

Zasady pracy z promieniowaniem jonizującym na Wydziale
Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

23 października 2017

Spis treści

1	Wstęp	2
2	Promieniowanie jonizujące, definicje jednostek	3
3	Pracownie	5
4	Dozymetry	6
5	Źródła promieniotwórcze	7
5.1	Pobieranie i oddawanie źródeł	7
5.2	Zasady pracy ze źródłami	9
5.2.1	Minimalizacja ryzyka	9
5.3	Skazenie	10
5.4	Zakup, wywóz i przywóz źródeł	10
6	Urządzenia wytwarzające promieniowanie jonizujące	10
7	Postępowanie alarmowe	11
8	Typy i budowa źródeł	11
8.1	Źródła γ	11
8.2	Źródła X, γ	11
8.3	Źródła X, γ , β	11
8.4	Źródła α	12
8.5	Źródła specjalne	13
A	Właściwości najczęściej używanych izotopów promieniotwórczych	14

1 Wstęp

Wydział Fizyki, jako jednostka prowadząca zarówno zajęcia dydaktyczne jak i badania naukowe, posiada wiele różnych źródeł promieniowania jonizującego. Pod terminem „promieniowanie jonizujące” kryje się cała gama cząstek, od kwantów promieniowania X i γ , przez elektrony (promieniowanie β), miony, protony, neutrony oraz cząstki α , aż do ciężkich jonów, czyli większych jąder atomowych. Niezależnie od mechanizmu, który może być bezpośredni lub pośredni, wszystkie mają wspólną cechę - zdolność do wrywania elektronów, bądź rozrywania wiązań chemicznych i, co za tym idzie tworzenia jonów w materii przez którą przechodzą.

W komórkach żywych organizmów najbardziej wrażliwą na promieniowanie częścią jest jądro komórkowe i zawarty tam materiał genetyczny. Jonizacja może dotknąć bezpośrednio cząsteczki DNA, powodując jej rozerwanie. Drugi mechanizm generowania uszkodzeń stanowi jonizacja wody zawartej w komórce. W wyniku tego procesu powstaje aktywny chemicznie rodnik wodorotlenkowy OH^- , który może powodować uszkodzenia DNA przez dołączanie się do niego. Uszkodzone

DNA może się zregenerować, jeżeli jednak informacja zostanie zniszczona w nieodwracalny sposób, komórka może umrzeć lub zmutować, także w sposób prowadzący do powstawania nowotworu.

W przypadku niewielkich dawek promieniowania na organizm ludzki mamy do czynienia z efektami stochastycznymi. Nie da się przewidzieć czy, i kiedy wystąpią negatywne skutki kontaktu z promieniowaniem jonizującym. Dlatego naczelną zasadą pracy z promieniowaniem jonizującym jest zasada ALARA (As Low As Reasonably Achievable), czyli narażanie ludzi na możliwie małe - w granicach rozsądku - dawki promieniowania. Najnowsze badania (K. Leurad et al., Lancet Haematol 2015; 2: e276-81) podsumowujące dane dotyczące ponad 300 000 pracowników energetyki jądrowej z USA, Francji i Anglii wskazują, że nawet małe dawki promieniowania (średnia dawka wynosiła 1.1 mGy na rok) zwiększają ryzyko wystąpienia białaczki w sposób istotny statystycznie. Dlatego należy starać się pracować z promieniowaniem jonizującym w sposób odpowiedzialny, jeżeli nawet nie w trosce o własne dobro, to przede wszystkim mając na względzie bezpieczeństwo innych osób.

2 Promieniowanie jonizujące, definicje jednostek

Źródłem promieniowania może być *źródło promieniotwórcze*, czyli specjalnie przygotowany izotop lub jego związek, aparat rentgenowski, reaktor, akcelerator lub inne urządzenie wytwarzające promieniowanie.

Źródła promieniotwórcze zwykle mają podaną aktywność (A) w bekerelach

$$Bq = 1/s,$$

czyli rozpadach na sekundę. Dawniej używaną jednostką był kiur ($1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$). Warto pamiętać, że aktywność nie musi być równa liczbie emitowanych kwantów γ lub cząstek na sekundę, ponieważ podczas jednego aktu rozpadu możliwa jest emisja wielu cząstek.

Każde źródło promieniotwórcze powinno posiadać certyfikat, w którym producent podaje początkową aktywność A_0 i datę jej określenia t_0 . Znając okres połowicznego rozpadu izotopu ulegającego przemianie ($T_{1/2}$) możemy obliczyć aktywność źródła w dowolnym momencie

$$A(t) = \exp\left(-\frac{\ln 2(t - t_0)}{T_{1/2}}\right).$$

Jednostką dawki energii pochłoniętej (D) przez ośrodek przez który przechodzi promieniowanie jonizujące jest grej

$$Gy = J/kg.$$

Dawniej stosowano jednostkę rad ($1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$).

Ponieważ biologiczne skutki różnych rodzajów promieniowania nie są takie same, wprowadza się czynnik wagowy promieniowania (w_R), który przybliży taką zależność. Iloczyn dawki pochłoniętej i czynnika wagowego określany jest mianem dawki równoważnej (H_T), której jednostką jest siwert

$$Sv = J/kg.$$

Tablica 1: Czynniki wagowe dla różnych rodzajów promieniowania

Rodzaj promieniowania	czynnik wagowy (w_R)
fotony (γ, X)	1
elektrony, pozytony (β^-, β^+)	1
neutrony $E < 10$ keV	5
neutrony $10 \leq E < 100$ keV	10
neutrony $100 \text{ keV} \leq E < 2 \text{ MeV}$	20
neutrony $2 \text{ MeV} \leq E < 20 \text{ MeV}$	10
neutrony $E \geq 20 \text{ MeV}$	5
protony	5
α , ciężkie jądra	20

Tablica 2: Czynniki wagowe dla różnych tkanek

Narząd lub tkanka	czynnik wagowy (w_T)
Gruczoły płciowe (gonady)	0.20
Szpik kostny, jelito grube	0.12
Płuca, żołądek	0.12
Tarczycyca, wątroba, przełyk	0.05
Gruczoły sutkowe, pęcherz moczowy	0.05
Skóra, powierzchnia kości	0.01
Pozostałe	0.05
Całe ciało	1.00

W aktach prawnych i statystykach zwykle używa się dawki skutecznej (efektywnej) E , której jednostką również jest siwert. Dawka efektywna jest wprowadzona ze względu na różne ryzyko wystąpienia efektów biologicznych dla różnych rodzajów tkanek. Jest ona zatem sumą dawek otrzymanych przez poszczególne tkanki z uwzględnieniem czynników wagowych (w_T) mówiących o wrażliwości danego organu.

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{TR},$$

gdzie D_{TR} jest dawką promieniowania typu R pochłoniętą przez tkankę T .

W ochronie radiologicznej, w praktyce codziennej, używa się tak zwanego równoważnika dawki, który jest zbliżony do dawki równoważnej. Jego jednostką także jest siwert. Dawniej używaną jednostką był *rem* równy 0.01 Sv.

Kolejną przydatną wielkością jest moc dawki (pochłoniętej, równoważnej, skutecznej), czyli pochodna dawki (pochłoniętej, równoważnej, skutecznej) po czasie wyrażana w siwertach na sekundę (w praktyce w $\mu\text{Sv/h}$). Te wielkości (lub aktywność w bekerelach) podają monitory promieniowania, w tym przenośne liczniki Geigera używane na wydziale (starsze modele mogą podawać



Rysunek 1: Monitory promieniowania typu RKP-1-2 oraz EKO-C

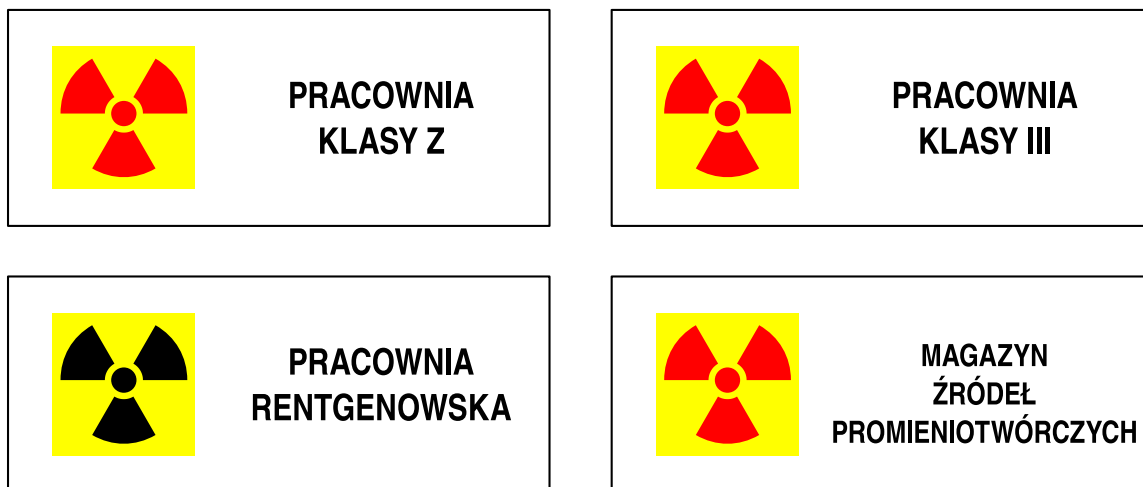
rezultat w $\mu\text{Gy/h}$). Punktem odniesienia powinno być naturalne promieniowanie tła, które w Polsce wynosi około $0.2-0.3 \mu\text{Sv/h}$.

Roczna dawka od promieniowania naturalnego w Polsce to około 2.5 mSv . Przepisy prawa wprowadzają następujące kategorie osób: ogół ludności, pracownicy kategorii A, pracownicy kategorii B. Limit dawki od źródeł sztucznych (bez procedur medycznych) dla ogółu ludności to 1 mSv , natomiast dla osób narażonych zawodowo (pracownicy i studenci powyżej 18 roku życia) maksymalnie 20 mSv dla pracowników kategorii A i 6 mSv dla pracowników kategorii B. Na Wydziale Fizyki wszyscy pracownicy narażeni na kontakt z promieniowaniem jonizującym należą do kategorii B. Wyjątkiem od powyższych zasad są kobiety w ciąży i karmiące, które pod żadnym pozorem nie mogą być narażane na sztuczne promieniowanie jonizujące.

3 Pracownie

Źródła promieniowania mogą być używane i przechowywane tylko w specjalnych pomieszczeniach. Pomieszczenia te na wydziale należą do następujących typów:

- Pracownie klasy Z,
- Pracownie klasy III,
- Pracownie rentgenowskie,



Rysunek 2: Oznaczenia pracowni

- Magazyny źródeł promieniotwórczych.

W pracowniach klasy Z można stosować tylko zamknięte źródła promieniowania, czyli takie, z którego substancja promieniotwórcza nie może się wydostać. Klasa III to najniższa kategoria pracowni, w których można stosować źródła otwarte. Dla obydwu klas pomieszczeń rodzaje stosowanych źródeł, ich aktywność i prowadzone działalności określone są w zezwoleniu wydawanym przez Państwową Agencję Atomistyki.

Źródła promieniotwórcze, które nie są wykorzystywane, muszą być przechowywane w specjalnie wydzielonym i oznakowanym miejscu - Magazynie Źródeł Promieniotwórczych (może być to pokój lub sejf w pracowni).

W pracowniach muszą być dostępne następujące dokumenty:

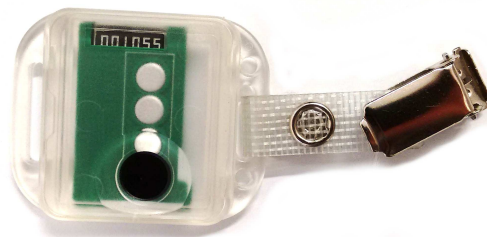
- Regulamin pracy – określający zasady bezpiecznej pracy.
- Technologiczna instrukcja pracy – zawierająca szczegółowy opis prowadzenia prac ze źródłami.
- Plany zachowań awaryjnych – opis działań, jakie należy podjąć w przypadku rozszczelnienia źródła, pożaru, kradzieży itp.

Przed przystąpieniem do prac konieczne jest zapoznanie się z tymi dokumentami.

Niniejsze szkolenie pozwala na pracę w pracowniach klasy Z oraz rentgenowskich. Praca w pracowniach klasy III wymaga specjalistycznego przeszkolenia, którego udziela inspektor ochrony radiologicznej, z którym należy się skontaktować w celu ustalenia zakresu i terminu szkolenia.

4 Dozymetry

Osoby pracujące ze źródłami promieniowania powinny być wyposażone i używać podczas pracy dozymetrów osobistych. Dawki z tych urządzeń są odczytywane kwartalnie. Wymianą dozymetrów i ich odczytem zajmuje się inspektor ochrony radiologicznej. Wymienia on także uszkodzone urządzenia i wydaje nowe dozymetry nowym pracownikom poza rutynowymi terminami.



Rysunek 3: Dozometr osobisty typu TLD

W przypadku wyjazdu do innej instytucji (która powinna zapewnić odpowiednie środki bezpieczeństwa, w tym dozometr) należy skontaktować się z inspektorem ochrony radiologicznej i ustalić sposób uzyskania informacji o otrzymanych dawkach. Jeżeli instytucja przyjmująca wydaje dokumenty określające uzyskaną przez pracownika dawkę, to kopię takiego raportu należy dostarczyć do inspektora.

Niektóre instytucje wymagają potwierdzenia, że dany pracownik jest objęty ochroną radiologiczną, przypisaną kategorii (A lub B) i informacji o dotychczasowej dawce. Taką dokumentację można uzyskać od inspektora ochrony radiologicznej.

5 Źródła promieniotwórcze

5.1 Pobieranie i oddawanie źródeł

Źródła powinny być przechowywane w specjalnie wyznaczonych Magazynach Źródeł Promieniotwórczych. Zasady dostępu do magazynu określa kierownik danego zakładu.

Przy każdym sejfie znajduje się zeszyt zawierający listę dostępnych źródeł poraz ich podstawowe parametry. Numer źródła na liście odpowiada numerowi na pojemniku, w którym jest przechowywane. Każde źródło posiada osobną kartę w zeszycie, gdzie znajdują się bardziej szczegółowe informacje oraz lista pobrań. Każda osoba pobierająca źródła powinna:

1. Wpisać pobrane źródło do zeszytu na odpowiedniej karcie. W momencie pobierania źródła należy uzupełnić następujące kolumny: imię i nazwisko osoby pobierającej źródło, datę pobrania, miejsce użytkowania źródła oraz podpis.
2. Pobrać tabliczkę ostrzegawczą i zmazwalnym flamastrem wpisać radioaktywny izotop, aktywność źródła oraz nazwisko pobierającej je osoby.
3. Pobrać źródło z magazynu i sprawdzić jego stan. W przypadku stwierdzenia jego uszkodzenia lub braku źródła należy natychmiast zawiadomić kierownika zakładu i inspektora ochrony radiologicznej.

Numer źródła: 32

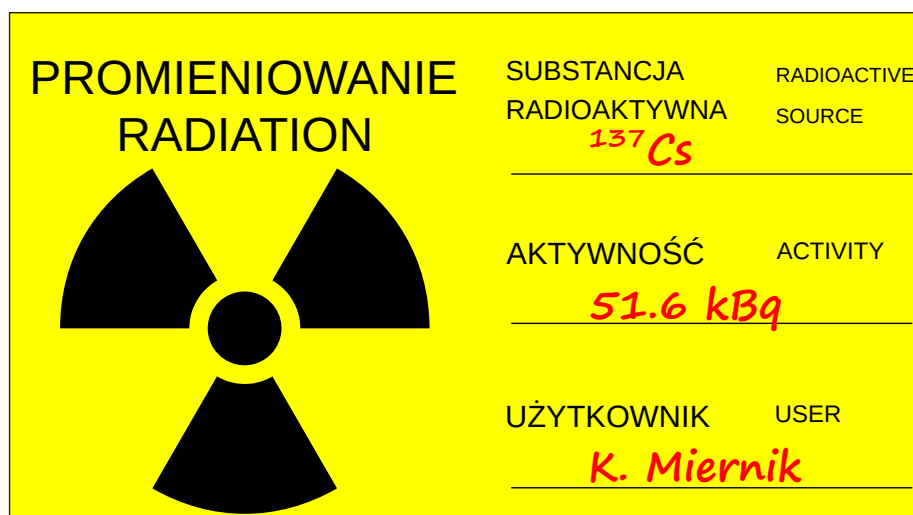
Izotop: ^{137}Cs

Numer atestu: XX-X-XX/XX/X

Aktywność: 51.6 kBq (4.02.2008)

Imię i nazwisko	Data pobrania	Miejsce użytkowania	Podpis	Data zwrotu	Podpis
Jan Nowak	13.01.2017	2.59		16.01.2017	
Krzysztof Miernik	16.01.2017	2.90			

Rysunek 4: Przykładowy wpis do karty pobrań źródła



Rysunek 5: Tabliczka ostrzegawcza i jej przykładowe wypełnienie

4. Pobrać pojemnik transportowy, który znajduje się w pobliżu magazynu i przenieść źródło na stanowisko pracy.
5. Umieścić tabliczkę ostrzegawczą w pobliżu źródła na stanowisku pracy.

Zezwolenia na prowadzenie pracowni wymagają określenia jakie radioizotopy będą w nich używane. W związku z tym, jeżeli planowane jest wykorzystywanie źródła poza laboratorium przypisanym do danego magazynu źródeł, należy skontaktować się z inspektorem ochrony radiologicznej i ustalić czy i na jakich warunkach jest to możliwe. W szczególności dotyczy to innych jednostek Uniwersytetu Warszawskiego, np. Środowiskowego Laboratorium Ciężkich Jonów.

Jeżeli dane źródło pozostaje nieużywane na stanowisku pracy lub jeżeli praca z nim została zakończona, należy je zwrócić do magazynu razem z pojemnikiem do przenoszenia, następnie dokonać wpisu w zeszycie (uzupełniając kolumny data zwrotu i podpis) oraz wyczyścić i odłożyć na miejsce tabliczkę ostrzegawczą.

5.2 Zasady pracy ze źródłami

Szczegółowe zasady pracy są opisane w Technologicznej Instrukcji Pracy, tym niemniej zawsze należy przestrzegać następujących zasad.

- Pod żadnym pozorem nie wolno naruszać obudowy źródła radioaktywnego, w szczególności otwierać jej, dziurawić, dopasowywać pilnikiem, ścisnąć w imadle lub śrubami.
- Ponieważ nie znane są chemiczne właściwości materiału obudowy, ani klejów (w tym taśm klejących), nie należy stosować takich substancji bezpośrednio na źródła. Źródło najlepiej włożyć do torebki plastikowej i wtedy je przylepić.
- Źródła radioaktywnych nie należy stosować w środowiskach gdzie mogą wystąpić takie zagrożenia jak: sąsiedztwo substancji powodujących korozję, rozpuszczalników, w próżni oraz w temperaturach poniżej -20 i powyżej $+60$ °C. W przypadku konieczności użycia źródła w takich miejscach, należy skontaktować się z inspektorem ochrony radiologicznej i ustalić sposób bezpiecznego montażu źródła.

Jeśli w trakcie pracy źródła nie są w danej chwili wykorzystywane, powinny być przechowywane w miejscu odpowiednio osłoniętym (np. podręczny sejf lub osłona z cegieł ołowianych).

W żadnym przypadku nie wolno pozostawiać źródeł bez nadzoru w miejscu dostępnym dla postronnych osób. Nie wolno wypożyczać, ani przekazywać źródeł innym osobom, w tym także z wydziału. Źródło należy najpierw oddać do magazynu, aby druga osoba mogła je pobrać wpisując się do zeszytu. Osoba pobierająca źródło i składająca podpis bierze odpowiedzialność za bezpieczeństwo źródła, swoje własne oraz innych osób do momentu zwrotu do magazynu.

5.2.1 Minimalizacja ryzyka

Istnieją trzy czynniki ograniczające ryzyko napromieniowania od źródła: czas ekspozycji, zastosowane osłony i odległość.

Czas Należy ograniczyć czas przebywania w miejscu zagrożonym promieniowaniem. Dawka otrzymana jest proporcjonalna do czasu przebywania w polu promieniowania źródła.

Odległość Pracę należy zaplanować w taki sposób, aby niepotrzebnie nie przebywać w pobliżu nieosłoniętego źródła. Dawka otrzymana od źródła punktowego jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości. Źródła należy przenosić, o ile jest to możliwe, w ołowianych pojemnikach, oraz za pomocą pęset lub szczypiec dostępnych w magazynach źródeł promieniowania. Przykładowo źródło ^{60}Co o aktywności 1 MBq trzymane w odległości 1 cm naraża nas na dawkę efektywną 3.5 mSv/h, a w odległości 10 cm tylko 0.035 mSv/h.

Oslony Jeżeli to tylko możliwe należy stosować odpowiednie osłony przed promieniowaniem. Promieniowanie α zatrzymywane jest przez warstwę kilku centymetrów powietrza czy kartkę papieru. Promieniowanie β - przez plastikowe lub aluminiowe osłony. Promieniowanie γ wymaga ołowianych osłon, natomiast promieniowanie neutronowe jest osłabiane przez wodę, tworzywa sztuczne lub beton. Skuteczność osłony należy zweryfikować przenośnym monitorem promieniowania, czułym na dany rodzaj promieniowania.

5.3 Skażenie

Nawet zamknięte źródła promieniowania mogą ulec rozszczelnieniu i stanowić źródło skażenia, dlatego wszelkie prace powinny być wykonywane za pomocą pęset, szczypiec lub gumowych rękawic dostępnych w magazynach źródeł promieniowania.

Skażenie może być powierzchniowe (np. na dłoniach, ubraniu), ale, co jest szczególnie niebezpieczne, może też wnikać do wnętrza organizmu. Przykładowo, skażenie wewnętrzne źródłem ^{241}Am o niewielkiej aktywności 1 kBq spowoduje roczną dawkę 27 mSv. Okres połowicznego zaniku tego izotopu to 433 lata. Ponieważ biologiczny półokres trwania w wątrobie to 20 lat, w kościach 50 lat, w gonadach pozostaje niewydalany, to takie skażenie pozostaje w organizmie przed bardzo długi czas. Z tego względu podczas pracy ze źródłami nie wolno jeść, pić, palić papierosów (w tym e-papierosów), używać kosmetyków, ani przebywać w odzieży wierzchniej. Jeżeli istnieją jakiegokolwiek wątpliwości co do szczelności źródła (np. widoczne są zarysowania, uszkodzenia obudowy) należy sprawdzić dłonie i ubranie dozymetrem oraz skontaktować się z inspektorem ochrony radiologicznej.

5.4 Zakup, wywóz i przywóz źródeł

Zakup substancji promieniotwórczych, niezależnie od źródła finansowania, wymaga skontaktowania się z inspektorem ochrony radiologicznej. Potrzebne będą następujące informacje:

- planowane izotopy i ich aktywności;
- typ źródła, jego fizyczna postać;
- planowane miejsce używania i przechowywania.

Po uzyskaniu opinii inspektora należy wystąpić o zgodę na zakup do Dziekana Wydziału.

Wydział posiada bogatą kolekcję różnych izotopów promieniotwórczych i może się okazać, że istnieje możliwość wypożyczenia lub uzyskania potrzebnego źródła od innej grupy badawczej.

W przypadku planowanego wypożyczenia i przywiezienia źródła spoza wydziału dodatkowo należy przygotować informacje o pochodzeniu źródła, sposobie transportu oraz wymaganiach wypożyczającej je instytucji. Używanie tak uzyskanego źródła także wymaga zgody Dziekana Wydziału.

Podobnie w przypadku potrzeby wywiezienia źródła do innej instytucji badawczej, należy przygotować informacje o wymaganiach instytucji przyjmującej źródło.

6 Urządzenia wytwarzające promieniowanie jonizujące

Przed zakupem, montażem i uruchomieniem urządzeń wytwarzających promieniowanie jonizujące, np. lamp rentgenowskich należy skontaktować się z inspektorem ochrony radiologicznej oraz uzyskać zgodę Dziekana Wydziału. Urządzenia te, jeżeli wytwarzają promieniowanie na zewnątrz (nie są w pełni osłonne), mogą być instalowane jedynie w pracowniach rentgenowskich. Podczas pracy urządzenia, drzwi do takich pomieszczeń muszą być zabezpieczone, a przed nimi wystawione ostrzeżenie dla osób postronnych przed obecnością promieniowania jonizującego. Jedynie uprawnione osoby, przeszkolone osobno dla każdego stanowiska pracy mogą użytkować te urządzenia, zaś wszelkie czynności związane z obsługą tych urządzeń należy wykonywać według instrukcji stanowiska pracy, przygotowanej w porozumieniu z inspektorem ochrony radiologicznej.

7 Postępowanie alarmowe

W przypadku wystąpienia takiego zagrożenia jak zgubienie lub kradzież źródła, jego rozszczelnienie, pożar w pracowni należy postępować zgodnie z instrukcjami zawartymi w planach zachowań awaryjnych, które znajdują się w pracowniach.

8 Typy i budowa źródeł

Źródła promieniotwórcze to izotopy promieniotwórcze lub ich związki chemiczne, których promieniowanie wykorzystujemy w określonych celach. Na większości źródeł promieniotwórczych znajdują się napisy naniesione przez producenta. Pierwsza informacja to nazwa izotopu promieniotwórczego. W kolejności Rys. (6) przedstawia: Co-60, Eu-152, Sr-90, Bi-207, Am-241 (bez oznaczeń), specjalne silne źródło Sr-90 oraz źródło neutronów Pu-Be.

Drugie oznaczenie (77, 15, 4/11, SK759, R9088, itp.) to unikatowy numer źródła. Ten numer podany jest w dokumencie dołączonym przez producenta do źródła atescie (certyfikacie). Producent podaje w nim: numer źródła, nazwę izotopu, aktywność źródła, datę określenia aktywności, metodę określenia aktywności i błąd pomiaru, możliwe zanieczyszczenia innymi substancjami promieniotwórczymi oraz uwagi dotyczące użytkowania źródła.

8.1 Źródła γ

Jeżeli chcemy wykorzystać promieniowanie γ o energii setek keV lub większej, a więc o dużym zasięgu, to obudowa może być wykonana z dwóch sklejonych krążków pleksiglasu. W jednym z nich znajduje się wgłębienie na preparat promieniotwórczy (fotografia A). Źródła takie mają średnicę 12 mm i grubość 2 mm.

8.2 Źródła X, γ

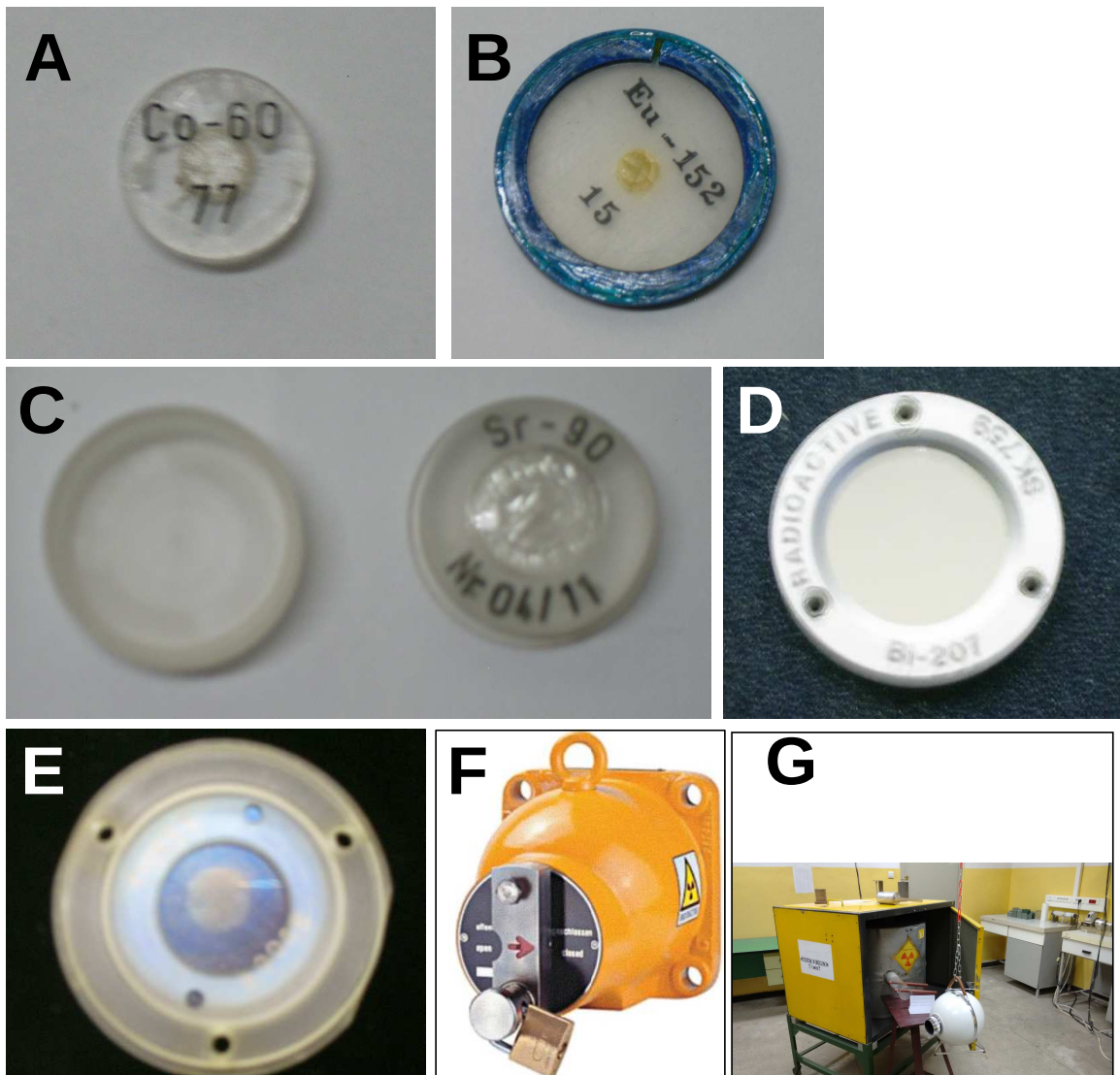
Jeśli źródło ma być emitentem promieniowania γ o energii rzędu dziesiątek keV lub mniejszej, to, ze względu na pochłanianie promieniowania obudowa musi mieć cienkie ścianki (fotografia B). Takie źródła wykonane są z dwóch krążków cienkiej folii polietylenowej zabezpieczonej pierścieniem. Substancja promieniotwórcza widoczna jest w postaci plamki. Takie źródła mają średnicę 30 mm i grubość 2.5 mm.

8.3 Źródła X, γ , β

Dla jeszcze mniejszych energii γ (kilka keV) oraz promieniowania β preparat promieniotwórczy umieszczany jest w pleksiglasowej kapsule i przykryty cienką folią mylarową (fotografia C). Do zabezpieczenia cienkiej folii służy pokrywa pokazana z lewej strony fotografii.

Pokrywa źródła jest luźno dopasowana do kapsuły, aby w czasie jej otwierania i zamykania zmiana ciśnienia nie spowodowała zniszczenia folii. Należy ją zakładać i zdejmować powoli i ostrożnie. Tak zbudowanych źródeł nie wolno używać w próżni.

Fotografia D przedstawia źródła cząstek γ o energii kilka keV oraz cząstek β , które mogą być wykorzystywane w komorach próżniowych. W tym przypadku substancja promieniotwórcza zabezpieczona jest cienką warstwą napyłonego metalu (aluminium).



Rysunek 6: Przykładowe źródła promieniotwórcze .

8.4 Źródła α

Cząstki α mają w powietrzu zasięg 4 – 5 cm (przy energii około 5 MeV), a kartka papieru czy cienka folia może je całkowicie pochłoniąć. Widma energetyczne emitowanych cząstek α zawierają monoenergetyczne linie i dodanie jakiegokolwiek warstwy zabezpieczającej preparat prowadzi do przesunięcia tych linii w stronę mniejszych energii i ich rozmycia. Z tych powodów w kalibracyjnych źródłach α (fotografia E) preparat promieniotwórczy nakładany jest elektrolitycznie, bardzo cienką warstwą, na metalową podkładkę i bardzo silnie związany z podłożem - preparat styka się z otoczeniem, ale nie przedostaje się do niego.

Uwaga: zabrudzenie powierzchni takiego źródła powoduje jego trwałe uszkodzenie. Nawet niewielkie ilości potu i tłuszczów powstałe po dotknięciu palcem będą widoczne w widmach jako

rozmycie linii i ich przesunięcie w stronę niższych energii. Czyszczenie źródła rozpuszczalnikami zwykle pogarsza tylko jego jakość, gdyż nawet najczystsze środki chemiczne zawierają śladowe ilości olejów i zanieczyszczeń osadzających się cienką warstwą na źródle.

8.5 Źródła specjalne

Praca z nietypowymi źródłami wymaga szczegółowego stosowania się do technologicznej instrukcji pracy związanej z danym stanowiskiem. Studenci i doktoranci mogą pracować z tymi źródłami tylko pod bezpośrednim nadzorem pracownika wyznaczonego przez kierownika zakładu lub kierownika pracowni.

Silne źródła promieniowania Tego typu źródła posiadają specjalną konstrukcję obudowy oraz mechanizmy zabezpieczające i pozwalające otwierać lub zamykać dostęp do preparatu promieniotwórczego (fotografia F).

Źródło neutronowe Plutonowe-berylowe źródło neutronów (fotografia G) zawiera materiał jądrowy i w związku z tym dostęp do tego źródła jest ograniczony do osób posiadających specjalne zezwolenie wydawane przez Dziekana Wydziału.

A Właściwości najczęściej używanych izotopów promieniotwórczych

Nuklid	Rodzaj promieniowania	Energia (keV)	I (%)	$T_{1/2}$ (lata)
^{22}Na	γ (anihilacja)	511.0	180.76	2.6018
	γ	1247.537	99.940	
^{54}Mn	γ	834.841	99.9758	0.8550
^{55}Fe	X	5.888	8.2	2.737
	X	5.899	16.2	
^{57}Co	γ	14.4	9.16	0.744
	γ	122.06065	85.6	
	γ	136.47350	10.68	
^{60}Co	γ	1173.228	99.85	5.27
	γ	1332.492	99.9826	
^{65}Zn	γ	1115.539	50.60	0.669
	β^-	546.0 (max)	100	
$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	β^-	2280.1 (max)	99.9885	
	γ	88.0336	3.63	1.266
^{109}Cd	γ	80.9971	34.11	10.52
	γ	276.3997	7.147	
	γ	302.8510	18.30	
	γ	356.0134	61.94	
	γ	383.8489	8.905	
^{137}Cs	X	31.817	1.99	30.08
	X	32.194	3.64	
	γ	661.657	85.10	
^{152}Eu	γ	344.2785	26.59	13.517
	γ	411.1165	2.237	
	γ	586.2648	0.455	
	γ	678.623	0.473	
	γ	778.9045	12.93	
	γ	1089.737	1.734	
	γ	1299.142	1.633	
^{204}Tl	β^-	763.76 (max)	97.08	3.783
^{207}Bi	γ	569.689	97.74	31.55
	γ	1063.656	74.5	
	γ	1770.228	6.87	
^{210}Po	α	5407.45	100.0	0.3788
^{241}Am	α	5442.80	13.1	432.6
	α	5485.56	84.8	
	γ	59.5409	35.9	

