejszej pracy przedstawiamy stanowisko pomiarowe w Głównym Urzędzie Miar służące do odtwarzania i przekazywania jednostki kermy w powietrzu i jednostki mocy kermy w powietrzu w polu promieniowania gamma radionuklidów ^{137}Cs i ^{60}Co .

Reproduction and dissemination of the unit of kerma rate in air for gamma rays

In this work we introduce the measurement system at the Central Office of Measures (GUM), which is used for reproduction and dissemination of the unit of kerma rate in air that uses gamma rays of radionuclides ^{137}Cs and ^{60}Co .

Promieniowanie gamma

Promieniotwórczością (radioaktywnością) nazywamy przekształcanie się nietrwałych izotopów jednego pierwiastka chemicznego w izotopy innego pierwiastka, czemu towarzyszy emisja pewnych cząstek. Wszystkim rodzajom promieniotwórczości towarzyszy zwykle emisja promieniowania γ (gamma) – twardego, krótkofalowego promieniowania elektromagnetycznego. Emisja promieniowania gamma stanowi podstawowy sposób zmniejszania energii wzbudzonych produktów przemian promieniotwórczych. Jądro ulegające rozpadowi promieniotwórczemu nazywamy jądrem macierzystym. Powstające podczas rozpadu jądro pochodne jest z reguły w stanie wzbudzonym, a jego przejściu do stanu podstawowego towarzyszy emisja kwantu gamma. Zjawisko promieniotwórczości naturalnej odkrył francuski fizyk Antoine Henri Becquerel w roku 1896. Następnie kontynuował badania włączając w nie Piotra Curie i Marię Skłodowską-Curie. W 1898 r. odkrywają oni rad, który jest źródłem promieniowania gamma. W roku 1903 otrzymali oni wspólnie nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki za odkrycie promieniotwórczości i badanie tego zjawiska.



Odkrywca zjawiska promieniotwórczości
Antoine Henri Becquerel

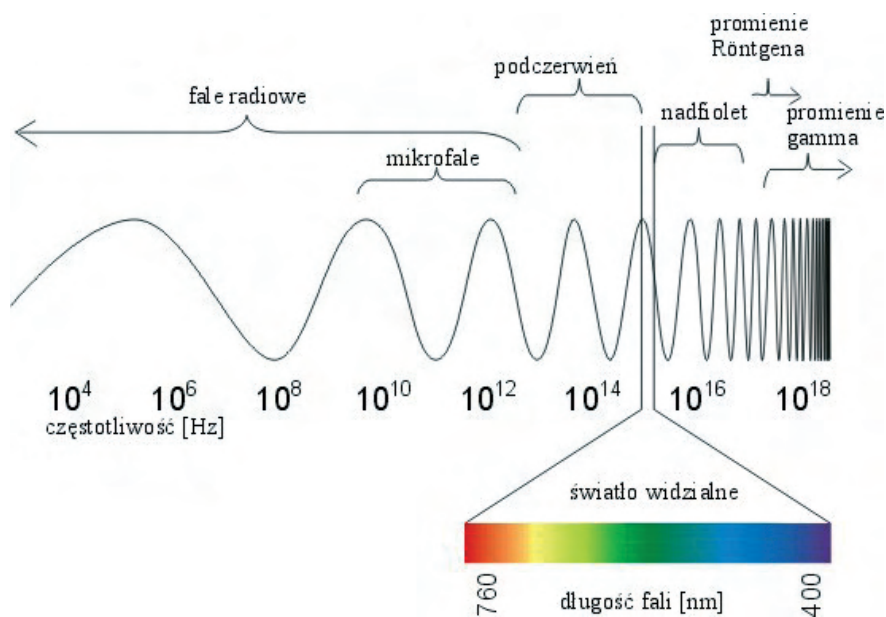


Małżeństwo Piotr Curie
i Maria Skłodowska-Curie przy pracy

Promieniotwórczość związana jest z emisją promieniowania jonizującego. Promieniowanie jonizujące jest to promieniowanie elektromagnetyczne (gamma i rentgenowskie) oraz korpuskularne (cząstki alfa, elektrony, neutrony, jony), które wywołuje jonizację ośrodka materialnego, tj. oderwanie przynajmniej jednego elektronu od atomu lub cząsteczki, albo wybicie go ze struktury krystalicznej. Odkrycia promieniowania gamma towarzyszącego zjawisku promieniotwórczości dokonał Paul Villard w roku 1900. W 1934 r. Irena i Fryderyk Joliot-Curie odkryli nowe źródło promieniowania gamma – sztuczne ciała promieniotwórcze.

Promieniowanie gamma powstaje w wyniku:

- rozpadu promieniotwórczego, w którym jądra atomowe pierwiastków promieniotwórczych, powstałe w wyniku rozpadu, znajdują się w stanie wzbudzonym. Powrót do stanu podstawowego, o niższej energii, powoduje emisję fotonu gamma;
- reakcji syntezy, w których dwa jądra atomowe zderzają się, tworząc nowe jądro w stanie wzbudzonym, którego przejściu do stanu podstawowego może towarzyszyć emisja jednego lub wielu fotonów gamma;
- anihilacji, w której w wyniku zderzenia cząstki i antycząstki, obie ulegają przemianom w fotony gamma.



Umieszczenie promieniowania gamma w spektrum fal elektromagnetycznych

Duża częstotliwość promieniowania gamma, a co się z tym wiąże duża ilość energii przenoszonej i krótka długość fali (poniżej 10 pm) sprawiają, że jest ono bardzo przenikliwe i przechodzi przez wszystkie ciała, niezależnie od ich stanu skupienia. Przy przechodzeniu przez materię część promieniowania padającego zostaje zatrzymana, przez co wiązka promieniowania doznaje osłabienia natężenia. Stopień osłabienia zależy od cech fizycznych osłabiającej materii oraz od długości fali promieniowania. Krótkofalowe promieniowanie wykazuje większą przenikliwość niż długofalowe. Przejściu promieniowania gamma przez materię towarzyszy zawsze powstanie wtórnego promieniowania elektronowego (fotoelek-

trony) i wtórnego promieniowania elektromagnetycznego (promieniowanie rozproszone). Promieniowanie gamma rozchodzi się w przestrzeni prostoliniowo, podobnie jak światło widzialne, z szybkością równą prędkości światła. Jest natomiast niewidzialne dla oka ludzkiego. Jak każde promieniowanie, które wychodzi z jednego punktu lub z ograniczonego obszaru, tak i promieniowanie gamma doznaje straty natężenia w miarę wzrastania odległości od źródła promieniowania. Wiadomo, że promieniowanie gamma nie ugina się w polu magnetycznym ani w polu elektrycznym. Ze względu na wyżej wymienione cechy, promieniowanie gamma posiada właściwości wywoływania zjawisk, które obejmujemy ogólnym mianem fizycznego, chemicznego i biologicznego działania promieniowania gamma.

Działanie fizyczne promieniowania gamma przejawia się w postaci jonizacji gazów. Powietrze i inne gazy są w normalnych warunkach obojętne elektrycznie. Pod wpływem promieniowania gamma ulegają jonizacji i stają się przewodnikami w polu elektrycznym. Zjawisko to jest wykorzystane w miernictwie promieniowania gamma. Z innych zjawisk o mniejszym znaczeniu należy wymienić wzrost temperatury ciał naświetlanych oraz zmianę barwy, jaką wykazują niektóre związki chemiczne poddane promieniowaniu gamma. Do chemicznego działania należy zaliczyć oddziaływanie promieniowania gamma na emulsję fotograficzną. Podobnie jak światło, promieniowanie gamma powoduje zaczernienie tej emulsji. Inną właściwością jest pobudzanie niektórych substancji do świecenia. Właściwości te wykorzystuje się w ocenie dawek promieniowania oraz w diagnostyce medycznej i przemysłowej.

Biologiczne działanie promieniowania gamma przejawia się w uszkodzeniu komórek, które może doprowadzić do choroby popromiennej czy nawet do śmierci organizmu w przypadku otrzymania zbyt dużej dawki. Ma też działanie mutagenne i rakotwórcze. Jednak nie należy zapominać, że to samo promieniowanie w małych dawkach wykorzystywane jest w diagnostyce medycznej (scyntygrafia i PET czyli pozytonowa tomografia emisyjna), a w dużych dawkach odpowiednio zaaplikowanych – do leczenia chorób nowotworowych (radioterapia i brachyterapia).

Wzorcowe źródła promieniowania gamma

Pierwszym naturalnym źródłem promieniowania gamma było źródło radowe. Oznaczenie ilości radu odbywało się najczęściej drogą pomiarów promieniowania gamma. W celu ujednoczenia pomiarów wykonywanych w różnych krajach, Komisja Wzorców wybrana w Brukseli w 1910 r. postanowiła utworzyć wzorzec międzynarodowy radu. Wzorzec ten został sporządzony w sierpniu 1911 roku przez Marię Skłodowską-Curie. Była to cienkościenna rurka szklana, zawierająca 21,99 mg bardzo czystego chlorku radu. W Wiedeńskim Instytucie Radowym sporządzono inny wzorzec zawierający 31,17 mg chlorku radu jako wzorzec pomocniczy. W roku 1912 komisja dokonała porównania obu wzorców i stwierdziła ich zupełną zgodność. Międzynarodowy wzorzec był przechowywany w Międzynarodowym Biurze Miar, skąd przenosiło się go do Instytutu Radowego w Paryżu w celu sprawdzania wzorców wtórnych.

Laboratoriom pomiarów promieniotwórczości zalecano posiadanie kilku wzorców o różnej zawartości radu, których wzajemne stosunki mas były dokładnie znane. Obecnie, w związku z rozwojem techniki jądrowej, uzyskuje się szereg innych izotopów będących źródłami promieniowania gamma.

Pomiar i rejestracja promieniowania gamma

Konieczność dokonywania pomiarów promieniowania gamma wynika nie tylko z jego zastosowań medycznych, naukowych, przemysłowych czy wojskowych, lecz przede wszystkim z jego szkodliwości dla zdrowia i życia człowieka. Wiemy, że promieniowanie gamma przechodząc przez ośrodek materialny dokonuje jego jonizacji. Zjawisko jonizacji jest wykorzystywane do pomiaru i rejestracji promieniowania. Do pomiarów promieniowania jonizującego, a w tym przypadku promieniowania gamma, służą przyrządy nazywane dawkomierzami. Złożone są one z dwóch zasadniczych części: detektora promieniowania (np. komora jonizacyjna, licznik proporcjonalny, licznik scyntylacyjny, detektor półprzewodnikowy) i układu elektronicznego mierzącego wielkość jonizacji (np. w postaci: impulsu elektrycznego, ładunku jonizacyjnego, prądu jonizacyjnego), która miała miejsce w detektorze promieniowania. W zastosowaniach metrologicznych takim najdokładniejszym detektorem jest prądowa komora jonizacyjna. Jest to swego rodzaju kondensator wypełniony powietrzem, do którego elektrod przyłożone jest wysokie napięcie.

W wyniku promieniowania, w powietrzu wypełniającym komorę jonizacyjną, powstają jony dodatnie oraz uwolnione elektrony, które pod wpływem pola elektrycznego wędrują do odpowiednich elektrod tworząc prąd jonizacyjny. Zakres prądów jonizacyjnych rozciąga się od 10^{-8} A do 10^{-16} A. Do pomiaru tych prądów wykorzystuje się urządzenia nazywane elektrometrami pracującymi w trybie pomiaru prądu lub ładunku elektrycznego. Na podstawie przeprowadzanych pomiarów można wyznaczyć wartość dawki promieniowania, np. dawki ekspozycyjnej, kermy, dawki pochłoniętej, dawki równoważnej, dawki efektywnej (skutecznej) oraz mocy poszczególnych dawek. Wszystkie one służą do oceny narażenia na promieniowanie, a jest ich tak dużo, gdyż że nie umiemy do końca opisać, od strony matematycznej, wszystkich zjawisk zachodzących przy napromieniowaniu żywego organizmu.

Jednostka miary dawki ekspozycyjnej w polu promieniowania gamma

Dawka ekspozycyjna X jest miarą jonizacji powietrza pod wpływem promieniowania X lub γ i służy wyłącznie do oceny narażenia na to promieniowanie. Definiowana jest jako iloraz dQ i dm , gdzie dQ jest wartością bezwzględną sumy ładunków jonów jednego znaku wytworzonych przez fotony w suchym powietrzu, gdy wszystkie elektrony uwolnione w powietrzu o masie dm są całkowicie zahamowane. Jednostką dawki ekspozycyjnej w układzie SI jest kulomb na kilogram (C/kg). Dawniej jednostką dawki ekspozycyjnej był rentgen (R). Określał on ilość promieniowania rentgenowskiego lub promieniowania gamma wytwarzającą przez jonizację ładunek elektryczny $2,58 \cdot 10^{-4}$ kulombów w kilogramie czystego, suchego powietrza w warunkach normalnych (tzn. w temperaturze 273,15 K i ciśnieniu 1013,25 hPa). Pierwotnie jednostka ta odnosiła się tylko do promieniowania rentgenowskiego. W roku 1928 na Kongresie Radiologii w Sztokholmie uzgodniono, że 1 rentgen jest to dawka, która wytwarza jedną jednostkę elektrostatyczną ładunku elektrycznego w jednym centymetrze sześciennym standardowego suchego powietrza. W roku 1937 z czysto praktycznych powodów objętość jednego centymetra sześciennego powietrza zastąpiła w definicji masa 1,293 mg powietrza. Decyzją CIPM z roku 1978 dopuszcza się używania jednostki rentgena wraz z jednostkami SI. Obecnie w Polsce rentgen jest jednostką spoza

układu SI, dopuszczoną w Polsce warunkowo ze względu na pewną liczbę dawkomierzy wyskalowanych w tej jednostce.

Jednostka miary kermy w powietrzu w polu promieniowania gamma

Strumień fotonów promieniowania gamma to strumień cząstek nienaładowanych, które oddziałują elektromagnetycznie z elektronami, wybijając je z atomów i tworząc w ten sposób jony, a wybite elektrony są źródłem wtórnej jonizacji. Uwzględnienie wtórnej jonizacji w obliczeniach dawek pochłoniętych wymaga znajomości wielkości fizycznej zwanej kerma. Kerma (ang. Kinetic Energy Released in MATter) jest sumą początkowych energii kinetycznych dE wszystkich naładowanych cząstek jonizujących uwolnionych przez nienaładowane cząstki w materiale o masie dm

$$K = \frac{dE}{dm}$$

Jednostką tej wielkości fizycznej, wprowadzoną decyzją CIPM w roku 1975 w układzie SI jest grey, czyli jeden dżul na kilogram (J/kg). Jednostka miary kermy w powietrzu jest o wiele bardziej użyteczna od jednostki miary dawki ekspozycyjnej i obecnie ją zastąpiła. Wielkość jonizacji jest proporcjonalna do energii. Zatem w komorach jonizacyjnych mierzona jest wartość kermy w powietrzu. Jednostka miary kermy w powietrzu stała się podstawową jednostką miary, z której poprzez przeliczenia uzyskuje się wartości innych jednostek miary stosowanych w dozymetrii, takich jak dawka pochłonięta, dawka równoważna czy dawka efektywna.

Historia stanowiska pomiarowego jednostki mocy kermy

Historia Laboratorium Promieniowania Jonizującego rozpoczyna się w roku 1955. Prezes ówczesnego GUM, Hilary Dziewulski, utworzył Pracownię Radiologiczną, która miała wzorcować preparaty promieniotwórcze i przyrządy do pomiaru promieniotwórczości. W momencie utworzenia Pracowni brak było w kraju jakichkolwiek wzorców odniesienia w tej dziedzinie i prace metrologiczne należało zaczynać od zera. W latach 1961 – 1965 zbudowane zostały w laboratorium pomiarów promieniowania jonizującego wzorce definicyjne dawki ekspozycyjnej promieniowania X i gamma. Wzorce te należą do nielicznej grupy urządzeń tego typu istniejących na świecie.

Opracowano metody wzorcowania zamkniętych źródeł oraz dawkomierzy promieniowania gamma. Równoległe z tworzeniem stanowisk pomiarowych zakupiono wzorcowe źródła promieniowania gamma. Laboratorium posiadało zespół wzorcowych źródeł ^{137}Cs obejmujący zakres aktywności od 5 mCi do 1000 mCi oraz zespół wzorcowych źródeł ^{60}Co o aktywności 0,5 mCi do 500 mCi. Odrębną grupę źródeł stanowiły źródła radowe, zarówno ze względu na znaczenie historyczne, jak i specyfikę pomiarową. Jedną z istotnych cech wyróżniających źródła radowe jest określenie wielkości źródła masą zawartego w nim radu. Laboratorium posiadało dwa wzorce państwowe radu o wartości nominalnej 15 mg i 25 mg, otrzymane w grudniu 1956 r. i 6 wzorców wtórnych zakupionych w grudniu 1959 r. Zawartość radu we wzorcach państwowych została wyznaczona z dokładnością 0,25 % przez porównanie jonometryczne z dwoma wzorcami Hönigschmida: ze wzorcem belgij-

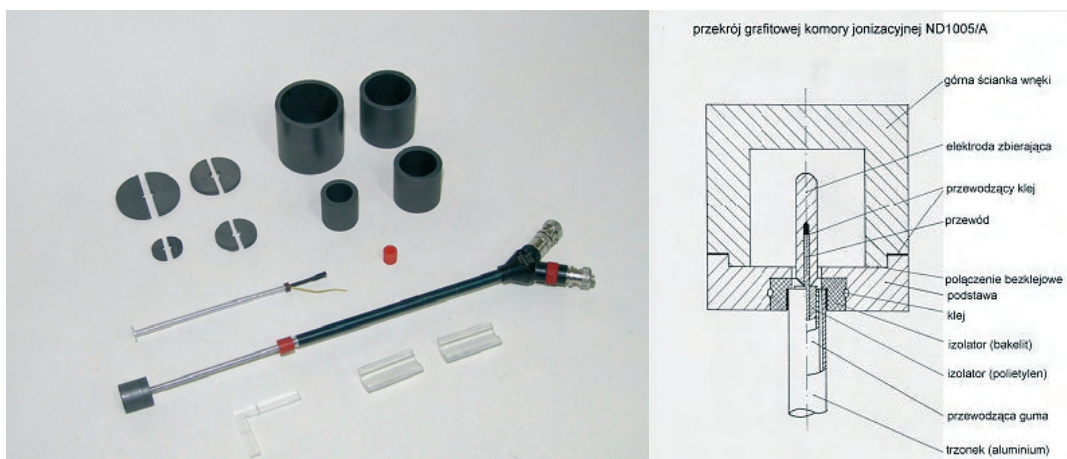
skim w roku 1956 i wzorcem zachodnioniemieckim w roku 1960. Oba wzorce Hönigschmida były porównane z międzynarodowym wzorcem radowym. W latach 1968 – 1969 przeprowadzono międzynarodowe porównania wzorcowych zamkniętych źródeł ^{60}Co . Obecnie w laboratorium nie wzorcuje się zamkniętych źródeł.

Pierwszym wzorcem państwowym jednostki dawki ekspozycyjnej i jednostki mocy dawki ekspozycyjnej promieniowania gamma była grafitowa kawitacyjna komora jonizacyjna o zmiennej grubości ścianek (oznaczona G4), wykonana w GUM w 1965 r. Komora była przystosowana do pomiarów w polu promieniowania gama ^{137}Cs i ^{60}Co . Jej błąd graniczny wynosił $\pm 1,5\%$ dla poziomu ufności 0,99. W latach 1974 – 1990 wzorzec państwowy brał udział w porównaniach międzynarodowych w ramach RWPG.

W latach 1978 – 1982, w pomieszczeniu piwnicznym, powstała Pracownia Klasy Z, w której zamontowano dwa źródła o dużej aktywności: ^{137}Cs i ^{60}Co . Zbudowano również stanowisko pomiarowe do pomiaru prądów i ładunków jonizacyjnych. Pracownia została wyposażona w urządzenia mechaniczne konieczne do załadunku pojemników roboczo-transportowych ze źródłami. W 1991 r. zakupiono nowy wzorzec pierwotny, grafitową komorę jonizacyjną ND 1005/A z kubkami. W latach 1996 i 2006 wzorzec pierwotny brał udział w porównaniach z BIPM. Obecnie laboratorium posiada dwa takie wzorce.

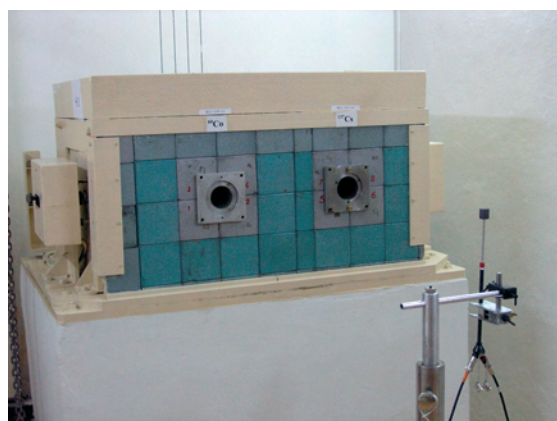
Stanowisko wzorcowe do odtwarzania i przekazywania jednostki mocy kerry w powietrzu w polu promieniowania gamma

Stanowisko wzorcowe służy do odtwarzania i przekazywania jednostki dawki ekspozycyjnej, jednostki mocy dawki ekspozycyjnej, jednostki kerry w powietrzu i jednostki mocy kerry w powietrzu w polu promieniowania gamma w zakresie energii fotonów gamma w zakresie energii fotonów promieniowania gamma $600\text{ keV} \div 3\text{ MeV}$ wzorcem pierwotnym jednostki dawki ekspozycyjnej, jednostki mocy dawki ekspozycyjnej, jednostki kerry i jednostki mocy kerry jest komora jonizacyjna ze ściankami grafitowymi o zmiennej grubości.

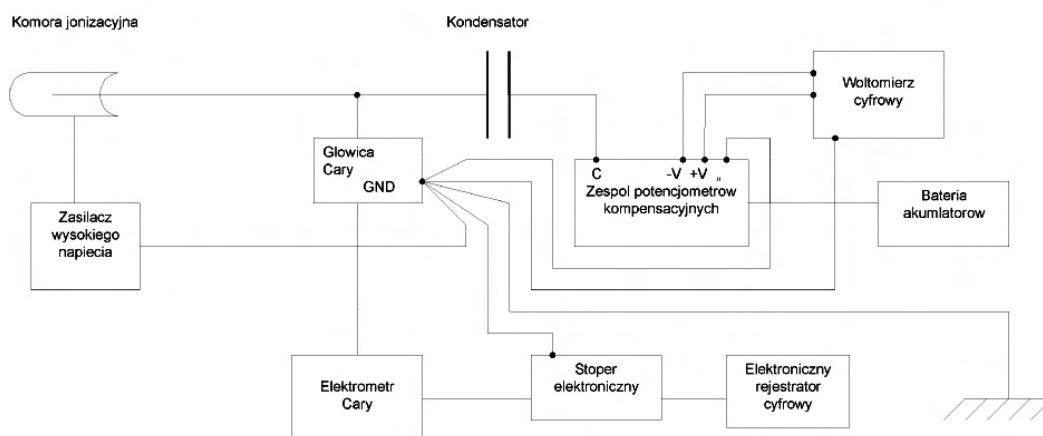


Wzorzec pierwotny – grafitowa komora jonizacyjna ND1005/A

W skład stanowiska wzorcowego wchodzi komora jonizacyjna połączona ze źródłem napięcia polaryzacji oraz urządzeniem do pomiaru ładunków i prądów jonizacyjnych.



Komora wzorcowa na stanowisku pomiarowym gamma i zespół pojemników ze źródłami gamma



Blokowy schemat stanowiska wzorcowego wraz z układem Townsenda do pomiaru prądów i ładunków jonizacyjnych

Pomiar prądów jonizacyjnych dokonywany jest za pomocą metody kompensacyjnej Townsenda, w której ubytek lub przyrost ładunku elektrycznego, wywołany prądem jonizacyjnym, wyrównywany jest przez doprowadzenie lub odprowadzenie z układu takiego samego ładunku. Elektrometr włączony jest w tym przypadku jako wskaźnik zera. Ładunek doprowadza się do jednej z okładek kondensatora C z elektrody komory jonizacyjnej, natomiast do drugiej okładki przykładane jest napięcie kompensacji U , czerpane z potencjometru. Prąd jonizacyjny I wyrażony zależnością

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

przenosi na elektrodę w czasie Δt ładunek ΔQ . Równy co do wartości bezwzględnej, lecz przeciwnego znaku ładunek doprowadzany jest do niej, a przez przesunięcie suwaka potencjometru zmienia się napięcie drugiej okładki kondensatora o ΔU tak, aby

$$\Delta Q = C\Delta U$$

Uzupełnieniem są przyrządy pomiarowe służące do pomiaru temperatury, ciśnienia i wilgotności powietrza. Jako urządzenia pomocnicze służą źródła promieniotwórcze gamma zawierające nuklidy ^{137}Cs i ^{60}Co , umieszczone w pojemnikach transportowo-roboczych z kolimatorami i przesłonami wiązek. Źródła te, jak i wszystkie inne, podlegają prawu połowicznego rozpadu. W celu utrzymania odpowiedniego poziomu aktywności promieniotwórczej, a co za tym idzie odpowiednich parametrów metrologicznych, należy dokonywać wymiany źródeł promieniowania: w przypadku ^{60}Co co 5 lat, a w przypadku ^{137}Cs co 30 lat. Pozostałe urządzenia pomocnicze to: ława pomiarowa z wyposażeniem i urządzenie optyczne służące do precyzyjnego ustawienia komory w wiązce promieniowania oraz zestaw telewizji przemysłowej.

Odtwarzanie jednostki miary kermy w powietrzu w polu promieniowania gamma

Szybkość rozpadów promieniotwórczych nie zależy od czynników fizykochemicznych. Liczba kwantów gamma wysyłanych przez źródła promieniowania w danym kierunku jest stała. Dlatego łatwiej jest dokonywać pomiaru wielkości mocy kermy. Moc kermy w powietrzu \dot{K} jest to iloraz dK i dt , gdzie dK jest przyrostem kermy w przedziale czasu dt . Jednostką mocy kermy w powietrzu jest grej na sekundę (Gy/s). Poprawną wartość mocy kermy w powietrzu \dot{K} uzyskujemy przy użyciu wzorca pierwotnego, którym jest grafitowa komora jonizacyjna, odczytując wartości zebranego ładunku elektrycznego w czasie (prąd jonizacyjny) i wyliczając poprawną wartość mocy kermy w powietrzu \dot{K} przy użyciu wzoru

$$\dot{K} = \frac{I}{m} \frac{W}{e} \frac{1}{1 - \bar{g}} \left(\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right)_{\text{a,c}} \bar{s}_{\text{c,a}} \Pi k_i$$

gdzie: I/m – mierzony prąd jonizacyjny na jednostkę masy powietrza w komorze wzorcowej, W – średnia energia zużyta przez elektron o ładunku e na wytworzenie pary jonów, \bar{g} – stosunek energii wtórnych cząstek naładowanych, zużytej na wytworzenie promieniowania hamowania, do sumy energii tych cząstek, $(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{a,c}}$ – stosunek masowych współczynników pochłaniania energii promieniowania w powietrzu i graficie, $\bar{s}_{\text{c,a}}$ – stosunek średnich masowych zdolności hamowania grafitu i powietrza, Πk_i – iloczyn współczynników korekcyjnych użytych do określenia kermy w powietrzu komorą wzorcową.

Wyniki pomiarów korygowane są do warunków odniesienia, gdyż w przypadku komory jonizacyjnej substancją napromieniowywaną jest powietrze zawarte wewnątrz otwartej komory. Znając dokładnie objętość komory jonizacyjnej i gęstość powietrza można obliczyć jego masę. Powietrze może swobodnie przepływać do, jak i z komory jonizacyjnej. Zatem gęstość powietrza będzie zależała od temperatury i ciśnienia. Na podstawie odczytu wartości temperatury i ciśnienia wyliczany jest współczynnik poprawkowy k_D wyrażony wzorem

$$k_D = \frac{p_0}{p} \cdot \frac{T}{T_0}$$

gdzie: p_0 – ciśnienie odniesienia równe 1013,25 hPa, p – ciśnienie atmosferyczne w trakcie realizacji pomiarów w hPa, T – temperatura powietrza w trakcie realizacji pomiarów równa $273,15 + t$, gdzie t temperatura w $^{\circ}\text{C}$, T_0 – temperatura odniesienia równa 293,15 K.

Na stanowisku wzorcowym laboratorium odtwarza jednostkę miary mocy kermy w powietrzu z niepewnością standardową: 0,24 % dla ^{60}Co i 0,29 % dla ^{137}Cs .

Przekazywanie jednostki miary kermy w powietrzu promieniowania gamma

Wzorcowanie dawkomierzy wykonuje się metodą podstawienia komór jonizacyjnych w polu promieniowania gamma, polegającą na kolejnym pomiarze komorą wzorcową, a następnie komorą wzorcowaną. Środki czynne komór muszą być umieszczone w tym samym, dowolnie wybranym, ustalonym punkcie pomiarowym. W czasie wzorcowania wyznacza się współczynniki wzorcowania k_γ , zależne od energii fotonów emitowanych przez nuklid (^{137}Cs lub ^{60}Co), stosując poniższy wzór

$$k_\gamma = \frac{\dot{K}}{M \cdot k_D}$$

gdzie: \dot{K} – poprawna wartość mocy kermy, M – wartość zmierzona przez dawkomierz wzorcowany, k_D – współczynnik poprawkowy uwzględniający odchyłkę warunków środowiskowych od warunków odniesienia ($t_0 = 20\text{ °C}$ i $p_0 = 1013,25\text{ hPa}$).

Do pomiarów dozymetrycznych wykorzystuje się bezpośrednio komorę wzorca pierwotnego lub porównane z nią wzorce wtórne.

Podsumowanie

Opisane stanowisko wzorcowe jest jedyne tego typu w kraju i nie ma odpowiednika w terenowej służbie miar. Stanowisko to służy do przekazywania jednostki miary do akredytowanych krajowych laboratoriów wzorcujących oraz do wzorcowania przyrządów pomiarowych stosowanych w przemyśle, nauce i ochronie radiologicznej.

Stosowana metoda manualnej kompensacji używana jest w metrologii od lat 20. XX w.; pomimo jej dużej dokładności jest ona jednak bardzo pracochłonna. W związku z tym prowadzone są obecnie prace modernizacyjne stanowiska pomiarowego, których celem jest automatyzacja układu pomiarowego ładunków i prądów jonizacyjnych przy jednoczesnej poprawie parametrów metrologicznych. Kolejnym etapem modernizacji będzie wyliczenie współczynników korekcyjnych przy pomocy metod obliczeniowych Monte Carlo, co pozwoli na dokładniejsze odtworzenie jednostki.