

NIE Z OBAWĄ A Z OSTROŻNOŚCIĄ

Na promieniowaniu jonizującym, a zwłaszcza na ochronie przed nim znają się ostatnio wszyscy. Niektórzy stwierdzają co prawda: „Nie znam się na tym, ale... to i to i to”. Inni nawet nie zgłaszają takiego zastrzeżenia, tylko od razu ferują wyroki z reguły skrajne:

- „promieniowanie nie jest w ogóle niebezpieczne, a więc niech w każdym polskim domu zagości atom!” albo:
- „promieniowanie to biała i cicha albo właśnie nagła śmierć, a więc chowajmy się zawczasu do ołowianej trumny!”.

Może lepiej dowiedzieć się trochę bliżej czym jest to niewidzialne promieniowanie, jakie może nam dać korzyści i równocześnie jak może zagrozić? Pamiętajmy, że zawsze otacza nas promieniowanie naturalne, ba, w naszym organizmie tkwią naturalne izotopy i na to już większego wpływu mieć nie możemy i nie mamy. Z prześwietleń rentgenowskich też długo jeszcze będziemy korzystać.

Zdajmy sobie sprawę, że nasze żywe, ludzkie ciało składa się z dziesiątków bilionów komórek, z których codziennie kilka milionów ginie, aby na ich miejsce mogły rozwinąć się nowe. Niewielka część z nich ginie pod wpływem promieniowania naturalnego; niektóre pozostaną uszkodzone, inne będą może rozwijać się w sposób nieprawidłowy. Wiele wskazuje na to, że nasze organizmy wytworzyły przez tysiąclecia mechanizmy samoobrony, które przeciwdziałają niekorzystnym zmianom. O ile nie ma ich zbyt wiele.

Z olbrzymią ostrożnością i zapasem ustalono graniczne wartości dawek promieniowania. Tak samo jak przekroczenie dopuszczalnej na autostradzie prędkości nie musi automatycznie prowadzić do wypadku, tak i przekroczenie dawki granicznej nie musi oznaczać końca świata. Ale łatwiej o wypadek i może być on cięższy. A samochodami coraz więcej osób chce jeździć. Tylko lepiej jest zachować umiar.

Zachowajmy umiar i w podejściu do promieniowania: NIE Z OBAWĄ A Z OSTROŻNOŚCIĄ I ZROZUMIENIEM!



DODATEK 3

BEZPIECZEŃSTWO
JADROWE
I OCHRONA
RADIOLOGICZNA



Książka napisana w prosty i przystępny sposób przedstawia problemy ochrony przed promieniowaniem jonizującym, nie pomijając trudnych i kontrowersyjnych tematów spotykanych zarówno w laboratorium jak i w życiu codziennym. Może pomóc, zwłaszcza nie mającym na co dzień do czynienia z promieniowaniem i promieniotwórczością, w poznaniu lub przypomnieniu najważniejszych zjawisk, w rozszyfrowaniu niektórych najczęściej spotykanych pojęć i określeń. Może też czasem pomóc w uniknięciu zbędnego narażenia na promieniowanie siebie samego lub swoich bliskich.

Dla tych, którzy zawodowo zajmują się promieniowaniem, może być pomocna w wytłumaczeniu wybranych zagadnień ochrony radiologicznej, dopytującym się znajomym, przyjaciółom oraz kolegom i współpracownikom.

Trochę bliżej promieniowania...

Ryszard SIWICKI

Trochę bliżej promieniowania...

Dodatek Nr 3-1991

Warszawa

Spis treści

	str.
I. PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE — JAKA JEST JEGO ISTOTA?	
1. Na czym polega ochrona przed promieniowaniem jonizującym, jak chronić się przed niewidzialnym?	9
2. Ryzyko zagrożenia promieniowaniem	10
3. Korzyści i kłopoty przy stosowaniu promieniowania	10
4. Promieniowanie jonizujące różnego rodzaju	11
5. Biologiczne skutki promieniowania	12
6. Dawka, moc dawki	12
7. Objawy powodowane dużymi dawkami promieniowania	13
8. Zewnętrzne i wewnętrzne narażenie organizmu	14
9. Skażenia wewnętrzne radioizotopami	16
10. Neutrony i ich oddziaływanie	16
11. Aktywowanie pierwiastków	17
12. Aktywność preparatu a zagrożenie	18
13. Czas połowicznego zaniku	19
14. Szkodliwość promieniowania różnego rodzaju	19
II. SKĄD MOŻE POCHODZIĆ PROMIENIOWANIE?	
15. Promieniowanie naturalne jest wszędzie	21
16. Zamknięte i otwarte źródła promieniowania	22
17. Aparat rentgenowski	23
18. Prześwietlenia przemysłowe — badania gammagraficzne	24
19. Promieniowanie rozproszone	24
20. Transport substancji promieniotwórczych	25
21. Reaktor — jego budowa	26
22. Reaktory różnego rodzaju — źródłami promieniowania	27
23. Reaktor a jego otoczenie	28
24. Świejące przedmioty codziennego użytku	29
25. Promieniowanie w mieszkaniach	30
III. JAK CHRONIĆ SIĘ PRZED PROMIENIOWANIEM?	
26. Znak ostrzegawczy	31
27. Promieniowanie przy badaniach lekarskich	32
28. „Teren kontrolowany”	32
29. Wymagania stawiane laboratoriom	33
30. Czynniki decydujące o zagrożeniu promieniowaniem	33
31. Zapobieganie narażeniu	34
32. Materiały osłonowe	35

33. Zmniejszanie się zagrożenia z odległością	36
34. Trzymanie skażeń pod kloszem	37
35. Skuteczność filtrów powietrza	38
36. Odzież ochronna	39
37. Usuwanie skażeń osobistych	39
38. Skażenie promieniotwórcze	40
39. Ochrona rąk	41
40. Ograniczenia w zatrudnieniu	42
41. Unieszkodliwianie odpadów promieniotwórczych	42
42. Odpowiedzialność za bezpieczeństwo	43
IV. JAK WYKRYĆ PROMIENIOWANIE?	
43. Wykrywanie promieniowania	45
44. Kontrola indywidulana narażenia	46
45. Kontrolny film dozymetryczny	47
46. Jak działa licznik Geigera	47
47. Pomiary skażeń powierzchni	48
48. Rozróżnianie izotopów	49
49. Pomiary promieniowania ciała człowieka	50
50. Próbkę biologiczne	51
51. Pomiary promieniotwórczości powietrza naturalnej, i skażeń	52
52. Pomiary środowiska	52
V. AWARIA — PROMIENIOWANIE!	
53. Obawa przed awarią	54
54. Strefa awaryjna	54
55. Gaszenie pożaru	55
56. Możliwości wykluczenia awarii	56
57. Awaria reaktorowa	57
58. Skażenia w Polsce po Czarnobylu	57
59. Skutki działania bomby atomowej	58
60. Ochrona przed opadem promieniotwórczym	59
(wkładka)	

Ilustrowała: *Monika Lange-Dębska*
Prawa autorskie zastrzeżone

PROMIENIOWANIE. Każdy z nas styka się na co dzień z promieniowaniem. Tak, na co dzień, w każdej chwili stykamy się z niewielką ilością promieniowania i to niezależnie od naszej woli i w dodatku bez naszej wiedzy. Może nie tyle bez naszej „wiedzy”, co poza naszą świadomością, poza odczuwaniem przez nasze zmysły. Na przykład: fale radiowe — są dookoła nas, wiemy o tym przecież, ale ich nie odczuwamy i nie myślimy o nich w każdej chwili. Czasem sobie przypomnimy, szukając dalekiej stacji radiowej, słuchając muzyki lub wiadomości. Ale przecież nie myślimy czytając te słowa właśnie, że jakieś fale albo inne promieniowanie do nas dociera, może nas przenika?

Jakoś tak się uatarło, że mało kto boi się promieniowania radiowego; chyba że mieszka w pobliżu nadajnika, w pobliżu jakiegoś przekaźnika telewizyjnego — u niektórych takie sąsiedztwo wywołuje lęk. Najczęściej niepotrzebny.

Natomiast promieniowanie jonizujące, promieniowanie „atomowe” u wielu budzi obawy. Najczęściej też niepotrzebne. Chyba żeby przywiało zbyt silny opad promieniotwórczy, jakiś bliższy Czarnobyl, jakiś niedorzeczny „wyciek radioaktywny”...

Nie jest to wszystko razem tak bardzo niezrozumiałe i nie do poznania jak się na pozór wielu ludziom wydaje. Nie musimy znać szczegółów budowy odbiornika radiowego, nie musimy wiedzieć jak powstają fale, czyli promieniowanie radiowe, aby korzystać z radia, TV, słuchać muzyki, rozmawiać radiotelefonem. Z istnieniem promieniowania jonizującego też można się oswoić, też w pewnych warunkach z niego korzystać, tyle że z ostrożnością.

Ale jak właściwie można przed promieniowaniem jonizującym się chronić? Poczytajmy. Zanim zaczniemy z promieniowania korzystać; zanim miałyby nam szkodzić.

I. PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE — JAKA JEST JEGO ISTOTA?

1. Na czym polega ochrona przed promieniowaniem jonizującym, jak chronić się przed niewidzialnym?

Co to jest ochrona przed promieniowaniem?

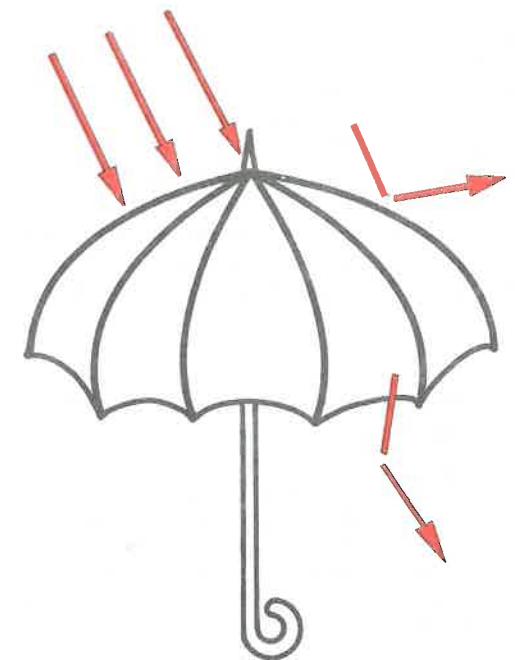
Nie zaglądając do encyklopedii można powiedzieć: ochrona jest to przedsięwzięcie różnych, nieraz bardzo prostych, środków zarówno technicznych jak i określonych sposobów postępowania, aby uniknąć wszelkiego zbędnego napromieniowania. Należy podkreślić — to sprawa zasadniczej wagi — aby uniknąć zbędnego napromieniowania; a więc zapobiegać, nie dopuszczać do napromieniowania; jeżeli nie ma warunków aby napromieniowania uniknąć całkowicie, to przynajmniej zmniejszyć jego dawkę. Raz otrzymanej dawki nie mamy jak się pozbyć. A więc pamiętajmy: **z a p o b i e g a ć!**

Jak? Nie jest to wiedza tajemna. O atomach to i owo pamiętamy ze szkoły, coś może było w radiu czy TV, przy jakimś szkoleniu. Tego co napisane tutaj nie musimy czytać od deski do deski, ale wybierzmy sobie to co bardziej interesujące. Może właśnie dowiemy się „jak”?

Wracając do pytania: co to jest ochrona przed promieniowaniem, powtórzmy, że jest to:

- unikanie napromieniowania zbędnego;
- niepodejmowanie w warunkach zagrożenia promieniowaniem prac zbyt ryzykownych, nad którymi możemy utracić kontrolę;
- organizowanie pracy, jeżeli już jest ona konieczna tak, aby dawki promieniowania były możliwe najmniejsze, ale na pewno tak, aby były niższe od dawek określonych jako graniczne.

A gdyby kogoś interesowała oficjalna definicja, to powiedzmy mu, że ochrona przed promieniowaniem, inaczej ochrona radiologiczna, jest całokształtem przedsięwzięć mających na celu ograniczenie zagrożenia ludzi i środowiska promieniowaniem jonizującym do poziomu możliwie najniższego.



parasol ochronny nosi i przy pogodzie

2. Ryzyko zagrożenia promieniowaniem

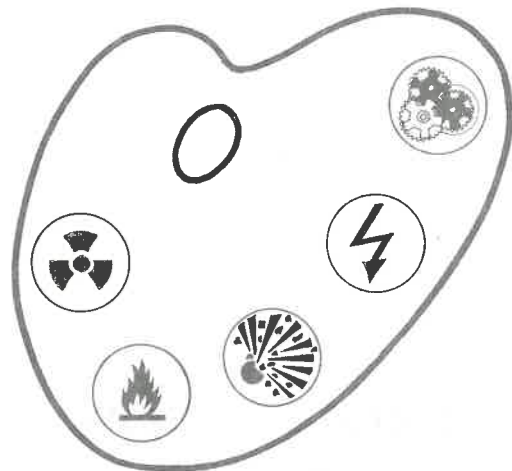
Nikomiu nie można wmawiać, że praca w warunkach zagrożenia promieniowaniem nie stanowi żadnego niebezpieczeństwa. Tak jak wszędzie i tu istnieje określone ryzyko wypadku, ryzyko choroby zawodowej. Ale „ryzyko” oznacza, że nie wszystko jest przesądzone, tzn. nie koniecznie musi się zdarzyć, jest więcej lub mniej prawdopodobne. I wiadomo, wskazują na to konkretne informacje, że rzeczywista liczba wypadków i zachorowań przy zagrożeniu promieniowaniem jest wielokrotnie mniejsza niż w innych zawodach. Stan zdrowia załóg, bez żadnych wątpliwości ani naciągania, nie jest gorszy niż gdzie indziej.

A zagrożenie poza zakładem, zagrożenie otoczenia, zwykłych ludzi, środowiska? Przyjęte przepisami międzynarodowymi ograniczenia są bardzo ostre, i co może zaskakuje, są w odniesieniu do skażeń promieniotwórczych zachowywane; również w naszych krajowych, skromnych warunkach. Porównania np. z przemysłem chemicznym czy energetyką węglową, są dla tych przemysłów niestety wyjątkowo niekorzystne. Powietrze wokół jądrowej elektrowni jest przy jej normalnej pracy całkowicie czyste.

Pozostaje na placu zagrożenie od broni jądrowej. W takim wypadku skutki byłyby rzeczywiście apokaliptyczne. Skażenia promieniotwórcze mogłyby objąć gigantyczne obszary, chociaż...? Tak, nawet w najpotworniejszej sytuacji zdarza się przeżyć. O tym pod koniec... Będzie też i o skażeniach poawaryjnych.

Wróćmy do dnia dzisiejszego. Jeżeli komuś bardziej przemawiają do przekonania liczby, to proszę bardzo: w Polsce ryzyko zachorowania na białaczkę na skutek stosowania promieniowania jonizującego w medycynie, np. przy prześwietleniach rentgenowskich jest przy najbardziej pesymistycznych założeniach obliczane na $2-5 \cdot 10^{-6}$, tzn. rocznie 2-5 osób z każdego miliona prześwietlanych obywateli może zachorować na białaczkę; jako uboczny, ujemny skutek prześwietlania. Prawdopodobieństwo białaczki naturalnej wynosi od 20 do 70 przypadków śmiertelnych rocznie wśród miliona mieszkańców, w skali całego świata, a wszystkich nowotworów ok. 2000 na milion. Ale prawdopodobieństwo śmiertelnego wypadku drogowego jest niestety np. w Polsce rzędu 175 na każdy milion! A więc blisko 100 razy większe, niż w skutek prześwietleń.

A ile zdarza się zachorowań, wypadków poza transportem, w przemyśle, górnictwie?



z różnych powodów życie jest niebezpieczne

3. Korzyści i kłopoty przy stosowaniu promieniowania

Gwoli uczciwości, trzeba powiedzieć, że trochę ryzykujemy stosując promieniowanie. Oczywiście tym więcej, im więcej jest prawdziwego, nie fikcyjnego, nie urojonego narażenia. Ale jesteśmy wystawieni na działanie promieniowania już od czasów Adama i Ewy. Pytanie tylko co dalej, jeżeli współczesny człowiek nauczył się pomnażać to promieniowanie?

Postawmy zasadnicze pytanie: warto stosować promieniowanie czy też nie warto?

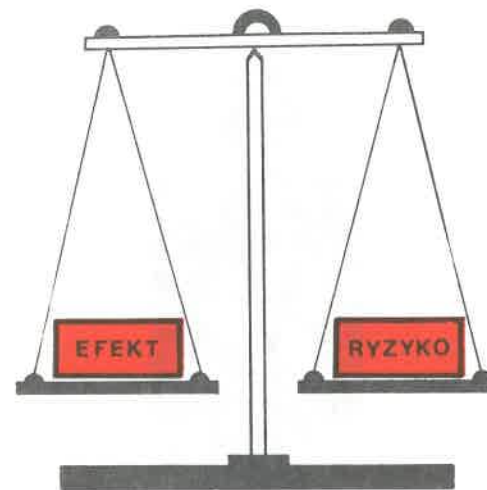
Pod określeniem „stosowanie promieniowania” rozumiemy tutaj nie tylko wykorzystywanie np. w przemyśle czy w medycynie przy badaniu i leczeniu, ale i wykorzystywanie energii jądrowej np. przy wytwarzaniu elektryczności i ciepła, kiedy występujące w samej elektrowni promieniowanie jest jednak utrudnieniem, niejako produktem odpadowym, i to kłopotliwym.

Powiedzmy sobie jasno, że minął już czas fascynacji promieniotwórczością i rozpatruje się jej wykorzystywanie w ścisłych kategoriach ekonomicznych i technicznych. Zanim zastosuje się promieniowanie, trzeba przedtem przeanalizować wszystkie inne możliwości. Promieniowanie trzeba stosować tam, gdzie innymi sposobami nie daje się rady.

Jeżeli już stosuje się promieniowanie, należy jednoznacznie udowodnić, że zysk z zastosowania przeważa nad całością ponoszonych kosztów i ewentualnych strat jakie mogą wyniknąć.

Rozpatrując trudności trzeba też zastanowić się czy nie zaistnieje nadmierne ryzyko wypadku. Nie może być ono większe przy stosowaniu promieniowania niż w innych sytuacjach. Poza tym narażenie na promieniowanie musi być sprowadzone nie tylko do wartości poniżej granicznych, ale w ogóle na poziom możliwie najniższy. Słowo „możliwie” tłumaczy się tak, że jeżeli w praktyce można w prosty sposób zagrożenie zredukować, należy to zrobić!

W sumie, stosujemy promieniowanie tam, gdzie może ono nam pomóc. Nie obawiamy się nadmierne, chociaż i na zimno warto dmuchać; istnieją warunki ku temu, aby mając pełne rozeznanie ryzyka, sprowadzić je naprawdę do minimum.



ryzyko i koszty powinny być mniejsze od korzyści

4. Promieniowanie jonizujące różnego rodzaju

Postanowiono, że najpopularniejsze rodzaje promieniowania oznaczać się będzie literkami greckimi: alfa, beta i gamma. Promieniowanie jest wynikiem zmian jakie samorzutnie zachodzą wewnątrz jąder atomów; atomów promieniotwórczych.

Zmiany te objawiają się przez wysyłanie na zewnątrz jądra, w przypadku promieniowania alfa, cząstek składających się z 2 protonów i 2 neutronów, o niewielkim zasięgu, do około 10 cm w powietrzu. Bieg takiej cząstki może być nieco odchyłony przez magnes. W przypadku promieniowania beta

wysyłane cząstki są elektronami, przy czym są one w stanie przebiec w powietrzu nawet i 10 metrów. Magnes odchyła je w stronę przeciwną niż cząstki alfa i mocniej.

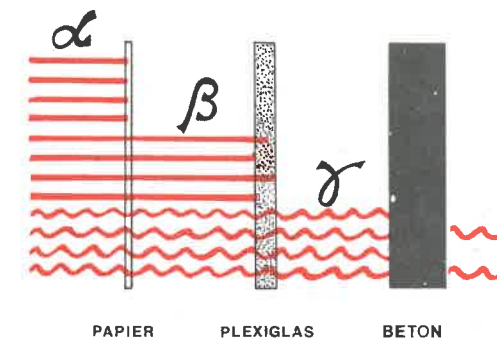
Promieniowanie gamma, również emitowane z jądra atomowego, ma charakter elektromagnetyczny i rozchodzi się po liniach prostych, z prędkością światła, nie poddając się działaniu magnesu. Wyróżnia je znaczna przenikliwość, tzn. zdolność przenikania przez różne przedmioty i materiały nawet o dużej grubości. Nie ma ono ściśle określonego zasięgu.

Wymienione 3 rodzaje promieniowania są wynikiem zmian w jądrach atomów, wynikiem tzw. reakcji jądrowych. Trzeba sobie uprzytomnić, że najczęściej w rezultacie reakcji powstają różne rodzaje promieniowania równocześnie. Na ogół, wraz z promieniowaniem beta występuje i promieniowanie gamma.

Mówimy cały czas o promieniowaniu jonizującym. Dlaczego nazywamy je jonizującym?

Otóż wspólną cechą charakterystyczną dla różnych rodzajów promieniowania, o którym mówimy, jest jego zdolność do jonizacji, czyli do rozdzielania obojętnych atomów na elektrycznie naładowane jony ujemne i jony dodatnie. Wiąże się to ze ściśle określoną stratą energii niesionej przez promieniowanie, stratą „na rzecz” otoczenia. Czyli w chwili jonizacji część energii promieniowania zostaje przekazana substancji, w której jonizacja nastąpiła. Kolejne „porcje” energii są przekazywane w innych miejscach, w bliższym lub dalszym sąsiedztwie. Wszystko to razem tworzy zespół dość skomplikowanych zjawisk.

Warto może wiedzieć, że dla żywego organizmu nie jest bez znaczenia jak gęsto obok siebie następują poszczególne jonizacje. Przy większej gęstości jonizacji skutki biologiczne są gorsze.



alfa, beta, gamma

O promieniowaniu rentgenowskim i o neutronowym jest mowa dalej, ale np. o „promieniowaniu” żył wodnych nie będzie wcale. To już nie jest promieniowanie jonizujące.

5. Biologiczne skutki promieniowania

Jak to się dzieje, że promieniowanie może uszkodzić żywą tkankę?

Promieniowanie działa kiedy zostanie pochłonięte, kiedy zostanie zatrzymane, tzn. gdy energia jaką ze sobą niesie promieniowanie zostanie przekazana otoczeniu. Stawiając garnek z wodą na ogniu powodujemy, że energia (ciepła) płomienia zostaje pochłonięta przez wodę: woda ogrzewa się. Dysponując wyjątkowo silnym preparatem promieniotwórczym też moglibyśmy zagrzać wodę.

Działanie na żywy organizm objawia się jednakże już pod wpływem znacznie mniejszych dawek promieniowania. Nie czujemy co prawda ciepła, ale „po cichu” ulegają uszkodzeniu poszczególne komórki tkanki. Wskutek przenikliwości promieniowania, zjawiska zachodzą nie tylko na powierzchni ciała, na skórze, ale i w głębszych warstwach, w narządach wewnętrznych. Uszkodzenia są naturalnie tym większe, im jest więcej promieniowania, im otrzymaliśmy jego większą dawkę.

Badania nad poznaniem szczegółowych mechanizmów powstawania uszkodzeń ciągle trwają. Wiadomo, że bardzo wrażliwe są tkanki i organizmy młode. Wiadomo, że występują dość duże różnice we wrażliwości rozmaitych organizmów żywych, w tym między ludźmi. Nie stwierdzono dotąd w sposób całkowicie pewny, aby bardzo małe dawki promieniowania były nieszkodliwe. Każda, nawet najmniejsza dawka niesie ze sobą ryzyko jakichś skutków. W konsekwencji w przepisach ochrony przed promieniowaniem zakłada się, że nie ma dawek w pełni bezpiecznych.

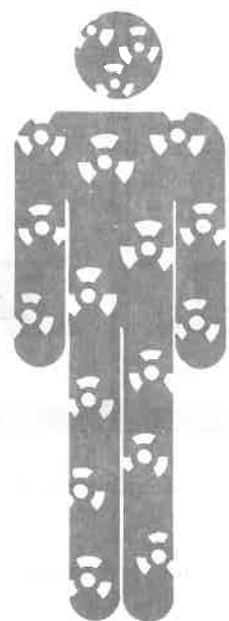
Jak wyglądają nasze wyobrażenia o tym, co się dzieje po pochłonięciu promieniowania przez tkankę? Według najbardziej rozpowszechnionego poglądu nakładają się tutaj dwa oddziaływania: z jednej strony można przypuszczać, że promieniowanie trafiło (tzw. teoria tarczy) bezpośrednio w element pełniący znaczącą funkcję w komórce tkanki powodując zniszczenia, a z drugiej, mogą się na to nakładać, oddziaływać ujemnie, zjawiska pośrednie, które wystąpiły w sąsiedztwie tejże komórki, np. w cząsteczce wody.

Można przyjąć, że nastąpiła jonizacja, a więc

powstanie jonów i innych krótkotrwałych czynników chemicznych, które kolejno reagują ze sobą i z otaczającym środowiskiem tkanki.

Dalsze zjawiska biologiczne są już znacznie opóźnione, kiedy promieniowanie dawno przeszło na nas padać. Występują zaburzenia życia komórki: trzeba tu liczyć się zarówno z procesami na prawo jak i np. wadliwym rozwijaniem się komórki, ale i z obumarciem komórki też.

Wiadomo, że reakcję organizmu jako całości daje się zaobserwować dopiero w ciągu dni i tygodni, ale tylko po wyraźnie dużych, określonych dawkach. Inne skutki tzw. opóźnione (i to bardzo) mogą, ale wcale niekoniecznie muszą, objawiać się np. jako nowotwory lub jeszcze rzadziej jako uszkodzenie genetyczne. To ostatnie oznacza, że może dotyczyć następnych pokoleń, czyli dzieci, wnuków.



promieniowanie działa na organizm

6. Dawka, moc dawki

Wiemy już, że działa na nas to promieniowanie, które jakby zatrzymało się w naszym organizmie, które nie przeszło dalej. Ilość promieniowania, a ściślej energię, która została pochłonięta przez każdy kilogram tkanki, przyjęto nazywać dawką promieniowania.

Już wkrótce po odkryciu na początku naszego stulecia promieniowania rentgenowskiego

przekonano się, że może ono parzyć. Uznano wówczas, że dawki mniejsze, nie powodujące takich skutków są bezpieczne.

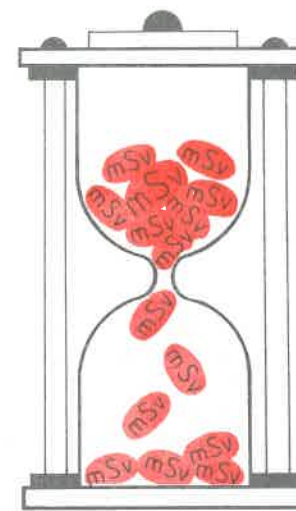
Obecnie obowiązują dawki graniczne, zbliżone wartościami do siebie w różnych krajach świata. Są one znacznie niższe niż kiedyś ale zabezpieczają przed skutkami nie tylko tak szybkimi jak poparzenie, ale uwzględniają także prawdopodobieństwo skutków odległych, w tym genetycznych. Istotna w tym względzie jest dawka gromadzona w ciągu długiego czasu, nawet przez całe życie.

Tradycyjną jednostką dawki był 1 rentgen. Zamieniono go na bardziej uniwersalny, dla wszystkich rodzajów promieniowania: 1 rem. Przy ogólnoswiatowych porządkach w systemach jednostek ustalono wartość 100 razy większą i nazwano ją: 1 siwert.

Pracownik zatrudniony zawodowo w warunkach zagrożenia promieniowaniem nie może przekroczyć rocznie 50 mSv (milisiwertów, tysięcznych części siwerta); powiedzmy od razu, że w polskiej praktyce bardzo rzadko ktoś zbliża się do takiej wartości.

Warto wiedzieć, że istnieje jednostka pochodna określająca szybkość z jaką gromadzimy dawki czyli tzw. moc dawki: będzie to np. milisiwert na godzinę.

Prosty przykład: gdybyśmy się znajdowali pod działaniem promieniowania o mocy dawki 2 mSv/godz. przez 24 godziny, to otrzymamy łączną dawkę 48 mSv. Jest to wartość już bliska tej, jakiej nie wolno przekroczyć w ciągu całego



z biegiem czasu dawki się sumują

roku, tj. 50 mSv. Oczywiście przy 20 mSv/godz. już po 2,5 godzinach byłoby te same 50 milisiwertów.

Jeszcze jedna sprawa. Czy można zmierzyć dawkę. Tak, pośrednio. Definicja 1 rentgena mówiła o pomiarze prądu ładunku elektrycznego w komorze jonizacyjnej.

Jak delikatny jest jednak pomiar dawki, niech jako ilustracja posłuży fakt, że gdybyśmy chcieli zmierzyć nie prąd elektryczny w komorze jonizacyjnej, a np. temperaturę wody poddanej napromieniowaniu, to okazałoby się, że dawka 1 rentgena podgrzałaby tę wodę zaledwie o jedną półmilionową część stopnia.

Dla celów ochrony potrafimy dziś zmierzyć jednakże dawki 100-krotnie mniejsze, tyle że wykorzystując inne zjawiska fizyczne niż podgrzewanie wody.

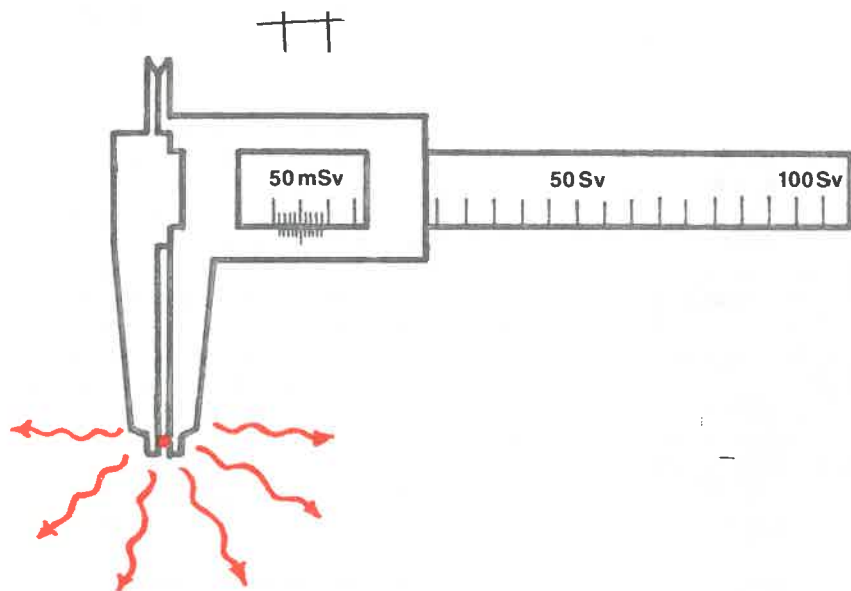
7. Objawy powodowane dużymi dawkami promieniowania

Jakie mogą być skutki promieniowania? Występuje wyraźna zależność — im większa dawka, tym szybciej występuje skutek. Ostrzejszej reakcji organizmu można się spodziewać, jeżeli całą dawkę otrzymało się jednorazowo — ta sama dawka rozłożona na szereg tygodni spowoduje skutki łagodniejsze, najprawdopodobniej dzięki częściowej regeneracji uszkodzeń. Nawet można nie zaobserwować skutków ostрых w ogóle.

Popatrzmy na działanie dużych dawek, przy jednorazowym (krótkotrwałym tj. minuty, godziny), narażeniu całego ciała na promieniowanie. Dawki w granicach 500 milisiwertów (tj. 10 razy większe niż wartość roczna dla osób zatrudnionych zawodowo przy promieniowaniu), powodują pewne przemijające zmiany w proporcjach białych i czerwonych ciałek krwi, tj. w tzw. morfologii krwi; zmiany praktycznie niezauważalne dla zainteresowanych. Po 750 milisiwertach (odpowiada 0,75 siwerta) u niektórych osób mogą zdarzyć się nudności i wymioty. Po 1 siwercie co dziesiąta osoba spośród napromieniowanych, w ciągu ok. 3 tygodni może stracić uwłosienie. Po 1–2 siwertach następują zaburzenia w czynnościach krwiotwórczych i konieczna jest pomoc lekarska. Istnieje możliwość zgonu co czwartej osoby. Dawka 2–4 siwertów jest śmiertelna dla połowy osób. Powyżej 6–10 siwertów następuje uszkodzenia żołądkowo-jelitowe i śmierć w ciągu kilku do kilkunastu dni. Przypomnijmy jeszcze raz, że dla pracowników nie dopuszcza się dawek cało-

rocznych sięgających 50 tysięcznych części siwerta. A więc jak wielki narzuca się zapas bezpieczeństwa!

Podane liczby odnoszą się do napromieniowania całego ciała. Przy naświetlaniach miejscowych, reakcja ogólna jest na pewno łagodniejsza, chociaż objawy lokalne w punkcie gdzie dawka była skupiona mogą być bardzo ostre. Krańcowym przykładem są sytuacje przy leczeniu nowotworów — dawki terapeutyczne stosowane w tym przypadku lokalnie, mogą spowodować poza niszczeniem chorej tkanki poparzenia w bezpośrednim otoczeniu chorego miejsca; gdy taką samą dawką objąć całe ciało, skutkiem byłaby ostra, rozległa choroba popromienna.



nawet małe dawki można zmierzyć

Aby mieć pełny obraz możliwych skutków napromieniowania znacznymi dawkami, trzeba brać pod uwagę jeszcze efekty, które ewentualnie mogą wystąpić ze znacznym opóźnieniem, kiedy objawy ostrej choroby popromiennej dawno zostały zapomniane. Otóż po kilku, a nawet kilkunastu latach u niektórych osób mających za sobą chorobę popromienną może ujawnić się białaczka, czyli rak krwi, albo jakiś inny nowotwór.

Zupełnie późne skutki, które nie dotyczą nas samych, po napromieniowaniu zakodowane w komórkach genetycznych, z bardzo niewielkim prawdopodobieństwem mogą ujawnić się w następnych pokoleniach tj. w dzieciach

np. poprzez inny kolor oczu lub inne anomalie.

Jeszcze jedna sprawa — wiemy, że choroba popromienna nie jest zaraźliwa; ale występuje tu zjawisko jak gdyby odwrotne: osoby, u których obserwuje się bardzo ostre przejawy choroby, są narażone w wysokim stopniu na zakażenia; są pozbawione mechanizmów samoobrony przed bakteriami. Infekcje stają się w tych warunkach częstą, bezpośrednią przyczyną zgonu.

Jedno jest całkowicie pewne: jeżeli dawka nie przekroczyła określonego progu, nie zaobserwujemy żadnej ostrej reakcji organizmu. Praktycznie, jest to w przypadku napromieniowania

nawet całego naszego ciała dawka ok. 0,5 siwerta lub jak kto woli ok. 50 rentgenów.

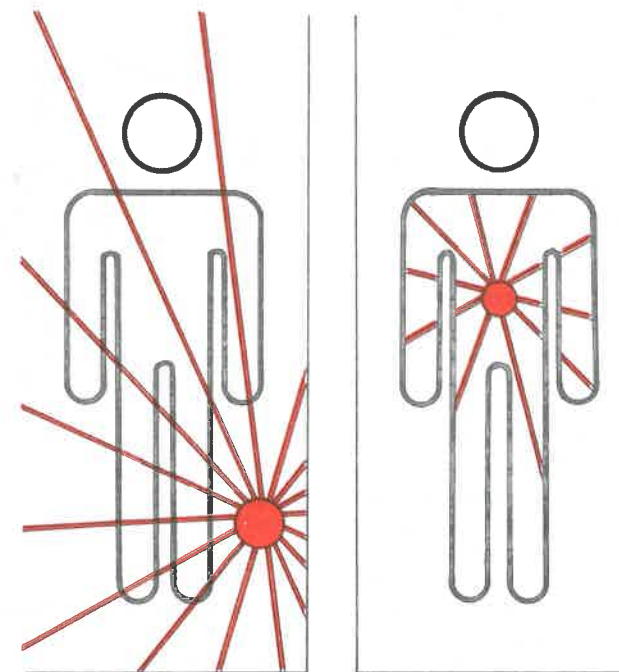
8. Zewnętrzne i wewnętrzne narażenie organizmu

Skutki działania promieniowania na skórę łatwo porównać np. do działania słońca. Na plaży, w polu, zdarzyło się nieraz żeśmy się latem przypieklili, nawet boleśnie.

Łatwo też sobie wyobrazić skutki połknięcia np. szklanki wrzącej wody. Oparzenia przetyku, a nawet i żołądka! Podobnie działałby izotop po wypiciu bardzo silnie skażonej promieniotwórczo wody. Poparzy te narządy, do których

dotrze. Może to być przewód pokarmowy, płuca, tarczyca lub inne, zależnie od rodzaju substancji. Substancji rozchodzącej się po organizmie jak trucizna.

Rozróżniamy dwa rodzaje zagrożenia promieniowaniem: zewnętrzne i wewnętrzne.



od zewnątrz — od środka

Narażenie zewnętrzne jest sytuacją gdy promieniowanie padało z zewnątrz na organizm, np. przy prześwietleniu rentgenowskim. Narażenie to ustało całkowicie, z chwilą kiedy wyłączono aparat, kiedy znaleźliśmy się poza zasięgiem jego działania. I oczywiście sami nie promieniujemy, ani nikomu innemu nie zagrażamy. Trzeba w tym miejscu dla porządku przypomnieć, że narażenie zewnętrzne, inaczej narażenie z zewnątrz, nie musi ograniczać się tylko do skóry. Promieniowanie, zależnie od rodzaju i energii, przenika w głąb organizmu.

Narażenie wewnętrzne występuje wówczas, gdy do wnętrza organizmu przedostały się substancje promieniotwórcze, np. w postaci pyłu, gazu, a nie tylko samo promieniowanie, jak to miało miejsce przy narażeniu zewnętrznym. Oczywiście, skażające organizm substancje promieniują, ale promieniują

już wewnątrz naszego ciała, stąd nazwa: narażenie wewnętrzne. Narażenie to zazwyczaj ogranicza się do określonego narządu, w którym skupiła się substancja promieniotwórcza, ale utrzymuje się ono aż do czasu wygaśnięcia izotopu lub jego wydalenia poza organizm.

I w tym przypadku nie zagrażamy swoim wewnętrznym skażeniem nikomu, chociaż ślady tego skażenia mogą być wykrywalne, np. w moczu. Skażenie takie musiałoby być awaryjnie wielkie, aby stanowiło o istotnym napromieniowaniu innych osób.

Zarówno przy narażeniu zewnętrznym jak i wewnętrznym, skutki oddziaływania na organizm, jeżeli w ogóle dadzą się zauważyć, to dopiero z większym opóźnieniem, tak jak to się zdarza i po powrocie z plaży, wieczorem, następnego dnia. Im mniejsza dawka, tym to opóźnienie jest większe. Dodajmy, że objawy zauważalne mogą być spowodowane przez dawki co najmniej dziesiątki razy większe, niż wartości graniczne określone przepisami dla osób zagrożonych zawodowo promieniowaniem.

Dla ogółu ludności dawki graniczne są jeszcze mniejsze, 50–100 razy.

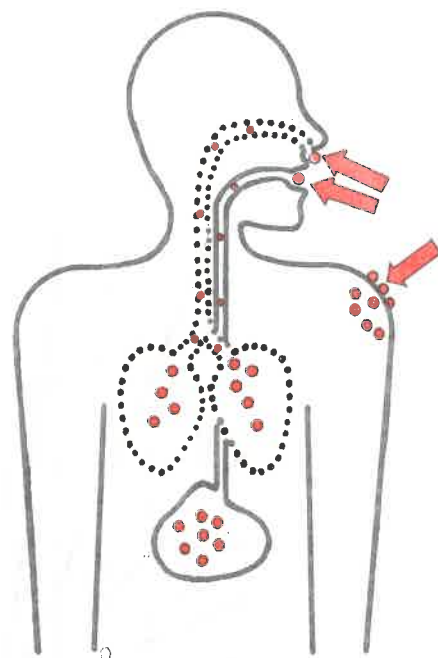
9. Skażenia wewnętrzne radioizotopami

Co się może dziać kiedy zaatakują nas izotopy? Nie są to bakterie ani wirusy, więc takie określenie właściwie nie bardzo pasuje. Izotopy promieniotwórcze mogą wnikać, lub jeżeli ktoś woli, wtargnąć do naszego organizmu, tak jak i inne substancje chemiczne. Różnymi drogami, różnymi sposobami. A więc przez wypicie skażonej wody czy innego płynu, zjedzenie czegoś skażonego, oddychanie skażonym powietrzem i wreszcie przez skórę. Oczywiście nasz organizm nie odróżnia czy ma do czynienia ze zwykłą substancją chemiczną, czy pomieszaną z radioizotopami. Raz dostawszy się do środka wędrują dalej, najczęściej z krwią. Wiele pierwiastków ma ulubione miejsca pobytu — określony narząd wewnętrzny gdzie się gromadzą i pozostają. Jod np. gromadzi się w tarczycy, wapń i stront w kościach, rubid w trzustce itd. Oczywiście właśnie te narządy są wówczas najbardziej narażone. Jak długo?

To zależy od trwałości radioizotopu i tego z jaką prędkością dana substancja skażająca będzie z narządu usuwana. Łatwo się domyślić, że izotop związany np. z kością będzie tam tkwił przez lata; w trzustce będą to miesiące, w tarczycy dni. W wyjątkowych tylko przypadkach przez podawanie specjalnych leków można w pewnym stopniu przyspieszyć ten proces i szybciej pozbyć się izotopu. Natomiast w odniesieniu do tarczycy istnieje możliwość jej „zablokowania” przez wcześniejsze „nasylenie” odrobiną czystego, tj. niepromieniotwórczego jodu. Wówczas jod promieniotwórczy wnika do organizmu zastając tarczycę już zajęta i chcąc nie chcąc, zamiast pozostawać ucieka na zewnątrz.

Powiedzmy sobie jeszcze, w jaki sposób mogą izotopy dostać się do wnętrza organizmu najłatwiej?

W przypadku osób pracujących bezpośrednio z substancjami promieniotwórczymi, jest to możliwe gdy zaistnieją skażenia osobiste, zwłaszcza kiedy skażone są ręce. Z zabrudzonych rąk łatwo mogą trafić i do ust. W sytuacji gdy wskutek nieprawidłowej wentylacji w laboratorium jest skażone powietrze, mogą trafić do płuc. Natomiast osoby nie mające nic wspólnego z taką pracą, nie mają innych szans na skażenie, niż zanieczyszczeniami, które znalazły się w pożywieniu, jako bardzo odległy skutek próbnych wybuchów bomb lub awarii, w rodzaju awarii czarnobylskiej.



atak grozi z różnych stron

10. Neutrony i ich oddziaływanie

Neutron jest jednym z podstawowych składników jądra atomowego charakteryzujący się tym, że nie ma ładunku elektrycznego, a więc jest elektrycznie neutralny, o masie prawie równej masie protonu, drugiego podstawowego składnika jądra.

Ale nas interesują neutrony jako promieniowanie, a nie jako cząstki uwięzione wewnątrz atomowego jądra. Jak je stamtąd wyrwać? Otóż istnieją pierwiastki, jak np. beryl, które po zmieszaniu z substancją alfa-promieniotwórczą w rodzaju polonu, plutonu czy radu, emitują właśnie neutrony. Dzieje się to pod wpływem bombardowania berylu ciężkimi cząstkami alfa, obdarzonymi dużą energią. Beryl z polonem, zamknięty w szczelnej ampule stanowi niewielkie źródło neutronów. Neutronów o względnie wysokiej energii, tzw. neutronów prędkich, pochodzących się ze źródła we wszystkich kierunkach jednakowo. Nie mają one ściśle ograniczonego zasięgu. Promieniowanie neutronowe można wykryć w odległości nawet kilku metrów od źródła.

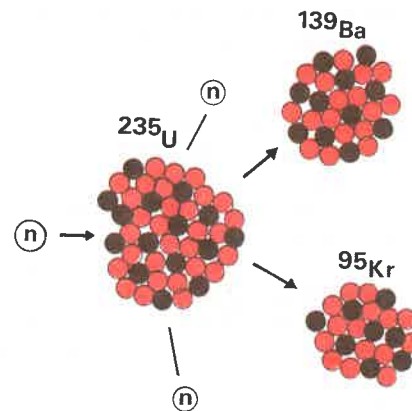
Mogą też być neutrony o znacznie mniejszych

energiach, np. 100 milionów razy, powolne, tzw. neutrony termiczne. Wywodzą się one z neutronów prędkich, przed chwilą poznanych, które zostały spowolnione, tzn. wytraciły znaczną prędkość początkową. Odbywa się to na ogół poprzez kolejne liczne zderzenia z jądrami atomów a najłatwiej z jądrami napotykanego wodoru, występującego obficie np. w wodzie, parafinie, polietylenie.

Neutrony mogą nie tylko zderzać się z jądrami atomów, ale nie mając ładunku przenikają do ich wnętrza i powodują tzw. reakcje jądrowe.

Reakcje mogą być różne; prowadzą one do zmian w budowie jądra. Procesy te zależą w bardzo ścisły sposób od energii neutronów, a więc zależą również od tego czy są to neutrony prędkie czy neutrony termiczne. Zasadnicze znaczenie ma także rodzaj pierwiastka bombardowanego neutronami. Rezultatem reakcji może być wytworzenie nowego jądra, odpowiadającego już innemu pierwiastkowi, innemu izotopowi; poza tym może być wypromieniowana energia, np. promieniowanie gamma. Nowopowstałe jądro może być promieniotwórcze, tzn. wcześniej lub później zajdzie w nim następna reakcja związana z emisją promieniowania.

Szczególna reakcja może wstąpić wówczas kiedy neutron działa na jądro pierwiastka tzw. rozszczepialnego, jak uran, pluton, tor. Efektem jest podział jądra, powstanie tzw. produktów rozszczepienia, czyli dwóch oddzielnych atomów promieniotwórczych oraz jako dodatkowej „nadwyżki” jeszcze neutronów. Te z kolei mogą działać dalej, zjawisko się



rozszczepienie uranu przez neutron

powtarza, jeszcze krok i będzie reakcja łańcuchowa, będzie reaktor.

Podsumujmy: neutrony mogą pochodzić ze specjalnego źródła promieniotwórczego; mogą też powstawać jako rezultat rozszczepienia jąder uranu, plutonu itp., zwłaszcza w reaktorach nazywanych często atomowymi.

Innego rodzaju źródłem neutronów są tzw. generatory, działające w sposób nieco podobny do aparatu rentgenowskiego.

11. Aktywowanie pierwiastków

Dla współczesnych alchemików zrobić złoto jest bardzo łatwo — wystarczy tylko wytworzyć odpowiednią odmianę, czyli odpowiedni izotop platyny, a ten w czasie reakcji promieniotwórczej sam zamieni się w złoto. Niestety, nie będzie to tanie złoto.

To był tylko przykład, jak z jednego pierwiastka powstaje inny. W praktyce dnia codziennego przy otrzymywaniu izotopów promieniotwórczych, potrzebnych w medycynie, przemyśle, rolnictwie, w różnego rodzaju badaniach, przetwarza się jedne substancje — nieaktywne, w inne substancje, już promieniotwórcze.

Mówimy o zjawisku aktywacji. Otóż pod wpływem bombardowania neutronami, np. gdy umieścimy określone substancje na jakiś czas we wnętrzu działającego reaktora jądrowego, część atomów, a ściślej jąder atomowych takiej substancji przechodzi w stan wzbudzenia, tj. stan niestabilizowany. Zakończenie tego procesu następuje w chwili ostatecznej przemiany — reakcji jądrowej — związanej z równoczesną emisją promieniowania np. beta lub gamma. Jeżeli wyjęliśmy preparat świeżo napromieniony neutronami i się pośpieszymy to możemy zdążyć z wykorzystaniem jego wzbudzonego promieniowania, zanim zajądą wszystkie ostateczne przemiany, dopóki jeszcze „świeci”.

A więc aktywacja, aktywowanie, jest po prostu wytwarzaniem izotopów promieniotwórczych określonego pierwiastka chemicznego. Przypomnijmy, że wiele pierwiastków chemicznych składających się na cały układ okresowy, nazywany inaczej tablicą Mendelejewa, ma zróżnicowaną budowę jądra. To znaczy, zachowując na zewnątrz identyczne właściwości chemiczne, dany pierwiastek ma cięższe lub lżejsze jądro zawierające więcej lub mniej neutronów.

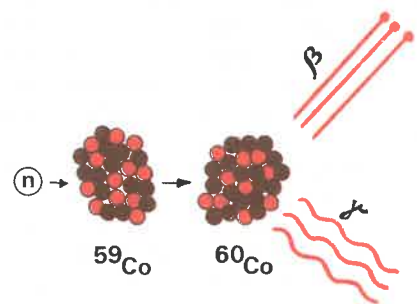
Itak np. powszechnie występujący wodór jest w gruncie rzeczy mieszaniną dwóch odmian wodoru; zwykłego, zawierającego w jądrze pro-

ton i cięższego, zawierającego poza takim samym protonem i neutron. Żadna z tych odmian nie jest promieniotwórcza, z tym że pierwsza jest bardzo pospolita, a druga występuje w bardzo małych ilościach. Te i z o t o p y wodoru nie są promieniotwórcze. Dopiero izotop wodoru zawierający poza obowiązkowym protonem 2 neutrony jest izotopem promieniotwórczym znanym pod nazwą trytu.

Przyjęło się czasem nazywać izotopami te odmiany pierwiastków, które są promieniotwórcze. Jednak według ścisłych określeń cały otaczający nas świat składa się z izotopów. Tylko niektóre z nich są izotopami promieniotwórczymi. Dodajmy, że pewne pierwiastki mogą mieć nawet kilka różnych izotopów promieniotwórczych.

Izotopy numerujemy. I tak można np. spotkać promieniotwórcze: jod-125, jod-131, jod-133, jod-135, podczas gdy jod „zwykły”, stabilny czyli niepromieniotwórczy jest jodem-127.

Dodajmy, że w praktyce nie ma zjawiska odwrotnego, które można by nazwać dezaktywacją, tj. unicestwianiem promieniującego izotopu tak, aby zaprzestał emisji. Termin „dezaktywacja” został błędnie zapożyczony z obcych języków dla oznaczenia czynności odkażania, czyli dekontaminacji. Czynności polegającej tylko na usunięciu substancji promieniotwórczej mechanicznie lub chemicznie z określonego miejsca.



powstawanie izotopu promieniotwórczego

12. Aktywność preparatu a zagrożenie

Co to znaczy aktywność? Czy można określić aktywność liczbą? Otóż aktywny, w rozumieniu tego o czym tutaj mówimy, to po prostu — promieniotwórczy, wysyłający, emitujący promie-

niowanie. A fizycy umówili się, żeby aktywność określać liczbami.

Jeżeli w ciągu jednej sekundy następuje w jednym preparacie promieniotwórczym jedna reakcja jądrowa, czyli ulega przemianie — odpowiada jedno jądro atomowe, to to jest właśnie j e d n o s t k ą a k t y w n o ś c i: 1 bekerel (1 Bq). Malutką, naprawdę bardzo malutką bo np. w 1 gramie radu następuje aż około 37 miliardów ($3,7 \cdot 10^{10}$ bekereli) przemian na sekundę, co odpowiadała dawniej stosowanej bardzo dużej jednostce 1 curie (1 Ci).

Zajrzeliśmy do wnętrza jąder atomowych. Ale nas, z punktu widzenia możliwego zagrożenia, interesują zjawiska zewnętrzne, te które objawiają się promieniowaniem jonizującym. Okazuje się, że nie ma uniwersalnej recepty, aby łatwo przepowiedzieć jakie są efekty działania różnych izotopów, mimo że ich „oficjalna” aktywność jest jednakowa. W różnych izotopach przemiana przemianie nie równa.

W tej sytuacji musimy wydajność promieniowania gamma poszczególnych izotopów, a tym samym stopień powodowanego zagrożenia, wyszukiwać z przygotowanych specjalnych tabeli. Mówią one jaka moc dawki występuje w odległości 1 m od źródła np. o aktywności 37 GBq (gigabekereli), czyli 1 curie, konkretnego izotopu.

A więc przykładowo 1 curie aktywności odpowiada w odległości 1 metra dla:

jodu-131	mocy dawki	2 mSv/godz.
cezu-137	mocy dawki	4 mSv/godz.
irydu-192	mocy dawki	5 mSv/godz.
kobaltu-60	mocy dawki	13 mSv/godz.
bromu-82	mocy dawki	15 mSv/godz.
sodu-24	mocy dawki	19 mSv/godz.

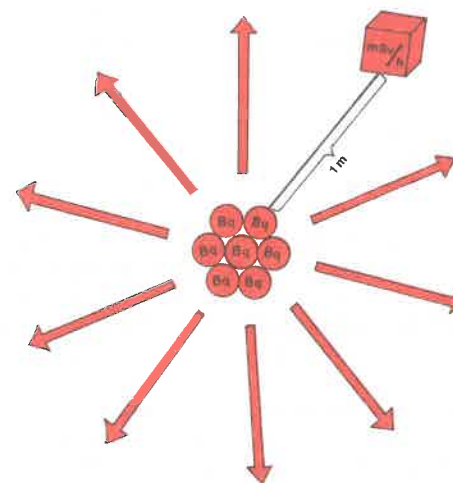
Jest oczywiste, że ułamek określonej aktywności danego izotopu będzie powodował dokładnie w tej samej proporcji mniejszą moc i tym samym tyleż razy mniejsze zagrożenie promieniowaniem.

Pamiętajmy, że moc dawki i aktywność preparatu są ze sobą ściśle związane, ale dla różnych izotopów są to różne liczby.

Stąd też wynika odpowiedź na pytanie czy preparat o większej aktywności wysyła więcej promieniowania? — tak, jeżeli jest to ten sam izotop. Jeżeli natomiast jest to inny izotop, musimy sprawdzić w tablicach — może wysyłać jeszcze więcej promieniowania, ale równie dobrze i mniej!

Nie obawiajmy się niepotrzebnie „bekereli”. W każdym z nas, czy tego chcemy czy nie chcemy, zawsze tkwi i promieniuje minimalna

ilość naturalnie występujących w przyrodzie substancji promieniotwórczych. I jest to zazwyczaj kilka tysięcy bekereli. Dzień i noc, przez całe życie; kilka tysięcy „impulsów” na sekundę.



większa aktywność izotopu — więcej promieniowania

13. Czas połowicznego zaniku

Niejedno ze zjawisk fizycznych charakteryzujemy w chwili, kiedy określona wielkość zmalała do połowy wartości początkowej.

Z początkowej jedynek robi się 1/2, z niej 1/4, potem 1/8, 1/16, 1/32 itd. W taki właśnie sposób maleje, zanika, promieniowanie izotopu. Zjawisko to przebiega ze stałą prędkością charakterystyczną dla każdego radioizotopu. Na przykład z fluoru-20 po 10 sekundach pozostanie 1/2 początkowej aktywności, po następnych 10 sekundach będzie 1/4, po następnych 10 będzie 1/8. Dla innego radioizotopu ten czas może wynieść równie dobrze 5 lat (np. kobalt-60), popatrzmy:

na początku było np.	40 GBq
po 5 latach	20
po 10 latach	10
po 15 latach	5
po 20 latach	2,5

Taki izotop nazwiemy długotrwałym.

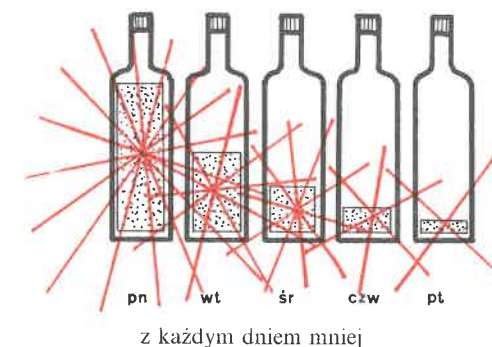
Jak już powiedzieliśmy ten czas, tzw. połowicznego zaniku, świadczy jednoznacznie, z którym radioizotopem mamy do czynienia.

Warto też pamiętać, że nawet po długim czasie coś tam z tej aktywności jeszcze pozostaje;

oczywiście po bardzo długim może być tak mało, że nie ma to już większego znaczenia praktycznego. Chociaż np. dzięki pomiarom promieniotwórczego węgla (C-14), który powstał jako izotop naturalny przed milionami lat, możemy określić z niezłą dokładnością wiek wykopalisk archeologicznych, w których jeszcze tkwi w znikomych ilościach. Ale jego czas połowicznego zaniku wynosi, drobiazg, przeszło 5000 lat.

Wracając do dnia dzisiejszego — nie można bagatelizować tzw. zużytych źródeł promieniotwórczych, stosowanych np. przy przemysłowych prześwietlaniach rurociągów. Były już wypadki poważnego napromieniowania osób, które lekkomyślnie chciały usunąć z pojemnika ochronnego nieprzydatne źródło. Aktywność znajdującego się wewnątrz irydu-192 była co prawda za mała, aby uzyskać dobre zdjęcie 5-milimetrowej spawanej blachy, ale zupełnie wystarczająca, aby spowodować poparzenie ręki, a nawet i nogi po krótkim noszeniu preparatu w kieszeni! A była to taka śliczna błyszcząca kulka!! Nie wszystko złoto...

Przy przechodzeniu promieniowania przez różne warstwy ochronnego materiału stosujemy również podobne określenia: warstwa połowicznego osłabienia. Jeżeli zmierzmy promieniowanie padające na ołowianą płytę 10 mm grubości i okaże się, że za płytą moc dawki jest 2-krotnie mniejsza, to powiemy, że dla tego promieniowania warstwa połowicznego osłabienia wynosi 10 mm ołowiu. Za 20 mm płytą pozostanie 1/4, za 30 mm ok. 1/8.

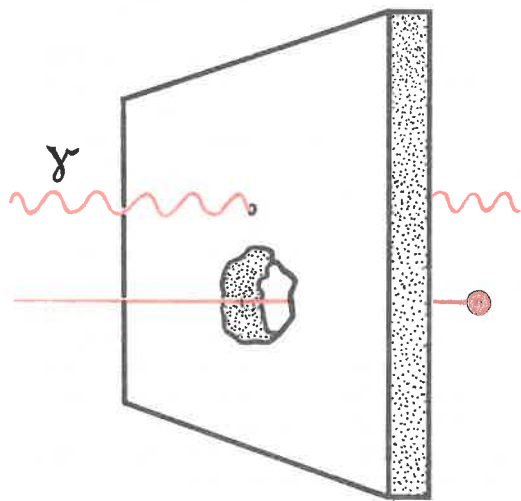


14. Szkodliwość promieniowania różnego rodzaju

Promieniowanie różnego rodzaju (alfa, beta, gamma, X, neutrony) w różnym stopniu uszkadza tkankę żywą. Jednakowe dawki

tj. jednakowe ilości energii różnego promieniowania pochłonięte przez organizm dają skutek mniejszy lub większy.

Najdawniej znane praktycznie jest promieniowanie rentgenowskie (inaczej X). Skutek biologiczny innych rodzajów promieniowania zwykle jest porównywany ze skutkiem działania właśnie promieniowania rentgenowskiego.



neutrony czynią większe szkody

Promieniowanie gamma i na ogół beta, ma skuteczność (szkodliwość) taką samą jak pro-

mieniowanie rentgenowskie. Promieniowanie alfa natomiast powodujące na swojej drodze większą gęstość jonizacji wykazuje szkodliwość znacznie większą. W praktyce wymaga to zachowania szczególnej ostrożności w obchodzeniu się z preparatami alfapromieniotwórczymi. Wtargnięcie większych ilości tych izotopów do wnętrza ciała może być bardziej niebezpieczne niż betapromieniotwórczych.

Również promieniowanie neutronowe jest parokrotnie lub nawet wielokrotnie szkodliwsze od promieniowania gamma.

Przy pomiarowym określaniu zagrożenia stosuje się pewne konkretne wartości liczbowe. Jak pamiętamy, dla oceny dawek promieniowania rentgenowskiego przyjęto kiedyś jednostkę nazywaną rentgenem. Jednostką uniwersalną uwzględniającą szkodliwość biologiczną jest 1 siwert (liczbowo jest on dla promieniowania rentgenowskiego równy 100 rentgenom). Dla promieniowania neutronowego zawiera w sobie już współczynnik 20. Podobnie i dla promieniowania alfa. Posługiwanie się taką uniwersalną jednostką ma tę zaletę, że można jednolicie wyrazić dawki graniczne, i to zarówno w odniesieniu do zagrożenia zewnętrznego jak i do wewnętrznego, czyli skażeń wewnętrznych, niezależnie od rodzaju promieniowania.

Czyli że gdybyśmy w sposób całkowicie umowny przyjęli jakąś dawkę neutronową równą 5, to z uwzględnieniem szkodliwości biologicznej dawka efektywna wyniesie 100.

II. SKĄD MOŻE POCHODZIĆ PROMIENIOWANIE?

15. Promieniowanie naturalne jest wszędzie

Według opinii fachowców kiedyś na Ziemi była obfitość promieniowania. Resztki tego promieniowania pozostały do dziś.

Są to pierwiastki promieniotwórcze określane jako naturalne, jak np. odkryty przez Skłodowską-Curie rad lub polon. Występują również odmiany promieniotwórcze potasu i węgla. Wszystko w zupełnie mikroskopijnych ilościach, wszędzie wokół nas, w skałach, glebie, wodzie. Jako pochodną radu występuje też powszechnie radon, gaz promieniotwórczy. Jego stężenia zależą od wysokości nad powierzchnią gleby, warunków atmosferycznych, przewietrzania.

Oczywiście jeśli mówimy „wszędzie wokół nas” to trudno przypuścić, aby nie było tych pierwiastków i w nas samych. I rzeczywiście tak jest. Za pomocą precyzyjnych pomiarów można potwierdzić, że w organizmie każdego człowieka znajdują się ślady zanieczyszczeń promieniotwórczych, śladowe ilości radioizotopów.

Do tego dodaje się jeszcze z zewnątrz tzw. promieniowanie kosmiczne, którego natężenie zmienia się znacznie, zależnie od tego, czy znajdujemy się głęboko w kopalni, na poziomie morza, w górach, czy w naddźwiękowym samolocie.

Wszystko to razem nazywamy naturalnym tłem promieniowania, którego wartości w różnych miejscach na kuli ziemskiej mogą się znacznie od siebie różnić; nawet i 10 razy.

Jeżeli całą otrzymaną ze źródeł naturalnych dawkę promieniowania przyjąć za 100, to poszczególne udziały wynoszą w przybliżeniu:

- od promieniowania kosmicznego ... 20%
- od radioizotopów obecnych stale w organizmie 10%
- od promieniowania gleby, ścian budynków i in. 70%

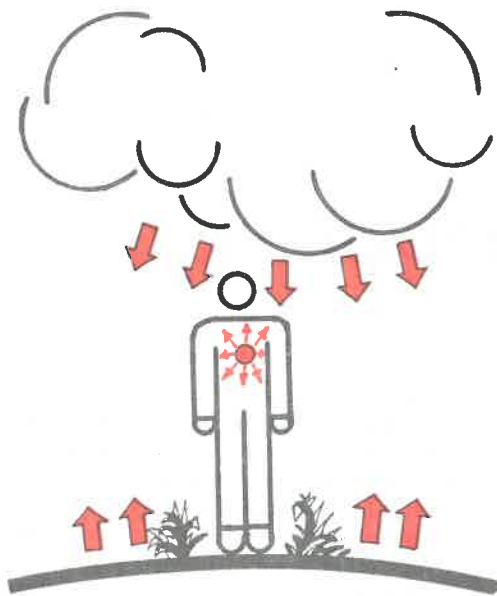
Jesteśmy od początku świata sami poddani działaniu promieniowania, podobnie jak i nasze otoczenie. Czy niewielkie ilości promieniowania działają korzystnie czy szkodliwie?

W każdym razie wiele wskazuje na to, że nasze organizmy wytworzyły przynajmniej na małe ilości promieniowania swoistą odporność naturalną — same naprawiają szkody powodowane poszczególnymi aktami jonizacji. Od lat trwające na ten temat spory nie zostały jeszcze do końca rozstrzygnięte. Są tacy, według których ewolucja na świecie postępuje właśnie wskutek działania promieniowania na czynniki genetyczne. Dla innych jest ono bez znaczenia.

Od czasu pierwszej bomby atomowej, zupełnie naturalne dotąd tło promieniowania zaczęło wzrastać. Powstałe w czasie wybuchów sztuczne substancje promieniotwórcze trafiają wysoko do atmosfery wraz z silnie skażoną chmurą i wracają opadając stamtąd powoli jako pył w trakcie wielokrotnego okrążania przez te chmury Ziemi. I chociaż maksimum skażeń minęło wkrótce po zaprzestaniu przez największe mocarstwa prób w atmosferze (w sumie około 400 wybuchów), to jednak aż do dziś rejestruje się jeszcze ślady tego ogólnoswiatowego opadu promienio-

t w ó r c z e g o. Opadu trafiającego poprzez glebę i roślinność do obiegu biologicznego, w który włączony jest i człowiek.

Awaria czarnobylska ujawniła się u nas także w postaci podobnego opadu.



promieniowanie jest wśród nas

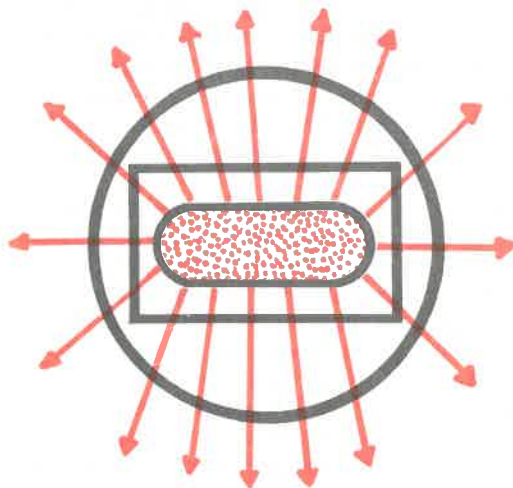
16. Zamknięte i otwarte źródła promieniowania

Co to znaczy zamknięte źródło promieniotwórcze? Otóż pod tym pojęciem rozumie się substancję promieniotwórczą, wysyłającą promieniowanie przenikliwe, ale zamkniętą szczelnie w naczyniu, najczęściej w metalowej ampule. Zamknięcie szczelne oznacza, że zawarty w środku proszek, płyn, pręciki metalowe, czy nawet gaz, nie mogą się wysypać ani ulotnić. Promieniowanie przenika natomiast przez tę gilzę na zewnątrz bez trudności i może być do różnych celów wykorzystywane. Może i zagrażać.

Porządnie zrobione źródło zamknięte, o bardzo nawet małych rozmiarach, jest odporne na działanie mechaniczne, jak np. uderzenia czy zgniatanie, niewrażliwe na działanie wody czy kwasu, jak również na podwyższoną temperaturę. Dokładniejsze warunki użytkowania określa, dołączone obowiązkowo do każdego źródła promieniotwórczego, zaświadczenie — atest.

Oczywiście, trzeba sobie zdawać sprawę, że każde źródło, w warunkach skrajnych, awaryjnych, czy po prostu ze starości, może się rozszczelnić i może stać się przyczyną skażeń promieniotwórczych w swoim otoczeniu. Substancja zawarta normalnie wewnątrz wydostaje się poza obudowę. Samo w sobie nie byłoby to jeszcze zjawiskiem specjalnie groźnym, pod warunkiem, że zostało natychmiast wykryte. W przeciwnym razie wspomniane skażenia mogą nie ograniczyć się tylko do zewnętrznej powierzchni źródła i pojemnika osłonnego, ale mogą zostać przeniesione na bliższe i dalsze otoczenie. Dlatego obowiązuje systematyczna kontrola szczelności, a w warunkach awaryjnych, szczególnie, zawsze wcześniej określone i przygotowane, postępowanie. Pozwala ono na zlokalizowanie skażenia i przewiduje sposób bezpiecznego usunięcia.

Oprócz omawianych źródeł zamkniętych stosuje się bardzo często źródła otwarte, to znaczy substancję promieniotwórczą np. w postaci płynu lub proszku. Z takim promieniotwórczym proszkiem trzeba obchodzić się szczególnie ostrożnie, jak z trucizną. Może być on przesypany, rozpuszczany, mieszany z innymi substancjami. Naczynko w którym się znajduje może być otwierane, ale musimy z góry liczyć się ze skażeniami.



zamknięte źródło promieniotwórcze

Transport po drogach publicznych, jako stwarzający specyficzne zagrożenie dla samych przewożonych przesyłek, tj. źródeł promieniotwórczych, organizuje się w szczególny sposób. Wymagania sprowadzają się przede wszystkim

do obowiązku stosowania pojemników transportowych specjalnych, zapewniających pełne bezpieczeństwo zarówno źródła, konwojentów jak i otoczenia, w każdych warunkach, w najgorszej katastrofie.

Zależnie od rodzaju źródła w transporcie stosowane są różne pojemniki. Gdy zachodzi potrzeba, można przewieźć bezpiecznie nawet najsilniejsze źródło otwarte, ponieważ umieszczone w odpowiednim pojemniku spełnia najostrejsze wymogi stawiane źródłom zamkniętym, a dodatkowo ma zapewnioną pełną osłonność. Jest praktycznie niezniszczalne.

Wracając do sposobów użytkowania źródeł, można by jeszcze dodać, że w pewnym sensie zamkniętymi źródłami promieniowania są np. i aparaty rentgenowskie. Stanowią one bowiem źródła tylko zagrożenia zewnętrznego — bez skażeń.

17. Aparat rentgenowski

Głównym elementem aparatu jest tzw. lampa rentgenowska, która wysyła niewidoczne promieniowanie, nazywane czasem promieniowaniem X. Nie jest to oczywiście żarówka, którą wystarczy wkręcić do oprawki pod sufitem i włączyć 220 V.

Promieniowanie rentgenowskie powstaje przy hamowaniu elektronów, rozprędzonych uprzednio w próżni pod działaniem wysokiego napięcia (20–400 kV). Hamowanie następuje na anodzie, zazwyczaj wykonanej z trudno topliwego wolframu. Poprzez tzw. okienko promieniowanie powstałe w lampie przenika na zewnątrz w postaci jak gdyby rozbieżnej wiązki o kształcie stożka. Oczywiście im dalej od lampy, tym natężenie promieniowania jest słabsze; tak jak i od żarówki; moc dawki jest mniejsza.

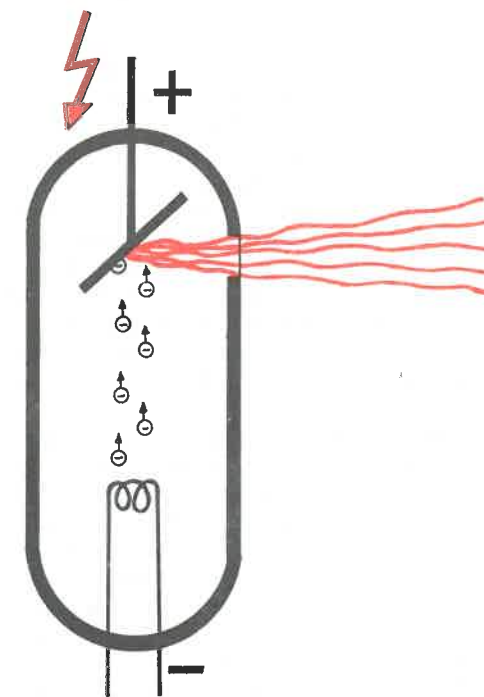
Promieniowanie X, jak wiemy przenika łatwo przez ciało ludzkie, służąc przy lekarskich prześwietleniach rentgenowskich; jest w stanie przenikać też i przez wodę, ściany, a nawet i metale. Im materiał cięższy, tym lepiej osłania przed promieniowaniem — stąd częste zastosowanie osłonne ołowiu. Osłoną może być blacha, cegła, szkło ołowiowe.

Zdolność przenikania promieniowania zależy bezpośrednio od energii, czyli w przypadku aparatu rentgenowskiego od wysokości napięcia zasilającego lampę. Maksymalna wartość tego napięcia wyznacza maksymalną energię rozprędzonych elektronów i tym samym maksymalną energię promieniowania. Określamy ją

zwykle w tysiącach woltów czyli w kilowoltach (dla elektronu są to kiloelektronowolty — keV). Promieniowanie otrzymywane z lampy, wskutek zjawisk zachodzących w anodzie, np. w wymienionym wolfrامية, nosi cechy nie tylko odpowiadające maksymalnej energii elektronów, ale i energiom niższym. Występuje widmo promieniowania, w którym możemy wyróżnić część mniej przenikliwą — nazywaną czasem miękką, oraz bardziej przenikliwą — inaczej nazywaną twardą.

Jeszcze kilka słów o analogicznych do rentgena urządzeniach, wytwarzających „maszynowo” promieniowanie. Są to różnego rodzaju akceleratorzy czyli przyspieszacze cząstek, w których elektrony (ewentualnie i inne cząstki) są przyspieszane np. po linii kołowej, dzięki czemu to samo napięcie może przekazywać im energię przyspieszającą wielokrotnie i końcowa energia elektronu może być bardzo duża, odpowiadająca megaelektronowoltom — MeV. Otrzymujemy promieniowanie o wielkiej przenikliwości.

Specjalnym rodzajem akceleratora jest tzw. generator neutronów, w którym rozprędzone cząsteczki — deuterony trafiają w tarczę zawierającą izotopy wodoru, i w wyniku zachodzą-



lampa rentgenowska

cych tam reakcji jądrowych są zamieniane na emitowane na zewnątrz prędkie neutrony.

Cechą charakterystyczną aparatów rentgenowskich i akceleratorów jest to, że promieniowanie ustaje dokładnie z chwilą wyłączenia napięcia. Różnią się tym w sposób zasadniczy od preparatów promieniotwórczych, gdzie na stopniowy, samoistny zanik promieniowania nie mamy żadnego wpływu.

18. Prześwietlenia przemysłowe — badania gammagraficzne

Są sytuacje wymagające sprawdzania materiałów i przedmiotów, urządzeń szczególnie odpowiedzialnych; precyzyjnej kontroli np. spoin rurociągów ciśnieniowych, ścian wielkiego pieca hutniczego, blach samolotu. Niewielka szpara, niezaspawany jak należy otwór, niewidoczna w odlewie dziura mogą prowadzić do katastrofy. Podobnie jak przy prześwietlaniu płuc stosujemy aparat rentgenowski; ale w wielu przypadkach wygodniejszy jest preparat gammapromieniotwórczy schowany w urządzeniu nazywanym często defektoskopem lub aparatem gammagraficznym.

Schemat ogólny postępowania jest prosty: z jednej strony badanego elementu umieszcza się preparat promieniotwórczy, po przeciwnej kładzie się w światłoszczelnej kasie. Preparat odślania się, zależnie od potrzeb, na parę minut, czasem na parę godzin. Na wywołanej błonie, jeżeli obiekt jest dziurawy, zobaczymy cień odpowiadający uszkodzeniu.

Co nam może grozić przy takich pracach? Jeżeli badanie przebiega w laboratorium zakładowym, to zwykle wystarczają jako zabezpieczenie osłony, w postaci wymurowanych ścian. Oczywiście konieczna jest organizacja pracy wykluczająca zbliżenie się kiedy preparat jest odsłonięty lub gdy rentgen jest włączony.

Organizacja pracy jest znacznie trudniejsza, kiedy badanie odbywa się na otwartej hali montażowej, na pochylni stoczni, na wiadukcie podtrzymującym rurociąg. Potrzebne są albo przestawiane osłony, albo wygrodenie większego obszaru bez dostępu osób, zdalnie uruchamianie defektoskopu, sygnalizacja ostrzegawcza. Konieczne jest skrupulatne oznakowanie i nadzorowanie strefy wyłączzonej.

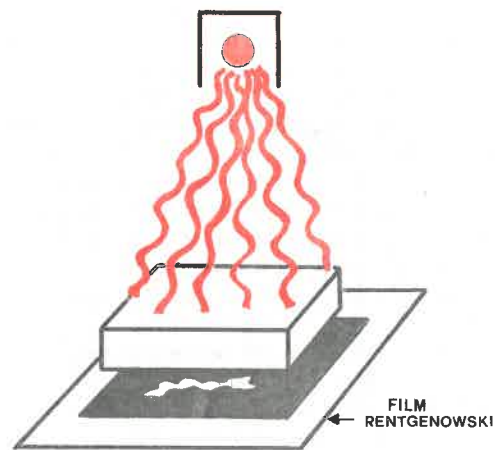
Przy właściwym przestrzeganiu zasad bezpieczeństwa nie ma. Sytuacja się zmienia w przypadku wydarzeń zakłócających. Aparat

gammagraficzny może np. zaciąć się w ten sposób, że preparat promieniotwórczy pozostaje częściowo lub całkowicie odsłonięty. Nie jest to powód do paniki. Istnieje wówczas bezwzględny obowiązek uniemożliwienia dostępu do urządzenia. Jeżeli instrukcja awaryjna urządzenia nie mówi inaczej, to należy przyjąć minimalny promień odgródzonej strefy równy trzem metrom. Zawieszana specjalistyczna ekipa naprawcza usunie uszkodzenie.

Gdyby z dowolnych powodów źródło promieniotwórcze znalazło się poza pojemnikiem osłonowym należy postępować tak samo. Absolutnie nie zbliżać się, tym bardziej nie dopuszczając nawet myśli o braniu źródła ręką. Wezwać ekipę. Znany niegdyś w Polsce przypadek kradzieży (!), doprowadził do śmiertelnych ran oparzeniowych ponieważ przenoszono źródło w kieszeni.

Zgodnie z przepisami źródła promieniotwórcze są zaopatrywane w znaki ostrzegawcze malowane, naklejane lub wygrawerowane. Źródła muszą znajdować się pod opieką osób odpowiedzialnych.

Rada praktyczna — nie dotykać nieznanych przedmiotów!



znajdujemy dziurę w całym

19. Promieniowanie rozproszone

Promieniowanie jonizujące, tak jak światło, rozchodzi się we wszystkie strony po liniach prostych. Tak jest. W próżni. Ale gdy promieniowanie natrafi na jakiś przedmiot, to może ulec rozproszeniu, czyli skutek dość

skomplikowanych zjawisk może zmienić kierunek, zmienić natężenie, zmienić energię. Stopień zachodzących zmian tj. powstające różnice zależą zarówno od energii promieniowania padającego czyli jego przenikliwości, jak i od rodzaju substancji, na którą pada. Np. inne będzie rozproszenie od płyty drewnianej, inne od ołowiu, a inne od powietrza. Pewna, niewielka część promieniowania może niejako zawrócić, czyli zmienić kierunek nawet o 180°.

Jaki z tego wniosek praktyczny? Otóż bardzo ważny, gdy mielibyśmy chować się przed promieniowaniem tylko za prostą osłoną, jak gdyby w jej cieniu. Jeżeli promieniowanie pierwotnego jest w ogóle niewiele, to i to co dojdzie do nas okrężną drogą będzie mało znaczące. Natomiast przy silnych źródłach, nawet najgrubsza osłona może nie wystarczyć, jeżeli promieniowanie rozpraszające się na otaczających przedmiotach lub powietrzu znajdzie sobie drogę dookoła, z ominięciem osłony. Mimo że osłabione jeszcze go wystarczy aby nam zagrozić.

Stąd wynika praktyka, że już same źródła promieniowania, jeżeli jest to tylko możliwe, zazwyczaj zabezpiecza się osłoną ze wszystkich stron. Szczelną. Jak najbliżej źródła. Tak, aby nie pozostawiać przelotowych otworów czy szczelin. Albo my sami musimy znaleźć się w szczelnym bunkrze.

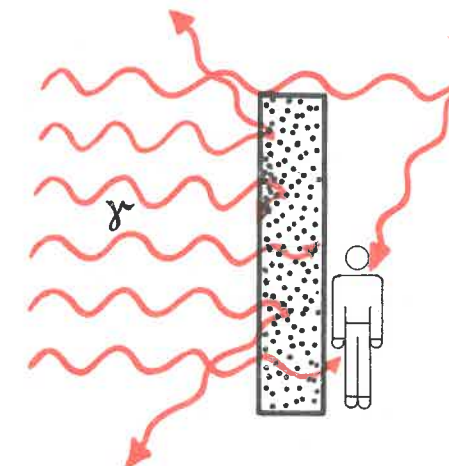
Jeżeli z jakichś powodów konieczny jest w osłonie otwór, np. dla przeprowadzenia kabli czy jako wejście dla ludzi, to wykonuje się go po linii łamanej, nieraz parokrotnie, tak aby przeciskające się przez labirynt promieniowanie ulegało wielokrotnemu odbiciu i tym samym bardzo znacznemu osłabieniu.

Racjonalna konstrukcja osłon wymaga wysokiego kunsztu inżynierskiego, zwłaszcza tam, gdzie idzie o rozległe źródła promieniowania, jak rurociągi, zbiorniki, komory gorące. Jak mogliśmy się zorientować, trudności wynikają m.in. ze względu na rozpraszanie promieniowania, czyli praktycznie ze względu na zmiany jego kierunku.

Powtórzmy raz jeszcze: promieniowanie pierwotne, pochodzące bezpośrednio ze źródła, wszystko jedno czy promieniotwórczego czy np. z rentgena, rozchodzi się po liniach prostych. Ale jeżeli tylko są warunki do powstawania promieniowania wtórnego, a o to bardzo łatwo, to właśnie promieniowanie wtórne, odbite, rozproszone ma już kierunek zmieniony — aż do następnej przeszkody.

Dla jasności dodajmy: promieniowanie rozproszone istnieje tak długo, jak długo istnieje

powodujące je promieniowanie pierwotne. Dokładnie od momentu wyłączenia rentgena, wokół niego już nie „hula” żadne promieniowanie rozproszone, ani pierwotne, ani wtórne.



nie tylko grubość osłony gra rolę

20. Transport substancji promieniotwórczych

Wiemy, że im dalej od źródła promieniowania i im grubsza osłona, tym promieniowania mniej. Izotopy przewozi się więc w osłonnych pojemnikach, najczęściej ołowianych, umieszczanych dodatkowo w skrzyni drewnianej lub pudle kartonowym, co zapewnia zawsze odpowiedni dystans. Przy powierzchni opakowania promieniowanie nie przekracza określonych, dopuszczalnych wartości mocy dawki.

Okazuje się, że przyjęto je tak, aby przede wszystkim nie szkodzić filmom, papierom fotograficznym i innym materiałom światłoczułym, które mogłyby się znaleźć gdzieś w pobliżu. Człowiek jest mniej wrażliwy. W ten sposób dobrze się składa: chroniąc filmy jeszcze lepiej chronimy człowieka. A więc ostrzeżenia umieszczone na samochodach, nieraz i na skrzyniach, są trochę na zapas.

Napisy i znaki ostrzegawcze mają istotne znaczenie w razie jakiegoś wypadku na drodze, np. rozbicia się samochodu. Osoby udzielające pomocy powinny sobie zdawać sprawę z obec-

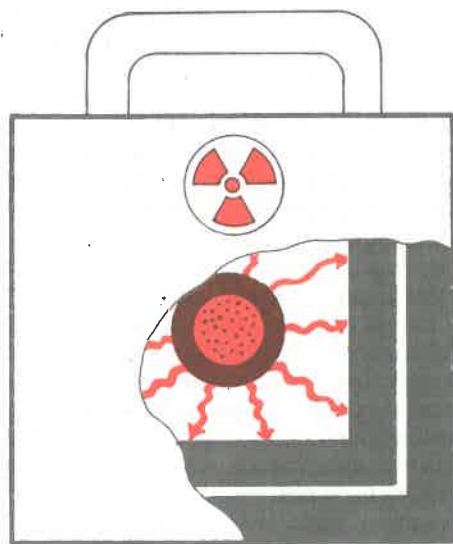
ności izotopów w pojeździe, zwłaszcza gdy pojemniki uległy uszkodzeniu. Trzeba podkreślić, że nie ma sytuacji, w której bliskość przewożonych izotopów mogłaby uniemożliwiać ratowanie życia poszkodowanemu!

Powiedzieliśmy przed chwilą krótko, że izotopy przewozi się w pojemnikach i skrzyniach. W rzeczywistości kolejnych opakowań zabezpieczających jest więcej. Wewnątrz pojemnika są jeszcze dodatkowe naczynia, wata lub gąbka, osłony zapewniające wytrzymałość mechaniczną i termiczną. Im groźniejszy izotop i im go więcej tym stosuje się lepsze zabezpieczenia. Sprawy te są ściśle uregulowane przepisami. Większe źródła zamykane są w stalowych obudowach, poddawanych uprzednio próbom zrzucania z dużej wysokości, próbie ognia i innych „torturom”. Wszystkie te środki zapewniają, że w najgorszej nawet katastrofie izotopy nie mogą się wydostać w znaczącej ilości na zewnątrz i zagrozić otoczeniu.

Ktoś zapyta — czy potrzebne są w ogóle te przewozy izotopów? Czy potrzebne nam są izotopy? Odpowiedzcie sobie Państwo sami.

Izotopy w szpitalach ratują zdrowie i życie, w przemyśle pozwalają wyszukiwać nieszczelności rurociągów, pozwalają na badanie przepływu wód i ścieków, na badanie racjonalnego stosowania nawozów w rolnictwie i in.

Powtórzmy: w razie wypadku na szosie obecność przesyłek izotopowych nie może



izotopy przewożymy całkowicie bezpiecznie

w żadnym razie przeszkodzić w akcji ratowania życia ludzkiego!

Natomiast gdyby ktoś przypadkiem znalazł gdzieś pozostawione bez opieki oznakowane opakowanie, powinien o tym natychmiast powiadomić najbliższe władze lub zgłosić telefonicznie do Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej w Warszawie.

21. Reaktor — jego budowa

Powiedzieliśmy o neutronach, że mogą ujawniać się w wyniku rozszczepień jąder uranu lub plutonu. Jeśli po rozszczepieniu jądra uranu spowodowanym przez jeden neutron pojawi się nie jeden nowy neutron, a np. 2 i oba z nich zadziałają z podobnym skutkiem jak pierwszy, to za chwilę będziemy ich mieli 4, 8, 16, 32... tysiące... miliardy — byłaby to tzw. reakcja łańcuchowa, rozwijająca się lawinowo.

W tak uproszczony sposób łatwo by sobie wyobrazić, że w byle atomie uranu nawet przypadkowe rozszczepienie jego jądra mogłoby spowodować reakcję łańcuchową i w następstwie wybuch! Jest inaczej. Bardzo trudno stworzyć warunki odpowiednie dla zapoczątkowania i podtrzymania takiej właśnie reakcji, prowadzącej do mnożenia neutronów. Pomijając wiele nawet bardzo istotnych szczegółów trzeba uznać przynajmniej dwa warunki za konieczne: odpowiedni uran, tzn. izotop uranu-235 oraz odpowiednio duża jego masa, tzw. masa krytyczna.

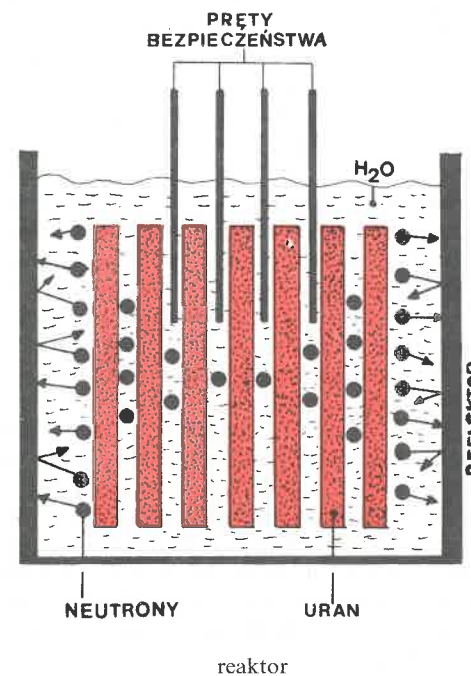
We współczesnym reaktorze potrzebny jest też i tzw. spowalnicz, np. grafit, a najczęściej woda, aby wytwarzane prędkie neutrony zmieniać w neutrony spowolnione nazywane inaczej termicznymi. Woda równocześnie odbiera powstające ciepło, chłodzi reaktor.

Działający reaktor jądrowy to wielki zbiornik, skomplikowane systemy rurociągów wodnych i powietrznych, skomplikowane mechanizmy napędowe zdalnie działające, układy sterowania, pomiarów i zabezpieczeń, osłony. Do tego musi być operator reaktora i załoga o najwyższych kwalifikacjach, dyscyplinie i odpowiedzialności.

Niejednego interesuje dlaczego reakcja łańcuchowa nie prowadzi w reaktorze do wybuchu atomowego. Uniemożliwia to już sama fizyka zjawisk. Otóż w reaktor są wbudowane tzw. pręty regulacyjne, zawierające np. kadm, który bardzo skutecznie pochłania neutrony — uniemożliwia mnożenie. Pręty regulacyjne ustawia się tak, aby nadmiar neutronów powstających

w trakcie zaczynającej się reakcji był przez nie pochłaniany, czyli reakcja jest hamowana, przytłumiona. Potem odradza się znowu. I tak w kółko. Niezależnie od prętów regulacyjnych są również pręty bezpieczeństwa o podobnej konstrukcji w sposób automatyczny blokujące tj. przerywające reakcję lub nawet w ogóle do niej nie dopuszczające, kiedy w reaktorze jest „coś nie tak”. Spadają one same do wnętrza (rdzenia) reaktora.

Reaktor włącza się w prosty sposób prętami regulacyjnymi. Jednakże trzeba sobie zdawać sprawę, że wyłączony reaktor wcale jeszcze nie śpi, ponieważ zawarte w nim uranowe paliwo nie może wystygnąć z godziny na godzinę. Dopiero po wielogodzinnym lub wielodniowym chłodzeniu można zatrzymać pompy i przystąpić do rozładowania reaktora. Oczywiście nawet wtedy paliwo jest bardzo silnie promieniotwórcze i jeszcze wyraźnie grzeje. Można je składować tylko w głębokim schronie, zalanym wodą.



22. Reaktory różnego rodzaju — źródłami promieniowania

Konstrukcja reaktora zależy przede wszystkim od jego wielkości. Mamy różne odmiany urządzeń zaliczanych do reaktorów jądrowych.

Niewielkie nazywane są zestawami krytycznymi lub reaktorami mocy zerowej. Duże to reaktory wielkiej mocy, stosowane w elektrowniach. Reaktor jest źródłem promieniowania gamma i promieniowania neutronowego, no i oczywiście ciepła.

W przypadku zestawu krytycznego, używanego nieraz jako tzw. reaktor uniwersytecki dla studentów, neutrony praktycznie występują tylko w jego wnętrzu. Osłony są minimalne albo nawet wystarcza samo zachowanie odpowiedniej odległości. Towarzyszące neutronom promieniowanie gamma ustaje prawie całkowicie po wyłączeniu zestawu. Nie jest konieczne wymuszone chłodzenie, zbędne są układy specjalnej wentylacji i kanalizacji. Reaktor taki służy do badania zjawisk fizycznych.

Reaktory właściwe można podzielić na dwie ważniejsze grupy: reaktory badawcze czyli eksperymentalne i reaktory dużej mocy, stosowane jak już powiedzieliśmy w energetyce tj. w elektrowniach lub ciepłowniach.

Reaktor badawczy jest na tyle silnym źródłem neutronów, że można wykorzystywać np. do produkcji radioizotopów nie tylko jego wnętrze, ale i wyprowadzać dla celów badawczych neutrony w postaci tzw. wiązek na zewnątrz, poprzez otwory w grubych osłonach otaczających sam środek, czyli rdzeń reaktora. Oczywiście nie wolno znaleźć się w wiązce takich neutronów. Jeżeli próbki jakichś materiałów mają być napromieniowane wewnątrz reaktora, to są tam dostarczane zdalnie i oczywiście wyładowywane również zdalnie.

Promieniowanie gamma towarzyszące pracy reaktora występuje jeszcze bardzo długo po jego wyłączeniu. Jego źródłem pozostaje napromienowany uran w postaci tzw. prętów paliwowych, a ściślej, zawarte w prętach, silnie promieniotwórcze produkty rozszczepienia — radioizotopy. Również elementy wewnętrznej konstrukcji reaktora pozostają zaaktywowane i silnie promieniają. Łatwo domyślić się trudności związanych z jakimikolwiek pracami naprawczymi.

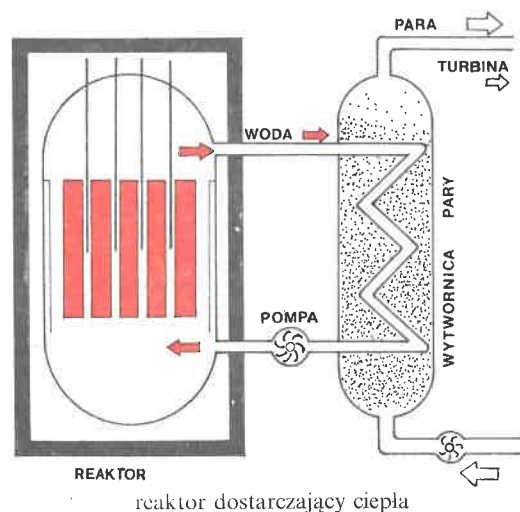
Wracając do warunków kiedy reaktor działa, trzeba sobie zdawać sprawę ile skomplikowanych instalacji otacza „serce” reaktora, czyli wspomniany już rdzeń. Woda chłodząca staje się promieniotwórcza i krąży w obiegu zamkniętym, odizolowanym od otoczenia. Powietrze przetłaczane w obszarach bliskich rdzeniowi też staje się promieniotwórcze i musi być usuwane przez wysoki komin.

Różnego rodzaju pojemniki i ampułki napro-

mieniowane w reaktorze są rozcinane w tzw. komorach gorących, czyli pomieszczeniach o bardzo grubych ścianach osłonowych, z urządzeniami do manipulacji zdalnych; pomieszczeniach intensywnie wentylowanych i połączonych ze zbiornikami ścieków promieniotwórczych.

Cała newralgiczna część budynku chroniącego reaktor musi być szczelna, dla zabezpieczenia się przed niekontrolowaną ucieczką skażeń w sytuacji awaryjnej.

W Polsce są dwa reaktory doświadczalne w Świerku pod Warszawą: EWA i MARIA. W Żarnowcu, nad morzem, zaniechano budowy elektrowni jądrowej.



23. Reaktor a jego otoczenie

Czym różnią się elektrownie jądrowe czyli atomowe od zwykłych?

Można powiedzieć, że reaktor jądrowy to taki sam kocioł jak inne, tylko podgrzewany przemianami jądrowymi w prętach paliwowych, a nie węglem lub gazem. Pozostałe instalacje już są prawie takie same, a elektryczność już dokładnie taka sama. W efekcie możemy włączyć u siebie kuchnię elektryczną zasilaną z daleka energią jądrową. Jaki z tego zysk, a jakie straty?

Kosztowna jest budowa elektrowni jądrowej, drogie paliwo jądrowe, liczone „na wagę” ale tańsze od olbrzymiej masy węgla potrzebnej do wytworzenia takiej samej ilości energii elektrycznej, odpada transport wielkich ilości węgla przez cały czas eksploatacji, potrzebna liczna załoga; znika do zera chemiczne ska-

żenie środowiska przyrodniczego. W sumie koszt elektryczności pewno nieco mniejszy; zaoszczędzony węgiel można wykorzystać do wyrobu cennych produktów chemicznych. Czysto. Ale...

Dlaczego ciągle są opory społeczne przed budową elektrowni jądrowych; nawet miejscami gwałtowne protesty? Niektórzy mają wątpliwości, obawy. Oczywiście one istnieją. Nie ma co udawać, że w ogóle ich nie ma, zwłaszcza po awarii w Czarnobylu. Pomówimy o tym trochę dalej. Tutaj stwierdzmy tylko, że w normalnych warunkach pracy elektrowni jądrowej jej otoczenie jest zupełnie nieskażone; tyle że musi przyjmować większe ilości ciepła uwalnianego np. z wodą chłodzącą.

Poza elektrowniami jądrowymi mogą nas jeszcze interesować i ciepłownie jądrowe. Istnieją już na świecie i są w budowie ciepłownie lub elektrociepłownie jądrowe, które tak samo jak dobrze nam znane ciepłownie węglowe ogrzewają miasta i osiedla. Zyski podobne. Oczywiście gorąca woda dochodząca do mieszkań nie jest wodą, która przepływa przez reaktor. Nawet nie jest to drugi, wtórny obieg, a dopiero trzeci, czwarty lub jeszcze dalsze. Tak znaczne odizolowanie ułatwia znakomicie obsługę, wszelkie naprawy i regulacje, a równocześnie stanowi dodatkowy element zabezpieczenia.

Projektując ośrodek atomowy, elektrownię lub ciepłownię wyznaczamy równocześnie teren tzw. strefy ochronnej. Jakiej jest jej znaczenie? Strefa wyznaczana jest tylko na mapie i nie ogranicza poruszania się ludzi; oprócz zakazu stałego zamieszkania.

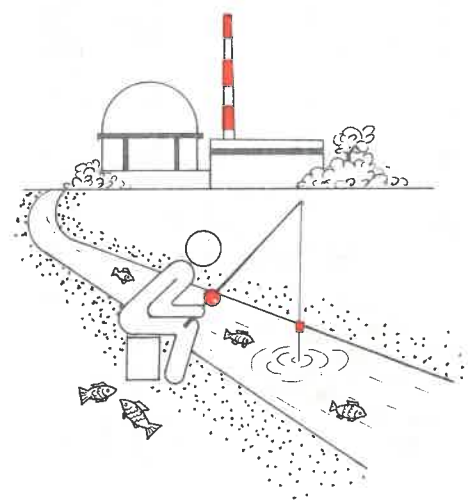
Budując taki ośrodek wybiera się rejon, który nie stwarzałby kłopotów organizacyjnych w razie konieczności ewakuacji. To znaczy, aby mieszkało tam nawet poza ścisłą strefą ochronną niewiele osób. Dlaczego ewakuacja? Nie trzeba tłumaczyć, że mogłaby być konieczna dla uniknięcia zbędnych dawek w przypadku najcięższej awarii, tj. wówczas kiedy zawiodły wszelkie zaprojektowane zabezpieczenia. I praktycznie do tego sprowadzają się przyczyny określania takiej strefy.

Przy normalnej pracy reaktora nikt z okolicznych mieszkańców nie jest narażony na promieniowanie, ponieważ konstrukcja zapewnia bezpieczeństwo nie tylko daleko za płotem, ale przecież i załozde znajdujące się w samych obiektach. A przez komin jest usuwane powietrze, co prawda minimalnie zanieczyszczone izotopami, ale głównie na tyle krótkotrwałymi,

że zanim zdążą opaść na pola, to praktycznie nie są już promieniotwórcze.

Potwierdzają to od szeregu lat kontrolne pomiary próbek ziemi, roślinności, płodów rolnych, mleka, wody, wykonywane nie tylko przy samym obiekcie, ale i w większych odległościach.

A więc znaczenie strefy ochronnej w odniesieniu do elektrowni czy w ogóle ośrodka jądrowego jest inne, niż przy obiektach przemysłowych, wokół których występują czynniki szkodliwe. Strefa ochronna zakładu przemysłowego nie tylko nie może być zamieszkała, ale i wykorzystywana jako teren uprawny; czasem staje się niestety wysypiskiem trujących lub co najmniej pyłących odpadów.



woda nawet rybom nie szkodzi

24. Świeące przedmioty codziennego użytku

Czy może zagrażać promieniowanie jonizujące przy oglądaniu telewizji; przy za długim wysiadywaniu przed ekranem komputera? Ale skąd jakiegoś i tutaj promieniowanie?

Powiedzmy wyraźnie: ci, którzy oglądają program, nawet transmisję z wnętrza reaktora atomowego, nie są zagrożeni. Promieniowanie jonizujące nie przenosi się bowiem na falach eteru. Musiałoby ewentualnie powstawać w skrzynce telewizora, i rzeczywiście niekiedy powstaje, tyle że we wnętrzu kineskopu, za bardzo grubym od strony widza szklanym ekranem, na pewno pochłaniającym takie promie-

niowanie. Dla powstania promieniowania potrzebne jest wysokie napięcie, które właśnie jest w kineskopie. Jeżeli ktoś ma jakieś obawy niech siada nie przy samym telewizorze. I dla oczu zdrowiej.

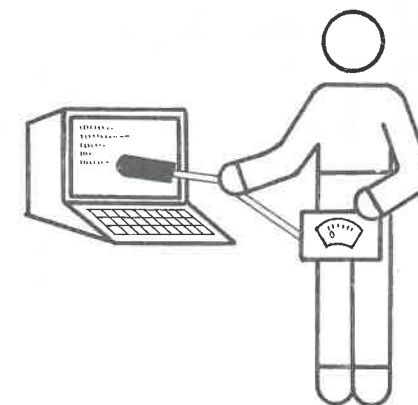
Cała sprawa może tylko czasem dotyczyć osób naprawiających telewizory; przy napięciach powyżej 20–25 kV.

Gdzie jeszcze w życiu codziennym można zetknąć się z promieniowaniem?

Zegarki świecące. Był czas kiedy noszono takie zegarki, albo używano budzików świecących w nocy. Teraz jest ich znacznie mniej, przy czym już tylko niektóre zawierają izotopy promieniotwórcze, a większość świeci jedynie po uprzednim naświetlaniu światłem słonecznym lub lampą. Samoświecące farby promieniotwórcze znajdują coraz rzadsze zastosowanie, i słusznie, bo mogły czasem prowadzić do zupełnie zbędnego narażenia.

Słyszy się o konserwowaniu żywności promieniowaniem, o sterylizacji środków opatrunkowych. W tych przypadkach oczywiście nie dodaje się izotopów jak benzoesu do dżemu, ale naświetla promieniowaniem np. gamma zamknięte konserwy, albo ziemniaki — aby opóźnić kiełkowanie, strzykawki jednorazowego użytku itp. To są te napromieniowywane ciała, a tym razem nie my sami. Cierpią tylko bakterie. A w puszcze izotopy od promieniowania gamma nie powstaną.

Nie codziennie, ale już coraz częściej można spotkać tzw. czujki dymu w sygnalizatorach przeciwpożarowych. Małe źródelko izotopowe, umieszczone w pudełeczku pod sufitem pozwala



komputer nie promieniuje

za pośrednictwem elektroniki na bardzo wczesne ostrzeżenie o pożarze; czasem nawet przed pojawieniem się dymu.

Może uratować dobytek, a może i życie. Wiele towarzystw ubezpieczeniowych na świecie obniża składki tym, którzy zainstalują sobie takie ostrzegacze. Współczesne modele zawierają tak mało izotopu — zwykle ameryk 241 — że nawet nie warto mówić o jakimkolwiek zagrożeniu. Dopiero użycie młotka przez młodego majsterkowicza pozwoliłoby na dotarcie do głęboko ukrytego źródła. Ale nie musimy dawać czujek dzieciom do zabawy, tak samo jak lekarstw, zapalek i żyletek.

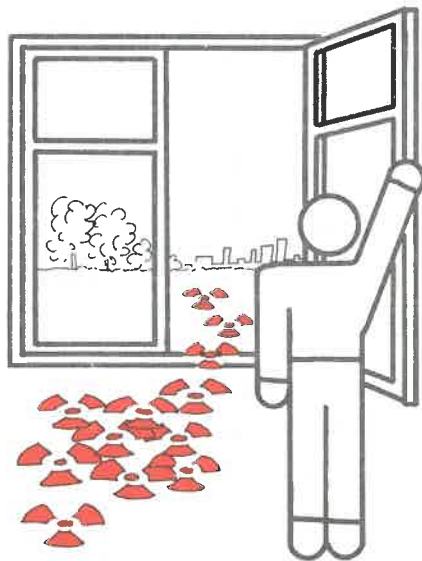
25. Promieniowanie w mieszkaniach

Czy w ogóle można mówić o zagrożeniu promieniowaniem w mieszkaniu, w budynkach?

Wiemy, że promieniowanie jest wszędzie, np. promieniowanie kosmiczne. Nawet i my nosimy w sobie jakieś ślady naturalnych radioizotopów. Tak samo w glebie pod fundamentami, jak i w materiałach budowlanych są pewne minimalne ilości. I to zarówno w najstarszych nawet ceglach, jak i we współczesnym żużlo-betonie, w kruszywie, zwłaszcza w kruszywie granitowym. W drewnie mało. W różnych rejonach kraju i całego świata zawartości radioizotopów mogą się kilkakrotnie od siebie różnić. Wszędzie są to zjawiska naturalne i nikt nie traktuje tego jako zagrożenia. Dla ścisłości trzeba dodać, że równocześnie budynek stanowi i pewną osłonę przed promieniowaniem padającym z zewnątrz, chociażby przed promieniowaniem kosmicznym.

To co na nas działa jest wypadkową różnych czynników. Bardzo dokładne badania wykazują, że ze ścian, a przede wszystkim spod fundamentów, sączy się w ledwie zauważalnych ilościach gaz, zwany radonem. Pochodzi on z resztek promieniotwórczego radu, który występuje jak wiadomo w znikomych ilościach w skorupie ziemskiej, praktycznie wszędzie.

Szczelnie zamknięte pomieszczenie, czyli niewietrzone, zawiera więcej zgromadzonego tam radonu. I nawet nie tylko samego radonu, ale i innych powstających z niego pyłów. Lepiej wypuścić to wszystko na zewnątrz. Otwórzmy okna i drzwi — p r z e w i e t r z m y! Przy okazji pobędziemy się — jeżeli jesteśmy palaczami — dymu z papierosów. Wielokrotnie szkodliwszego niż promieniowanie pochodzące z radonu. Warto.



wypuść radon na zewnątrz

Domieszanie do cementu popiołu lub żużlu, praktycznie nie przysporzy nam promieniowania w mieszkaniu. Zresztą wątpliwy materiał można zmierzyć i porównać z istniejącymi normami.

III. JAK CHRONIĆ SIĘ PRZED PROMIENIOWANIEM?

26. Znak ostrzegawczy

Czy czerwony, czasem czarny na żółtym tle trójlistny znak, popularnie: koniczynka, grozi, czy w gruncie rzeczy ostrzega? Bo sam przecież nie „świeci”, chyba że ewentualnie jest umieszczony bezpośrednio właśnie na źródle promieniowania.

Odpowiedź jest jasna — ostrzega, o s t r z e g a p r z e d n i e w i d o c z n y m. Jest najprostszym, najtańszym i trwałym sposobem ostrzegania. Oczywiście nie zawsze jedynym. Byłoby niemożliwe i zbędne stawiać przy każdym źródle promieniowania kosztowny licznik G-M lub jakąś inną aparaturę alarmowo-sygnalizacyjną. A jako mikroskopijny rysunek, znak może być umieszczony na obudowie źródła promieniotwórczego, może być naklejany jako etykieta na fiolkę z preparatem, umieszczony na drzwiach pracowni, na przenośnych tablicach ostrzegających przed skażoną podłogą w laboratorium lub przed obecnością silnego źródła, akurat używanego do prześwietlania jakiegoś montowanego w szczerym polu rurociągu. Na samochodach transportujących izotopy.

Jeżeli na tablicy ostrzegawczej ze znakiem są dodatkowe napisy, trzeba ich przestrzegać. Gdy napisano np.: żeby nie zatrzymywać się — nie należy podchodzić bliżej, tylko ostrzec innych; ale też nie uciekać w popłochu, bo prawdopodobnie znak jest umieszczony prawidłowo i strefa większego zagrożenia zaczyna się dopiero bliżej samego źródła.

Wielkość znaku wcale nie musi świadczyć o stopniu zagrożenia; mały znaczek, który

ledwo się mieści wymiarami na małym źródle promieniotwórczym, na małej metalowej lub szklanej fiolce, może być zasadniczym ostrzeżeniem o nawet bardzo silnym promieniowaniu. Taki sam znaczek może być też na źródle wzorcowym tak słabym, że tylko bardzo czułe przyrządy w ogóle go zarejestrują.



napisy są dla ciebie

Zachowajmy ostrożność, nie lekceważmy cennego ostrzeżenia, mimo że jest to tylko milczące, ciche ostrzeżenie.

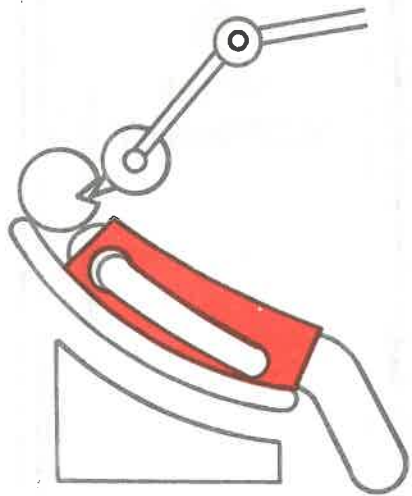
27. Promieniowanie przy badaniach lekarskich

Na szczęście mija już mania prześwietlania płuc lub zębów przy każdej okazji, a nawet i bez niej. Kosztuje nie tylko aparatura, filmy, praca, ale jak przy wszystkim czego za dużo — może kosztować i zdrowie. Paradoksalne? — Tak, ale niestety prawdziwe.

Sprawa jest jasna i w pełni uzasadniona, kiedy trzeba nastawić skomplikowane złamanie nogi, jasna kiedy ktoś połknął agrafkę; ale jeżeli niedawne prześwietlenie płuc nic nie wykryło, to czy musimy znów się prześwietlać?

Ogólne zalecenia międzynarodowe mówią, że promieniowanie można i należy stosować, ale nie wcześniej niż po wyczerpaniu innych możliwości badania. Nadal przyjmuje się, że każda dawka promieniowania niesie ze sobą pewne ryzyko. Im więcej osób jest naświetlanych, im częściej, tym w sumie większe narażenie na promieniowanie; społeczeństwa jako całości chociaż więcej wykryło się chorób. Trzeba szukać rozsądnych kompromisów.

Można uniknąć ryzyka ujemnych skutków promieniowania i pozostawić tę połkniętą agrafkę w brzuchu. Ale wydaje się, że lepiej ją



promieniowanie tylko na ząbek

jednak usunąć, po prześwietleniu. Trzeba szybko rozważyć i wybrać.

Przy badaniach rentgenowskich można nieraz znacznie zredukować dawkę w prosty sposób, co zawsze warto. Np. osłaniając nie naświetlane narządy gumą ołowiową, fartuchem ołowiowym. Przy zdjęciach zębów jest to wyjątkowo łatwe — po co reszta ciała ma być narażana, nawet na promieniowanie rozproszone? Warto poprosić o fartuch ołowiowy, jeżeli pani pielęgniarka akurat jakoś zapomniła o swoim obowiązku.

Ochrona jest tym ważniejsza im ktoś jest młodszy, niezależnie czy to chłopak, czy dziewczyna. A zwłaszcza u maluchów.

Prześwietlenia zostawmy dla tych, którzy tego naprawdę potrzebują.

28. „Teren kontrolowany”

Zagrożenie promieniowaniem ma szczególny, nietypowy charakter. Jest niewidoczne. Dlatego, zamiast wszędzie stawiać przyrządy alarmowe, wygradza się i oznacza streły zagrożone, tj. miejsca, gdzie ewentualnie można się np. skazić radioizotopami, albo inaczej narażać na promieniowanie, tam gdzie jest szansa na jakieś zauważalne dawki promieniowania. Znak ostrzegają wcześniej.

Miejsca, w których przebywanie mogłoby bezpośrednio zagrozić zdrowiu lub życiu są nie tylko otoczone znakami ostrzegawczymi, ale i zamknięte, czasem nawet zablokowane i strzeżone przez całą dobę. Wejście jest dozwolone tylko na określony czas, dla upoważnionych osób, dobrze znających teren, rodzaj zagrożenia, oraz wyposażonych odpowiednio do tego zagrożenia. Może być potrzebna nie tylko odzież robocza i przyrządy pomiarowe, ale



zagrożenie tylko na określonym obszarze

w określonych przypadkach szczelne skafandry, maski, asysta innych osób.

Cały obszar, gdzie prowadzone są prace z użyciem promieniowania, jest często nazywany terenem kontrolowanym, czyli podlegającym kontroli, m.in. poprzez pomiary promieniowania; obszar gdzie obowiązują szczególne przepisy i zachowanie się. Może to być cały teren dużego zakładu pracy np. ośrodka jądrowego, ale równie dobrze tylko jedno piętro budynku, a nawet tylko jeden zespół pomieszczeń.

Poza terenem kontrolowanym nie dopuszcza się pracy w warunkach zagrożenia.

29. Wymagania stawiane laboratorium

Jedną z zasad pracy w warunkach zagrożenia jest praca dopiero po szczegółowym przemyśleniu, przygotowaniu i sprawdzeniu wszystkich warunków dla sprawnego i bezpiecznego działania. Z reguły musi to być praca w odpowiednim miejscu — laboratorium; jest ono nazywane pracownią izotopową. Aby uzyskać rejestrację — zezwolenie musi spełniać ściśle określone wymagania. Tym ostrzejsze, im więcej i częściej przerabia się tam izotopy.

Do najprostszych prac wystarczy dobre laboratorium chemiczne. Jeżeli mamy do czynienia z proszkami promieniotwórczymi lub gazami, może być konieczna szczelna komora, odpowiednia wentylacja, kanalizacja, aparatura pomiarowa, a nawet szczelne ubrania — skafandry i maski. Czystość. Wyraźne oddzielenie od innych pomieszczeń.

Zależnie od wyposażenia i przygotowania, pracownice rejestruje się według trzech klas, z przeznaczeniem do prac z otwartymi źródłami promieniotwórczymi o różnych aktywnościach.

Dla izotopów o najmniejszej radiotoksyczności, czyli najłagodniejszych, dopuszcza się ilości największe, ale w przypadku stosowania radioizotopów najbardziej toksycznych, granice aktywności są 10 000 razy mniejsze! Świadczy to o niezwyklej ostrożności przepisów.

Dalsza ostrożność wyraża się tym, że niezależnie od uzyskania klasy pracowni izotopowej może istnieć obowiązek uzyskania zezwolenia na zamówienie i dostawę źródła promieniotwórczego, zwłaszcza większej aktywności. Dodatkowo źródła podlegają ścisłej ewidencji i kontroli wykorzystania.

Nieco inna procedura związana np. z kontrolą prawidłowości osłon, jest wymagana przy uruchamianiu różnego rodzaju urządzeń stano-

wiących zamknięte źródła promieniowania a więc np. aparatów gammagraficznych do prześwietlania metali, aparatów rentgenowskich, akceleratorów, różnego rodzaju mierników przemysłowych zawierających nieduże źródła itp.

Bardzo małe ilości izotopów mogą być zwolnione od wielu rygorów związanych z zezwoleniami, rejestracjami i kontrolami, ale i przy nich obowiązuje ostrożność. Zwykła, rozsądna ostrożność. Oczywiście samymi zakazami bezpieczeństwa zapewnić się nie da.

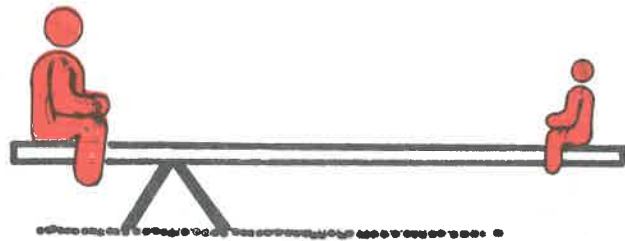


wszystkiego zabronić się nie da...

30. Czynniki decydujące o zagrożeniu promieniowaniem

Obojętne czy stanęliśmy przed problemem usunięcia i unieszkodliwienia znalezionej substancji promieniotwórczej, lub też pracując w laboratorium izotopowym mamy przygotować czynności związane z wykorzystaniem planowo i legalnie otrzymanego źródła — ampułki, czy rozkręcamy skażoną pompę, musimy zastanowić się nad stopniem zagrożenia.

Decyduje przede wszystkim dawka jaką otrzymamy. Lepiej żeby była jak najmniejsza, w ogóle zerowa. A wiemy, że dawka to czas narażenia, pomnożony przez moc dawki, czyli



trzeba zważyć różne czynniki

dawka otrzymywana w każdej sekundzie, zsumowana przez wszystkie sekundy narażenia.

Co wpływa na moc dawki? Oczywiście odległość. I to jest wpływ ogromny, zależny od kwadratu odległości. Z odległości 10 cm od źródła jest 100 razy więcej promieniowania niż z 1 metra. Czyli dłoń trzymająca 10-cm pincetę ze źródłem, otrzymuje w ciągu sekundy 100 razy większą dawkę, niż w ciągu tejże sekundy dłoń trzymająca 1-metrowy manipulator z identycznym źródłem.

Jeżeli to określiliśmy, pozostaje wyznaczyć, ile sekund potrzeba, np. aby schować źródło do pojemnika osłonowego pincetą, a ile manipulatorem? Na ogół czasy są zbliżone — wówczas staje się oczywista przewaga pracy z większej odległości, manipulatorem.

Może być jednak przypadek, że manipulatorem jest trudno uchwycić szklaną fiolkę, że są jakieś przeszkody na drodze, że źródło może wyslizgnąć się z uchwytu, rozbić i tak dalej. Jeżeli okaże się, że to co zrobilibyśmy pincetą w ciągu paru sekund, wymaga pracy manipulatorem przez szereg minut, należy jeszcze raz dobrze się zastanowić, który wariant wybrać.

Tam, gdzie idzie o niskoaktywne źródła, o pojedyncze czynności, sprawa wydaje się błaha. Tam gdzie zagrożenie jest jednak poważne, trzeba nieraz przeprowadzać próby tzw. na zimno, to jest początkowo nie z prawdziwym źródłem, ale z jego makietą, ze „źródłem” nie promieniującym, o takich samych wymiarach, masie. Dopiero po szczegółowym przeciwiczeniu kolejnych czynności, po przekonaniu się, że nie następują żadne zacięcia, że dysponujemy naprawdę wszystkim co nam potrzebne, że nikt nam nie przeszkodzi, że czas rzeczywistego narażenia nie przekroczy przewidywanych wartości i tym samym na pewno nie zostanie przekroczona założona wartość dawki, dopiero wówczas podejmuje się czynności z prawdziwym źródłem promieniotwórczym.

Pracujmy z rozwagą, tak aby mieć 100% pewności rezultatów, sprawnie, bez zdenerwowania. W takich warunkach dawka będzie minimalna.

31. Zapobieganie narażeniu

Przy rozpoczynaniu prac zagrażających promieniowaniem lepiej dmuchać nawet na zimne, czyli dobrze rozważyć wszystkie aspekty sprawy, zanim doszło do dawek. Wiemy przecież, że promieniowanie, które na nas padło już jest „nasze”. Nikt nam tego praktycznie nie odbierze.

A więc planujemy robotę po kolei, a właściwie może jeszcze wcześniej? Postawmy sobie pytanie, czy nie można naszych trudności rozwiązać bez stosowania tak dużej dawki promieniowania?

Dopiero, kiedy będziemy naprawdę przekonani, że oplaca się zastosować promieniowanie, że tylko ono może nam pomóc, ustalajmy, jak będziemy działać, jak będziemy pracować, nie narażając ani innych ani siebie bez potrzeby.

Nasz plan:

- jaki izotop — jak dalece trwały;
- jaka wystarczy najmniejsza aktywność;
- jak go rozpakujemy, albo inaczej — czy nie mamy specjalnych wymagań, aby go otrzymać już w odpowiednio spreparowanej postaci;
- gdzie będziemy go przygotowywać; czy laboratorium ma odpowiednią klasę do naszych prac;
- jak z narzędziami, odczynnikami, rękawiczkami gumowymi, okularami, pincetami;
- czy mamy odpowiedni przyrząd pomiarowy, znaki ostrzegawcze;
- jak z wentylacją, osłonami;
- gdzie umyjemy ręce;
- jak postąpimy w razie pożaru lub wybuchu;

— co zrobimy z niewykorzystaną resztą, z odpadami;

— wstępne próby bez preparatu.

Trzeba rozważyć przynajmniej te czynniki. Przeprowadzając analizę, przygotowujemy treść instrukcji pracy. Zatwierdza ją inspektor ochrony przed promieniowaniem.

To był zarys przygotowań — profilaktyki.

A kiedy już praca trwa, istnieje nie zwyczaj, a obowiązek rozpatrywania wszelkich informacji, które mogłyby zapowiadać niebezpieczeństwo. W razie potrzeby mierzy się np. stężenie substancji promieniotwórczych usuwanych przez wentylację. Kontroluje się moc dawki w pomieszczeniu pracy monitorem alarmującym automatycznie.

Przy mniejszych zagrożeniach z powodzeniem wystarcza pomiar dawek indywidualnych — osobistych, za pomocą filmów wywoływanych co miesiąc, a nawet co trzy. Przekroczenie 1/10 granicznej dawki rocznej wymaga szczegółowej analizy i protokolarnego wyjaśnienia. Ktoś zapyta dlaczego tak wcześniej — przecież to jeszcze bardzo dalekie od niebezpieczeństwa?

Taki system wczesnego ostrzegania służy profilaktyce, pozwala stosować środki zapobiegawcze, poprawić metodykę pracy. Między innymi dzięki temu praca z promieniowaniem jest bezpieczniejsza od wielu innych; dzięki temu w wielu przypadkach może stanowić wzór organizacji dla innych zawodów.



pomyśl zawczasu

32. Materiały osłonowe

Rodzaj osłony zależy od rodzaju promieniowania. Np. od promieniowania alfa może wystarczyć przesłona papierowa. Od beta już grubsza płyta plastikowa, ale od gamma będzie nas skutecznie chronił aż ołów. Czasem znacznej grubości.

Nie zawsze jest to absolutna konieczność. Zależy to przede wszystkim od przestrzeni jaką mamy do dyspozycji na osłonę. Jeżeli jest miejsce, zamiast ołowiu równie dobrze może być stal, beton, ziemia, woda.

Stopień osłonności przyjęto, dla pewnej wygody, wyrażać w tzw. równoważniku ołowiu tj. grubości warstwy ołowiu, która zapewniałaby taką samą osłonność. Im materiał cięższy, tym lepiej chroni. Np. od ołowiu lepszy byłby wolfram lub uran ale są znacznie droższe i trudniejsze w formowaniu.

Przy budowie osłony sprawą ważną jest jej jednorodność i szczelność. Nie powinno być prześwitów. Dlatego kiedy osłonę zestawia się np. z cegiełek ołowianych, to są one ukształtowane tak, aby nie powstawały w ścianie szpary i otwory; na zakładkę. Tam gdzie osłona ma zapewnić duży stopień osłabienia, nie wystarcza postawienie grubej ściany, nawet całkowicie szczelnej, i schowanie się w jej cieniu bez zabezpieczenia boków i góry. Trzeba uwzględnić wpływ promieniowania rozproszonego, które jest w stanie ominąć prostą osłonę. Kiedy trzeba poprzez osłonę patrzeć, stosuje się ciężkie szkło ołowiove, lustra, telewizję.

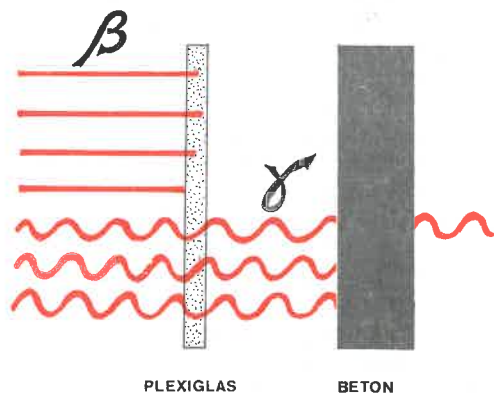
Jako osłony przed promieniowaniem beta służą najczęściej tworzywa sztuczne, szkło i aluminium. Wiemy, że promieniowanie beta ma ograniczony zasięg, więc wystarczają niewielkie grubości — około 10 mm. W szczególnych warunkach osłona od promieniowania beta musi być uzupełniona osłoną od towarzyszącego promieniowania gamma, a więc będzie to osłona dwuwarstwowa: najpierw plastik od strony źródła, potem ołów.

Czasem promieniowanie towarzyszące nie jest promieniowaniem gamma, tylko tzw. promieniowaniem hamowania, powstającym jako rezultat hamowania cząstek beta, zwłaszcza kiedy padają one na warstwy metalu. Przed promieniowaniem hamowania chronimy się stosując też osłony dwuwarstwowe: plastik, ołów.

Skoro mówimy o promieniowaniu beta, to trzeba zaznaczyć, że dla osób, które z tym promieniowaniem bezpośrednio pracują, bar-

dzo jest istotne noszenie okularów. Normalne okulary optyczne już zapewniają niezłą ochronę oczu; jeśli ktoś nie nosi szkieł, do pracy powinien je jednak nakładać; mogą być z płaskich płytek ze szkła organicznego — plexiglasu.

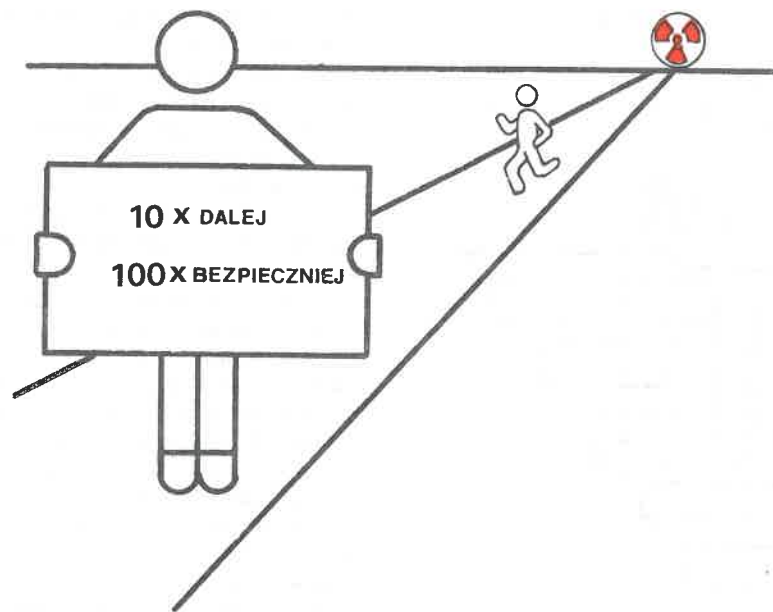
Dla kompletu informacji dodajmy, że przed neutronami dobrze chronią grubsze warstwy parafiny, polietylenu a także wody.



osłony przed promieniowaniem beta i gamma

33. Zmniejszanie się zagrożenia z odległością

Przeznaczeniem osłony jest zmniejszanie ilości promieniowania, zmniejszanie mocy dawki.



Odległość może chronić podobnie. Po prostu tak jak od żarówki im dalej tym ciemniej, tak samo im dalej od źródła, od izotopu, tym jest mniej promieniowania. Nieraz, aby się ochronić, łatwiej jest nie zbliżać się, działać z daleka; łatwiej niż stawiać ciężkie, drogie osłony.

Reguła jest prosta, tzw. zależność kwadratowa, jeżeli źródło jest małych geometrycznie rozmiarów; w 2 razy większej odległości jest 4 razy mniej promieniowania; w 3 razy większej 9 itd.; tak np. w odległości 1 metra jest 10 000 razy mniej niż z 1 cm. Albo na odwrót: w odległości 1 cm, tuż przy źródle, jest 10 000 razy większa moc dawki niż w odległości 1 metra!! A więc stąd wynika bezwzględny zakaz brania źródeł promieniotwórczych do ręki. Aby pracować na odległość, wystarczy przy słabutkim źródle pinceta, przy mocniejszych manipulatory pozwalające chwycić źródło na dystans. Przy źródłach wysokiej aktywności, manipulator (i my sami) musi pracować już zza osłony.

To co mówimy, dotyczyło źródeł niewielkich rozmiarów, punktowych. W przypadku, kiedy mielibyśmy do czynienia ze źródłem promieniowania szerokim, długim lub o dużej powierzchni np. w postaci skażenia obejmującego szereg metrów, to proporcje są już mniej korzystne, ale zawsze pewien zysk z zachowania odległości pozostanie. Skrajnym przykładem byłaby sytuacja, kiedy skażenia obejmują rozległy teren, a my znaleźliśmy się w jego środku. Wyobraźmy

sobie, że moc dawki wynosi tam 1 siwert na godzinę. Jeżeli byśmy odkazili krąg o promieniu około 10 metrów, to moc dawki w środku takiej niwy oazy zmaleje zaledwie do połowy, czyli do 0,5 siwerta na godzinę.

Opisane zjawiska wynikają z najprostszych zależności geometrycznych tak dokładnie, że wykorzystuje się je przy wzorcowaniu, czyli kalibracji najprecyzyjniejszych przyrządów pomiarowych. Odchylenia od reguły mogą wynikać tylko z tego, że promieniowanie jest w pewnym stopniu pochłaniane przez powietrze. Najmniej dotyczy to przenikliwego promieniowania gamma, ale kilka metrów może być już nie do przebycia dla cząstek beta o średniej energii, a dla promieniowania alfa wystarczy już warstwa 10 cm powietrza.

Pamiętajmy: branie źródła promieniotwórczego do ręki jest absolutnie wzbronione. Nawet parosekundowe przenoszenie w palcach, bez pincety, może spowodować znaczne poparzenia, a przy tylko trochę aktywniejszym źródle (nie musi być wcale fizycznie większe) grozi nawet amputacja dłoni, czy ręki! Zastanówmy się trochę, widząc podejrzany przedmiot, np. niewielką tubę stalową, może aluminiową; zwłaszcza z naklejonym lub wygrawerowanym znakiem ostrzegawczym...

To wszystko razem dotyczyło zagrożenia nie pochodzącego od lotnych substancji promieniotwórczych, unoszących się jako gaz lub kurz w powietrzu. Kiedy mamy do czynienia ze skażonym powietrzem może być trudno o określenie bezpiecznej odległości. Potrzebne są zabezpieczenia przed skażeniami, a więc maski, ubrania, rękawice.

34. Trzymanie skażeń pod kloszem

Pod kloszem trzymamy zwykle to, co chcielibyśmy ochronić przed zabrudzeniem z zewnątrz. Kiedy idzie o substancje promieniotwórcze, też stosujemy swego rodzaju klosze, ale kierunek działania jest odwrotny. Izotopy mają pod kloszem pozostać. Klosz niekoniecznie jest szklany. Może przybrać różne formy, od małych komór rękawicowych do wielkiego, szczelnego budynku. Często jedno będzie w drugim.

Sprawy dotyczą zwłaszcza dużych obiektów, takich jak na przykład elektrownia lub ciepłownia jądrowa. Podstawowym źródłem zagrożenia jest służący jako paliwo uran, który w miarę zużycia się, ulega przemianom w tzw. produkty rozszczepienia, silnie promieniotwórcze.

W takim przypadku stosuje się kolejne „klosze” odcinające źródło skażenia od otoczenia.

Uranu nie pozostawiamy luzem, ale zamykamy w szczelnych metalowych rurkach, nazywanych koszulkami. Wspomniane produkty rozszczepienia są zatrzymywane już wewnątrz koszulki i w normalnych warunkach nie mogą się z niej wydostać.

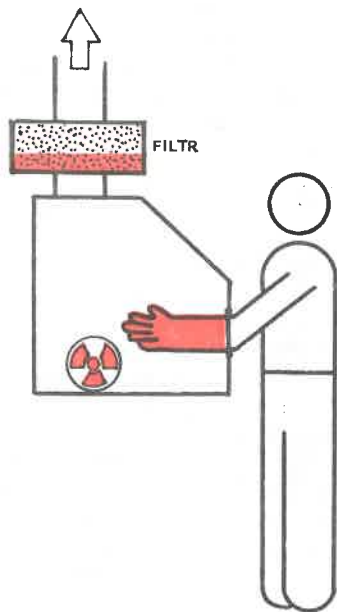
Koszulkę omywa z zewnątrz woda chłodząca, która krąży w zamkniętym i osłoniętym, szczelnym rurociągu. Gdyby się zdarzyło, że uległa uszkodzeniu koszulka otaczająca uran i substancje promieniotwórcze przeszły do krążącej wody, to przed rozprzestrzenieniem się skażeń chroni nas zamknięty obieg chłodzenia.

Przewidziano i to, że nieszczęścia potrafią chodzić parami. Gdyby okazało się, że akurat równocześnie ze skażeniem wody pękł rurociąg, czyli ten drugi klosz, pozostaje jeszcze trzeci: szczelny budynek, w którym zostanie zatrzymane wszelkie paskudztwo. Szczelny budynek jest mocny, nie rozleci się nawet wówczas, gdy parująca wewnątrz woda wytworzyła pewne nadciśnienie. Wejście do wnętrza odbywa się poprzez odpowiednie śluzy, powietrze jest wywiewane przez specjalne filtry.

Oczywiście w opisanej sytuacji awaryjnej przewidziana jest natychmiastowa ewakuacja załogi na zewnątrz, automatyczne wyłączenie reaktora i zdalne, czyli na odległość, sterowanie tymi wszystkimi czynnościami, które są konieczne dla usunięcia skażeń. Ale są to sytuacje wyjątkowe.

Trochę inna sytuacja jest na co dzień przy pracy z otwartymi źródłami promieniotwórczymi. Stosuje się mianowicie komory, tzw. rękawicowe, do których wprowadza się izotop, szczelnie zamyka i przy działającej wentylacji dokonuje normalnie wszystkich wymaganych operacji wewnątrz komory, posługując się rękawicami tak, że pozostaje się samemu na zewnątrz. W ten sposób atmosfera wewnątrz komory, która może być skażona, jest odizolowana od otoczenia; usuwane wentylatorem powietrze przechodzi przez filtry i też nie zagraża otoczeniu. Komory zamiast rękawic mogą być wyposażone w manipulatory, mogą być osłonięte i obudowane. Dochodzimy w ten sposób do tzw. komór gorących, w których mogą być bezpiecznie przerabiane najwyższe aktywności, przy pełnej izolacji od otoczenia.

A więc ochronnym kloszem może być cały budynek, jego fragment, również komora rękawicowa i nawet bezpośrednia, szczelna obudowa źródła.



źródła otwarte w zamkniętej komorze

35. Skuteczność filtrów powietrza

Jeżeli na filtrze, przez który przepuszczamy zanieczyszczone powietrze zatrzymuje się 99% zanieczyszczeń, to znaczy, że do atmosfery ucieka pozostały 1% czyli 1/100 tego, czego pozbywamy się z laboratorium: jeżeli 99,99% to już tylko 1/10 000 itd.

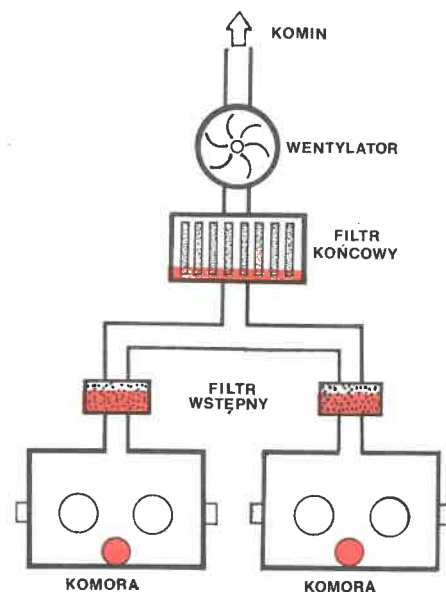
Wydaje się, że uciekająca 1/10 000 część to bardzo mało. Oczywiście lepiej niż 1/100, ale i tak może to być jeszcze nie zadawalające. Najlepsze filtry będą za mało skuteczne, jeżeli usuwanego kurzu jest za dużo. Jaka może być na to rada, gdy najlepszy już filtr nie zapewnia właściwej ochrony otoczenia? Praktycznie tylko jedna — musi być ograniczona emisja początkowa, musi być poprawiona technologia, musi być ograniczona aktywność przerabianego izotopu.

Gdzie stosuje się filtry powietrza? Zależy to od rodzaju prac, od używanych substancji chemicznych, od stopnia koniecznej wentylacji itp. Może niektórych to zdziwi, ale filtry stosuje się również, aby oczyszczać powietrze wchodzące do laboratorium, wchodzące do wyciągów i komór rękawicowych. Przyczyna jest prosta: wprowadzając czystsze powietrze mamy mniej

brudu w laboratorium, w komorze, wreszcie w samym przygotowywanym preparacie i oszczędzamy drogie filtry wyjściowe.

Schematycznie można sobie układ wentylacji wyobrazić w ten sposób, że zasysane powietrze oczyszczamy wstępnie, przepuszczając je przez jeden filtr, po czym przechodzi ono przez pomieszczenia laboratorium, przez komorę, w której przerabia się izotopy i trafia, wraz z lotnymi zanieczyszczeniami pochodzącymi już z komory, (aerozolami), na filtr umieszczony na początku rurociągu prowadzącego do komina. Tu zatrzymują się co grubsze pyły. Na końcu rurociągu znajduje się ostatni, najważniejszy filtr, który wylapuje już najdrobniejsze pyłki. Potem wentylator i komin! Prawie zupełnie czyste powietrze zostanie na wysokości znakomicie rozcieńczone; zanim opadnie z powrotem na ziemię minie trochę czasu i mało który izotop będzie jeszcze aktywny. Dotyczy to i gazów, których zwyczajne filtry nie są w stanie zatrzymać.

Oczywiście materiały stosowane w filtrach są różne, zależnie od przeznaczenia filtru (zn. zależnie od substancji chemicznej, którą musimy



system wentylacji dwóch komór rękawicowych

zatrzymać. Rzadko kiedy może być filtr uniwersalny, który wylapywałby pyły różnego rodzaju. Stosuje się więc różne tkaniny filtracyjne, bibuły, węgiel odpowiednio spreparowany (gazy!) i nawet nasycany różnymi impregnatami.

I jeszcze mała tajemnica: filtr trzeba dobrze skręcić śrubami, zapewnić całkowitą szczelność. Nie może być dziur, ani w samym filtrze, ani wokół niego.

36. Odzież ochronna

Wyposażenie podstawowe przy pracach gdzie mogą wystąpić skażenia to fartuch i odpowiednie pantofle, rękawiczki gumowe, dalej bluza, bielizna służbowa, okulary, rzadziej maska; oczywiście i przyrząd pomiarowy.

Idzie o to, aby w przypadku osobistych skażeń promieniotwórczych było łatwo pozostawić je w miejscu pracy, na służbowym fartuchu czy obuwiu.

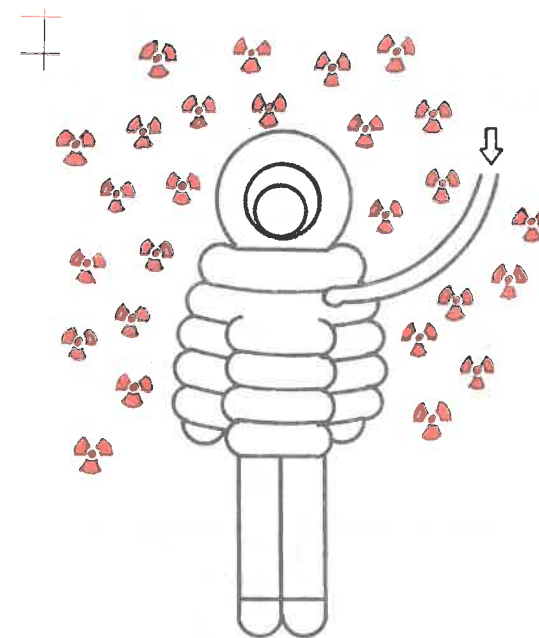
Przy opuszczaniu stanowisk w laboratorium obowiązuje ścisła dyscyplina, ścisła kontrola licznikiem przede wszystkim rąk, obuwia — zwłaszcza podeszew, odzieży. I m w c z e ś n i e j przeprowadzi się pomiar, im bliżej stanowiska pracy, t y m l e p i e j. Łatwiej uniknąć rozniesienia skażeń, jeżeli powstały, łatwiej je zlokalizować, ograniczyć.

W miejscach zastrzeżonych jako niedostępne, gdzie skażenia występują stale, a gdzie trzeba np. coś naprawić, obowiązują ubrania specjalne, szczelne skafandry z nadmuchem powietrza, ewentualnie maski. Zabezpiecza to przed wdychaniem skażonego powietrza i umożliwia pracę w najbardziej zagrożonych warunkach. Oczywiście wchodzący, gdy wymagają tego okoliczności, w taki rejon pracownik nie jest sam. Koledzy pomogli mu się ubrać, kontrolują ściśle warunki, w których pracuje, mierząc moc dawki promieniowania, skażenia, ilość dopływającego powietrza. Potem koledzy pomagają mu się rozebrać. Pomoc jest konieczna, ze względu na odkażenie skafandra z zewnątrz jeszcze przed jego zdjęciem, poprzez mycie strumieniem wody i wycieranie.

Po rozebraniu się z poszczególnych części ochronnej garderoby ściśle przemyślanymi ruchami i w ściśle określonej kolejności, obowiązuje następny pomiar kontrolny — odzieży spodniej, bielizny i ciała. W razie stwierdzenia resztek zanieczyszczeń zostają one wytarte. Na koniec pod prysznic!

Jeżeli została skażona odzież, to kieruje się ją do oddzielnej pralni, przygotowanej na taką

ewentualność. Jeżeli skażenia są silniejsze, odzież, obuwie, nie mówiąc już o gumowych rękawiczkach, idą do odpadów.



bezpieczny i w skażonej atmosferze

37. Usuwanie skażeń osobistych

Przy pracy w laboratorium można się czasem skażić. Nie jest to powód do wielkiego alarmu.

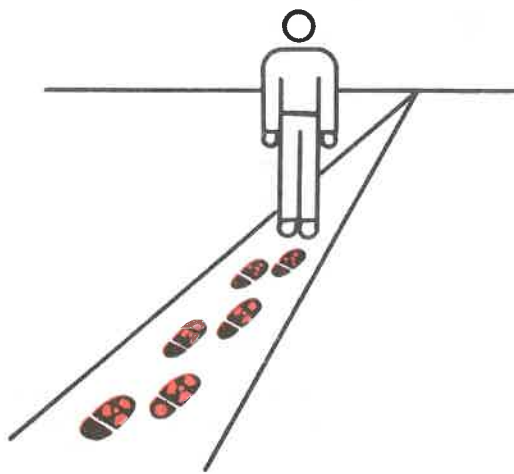
Jeżeli dobrze ustaliliśmy dokładne miejsce skażenia na naszym ciele (oczywiście potrzebny jest przyrząd dozymetryczny), najlepiej z pomocą drugiej osoby, staramy się wilgotnym tamponem z zimną wodą, szmatką, zetrzeć to możliwie dokładnie. Dla lepszej skuteczności tampon może być zwilżony wodą z mydłem lub ewentualnie kwaskiem cytrynowym. Rozpuszczalniki i silne detergenty wolno stosować tylko z najwyższą ostrożnością. W przypadku skażeń w sąsiedztwie ran, może być potrzebna pomoc lekarza.

O ile to konieczne czynności powtarzamy, jednak tak, aby nie uszkodzić powierzchni skóry, nie „wpędzić” skażenia w głąb.

Kiedy zostało już usunięte główne źródło skażeń, można i trzeba umyć resztę.

Czym grozi pozostawienie na skórze (oczywiście podobnie i na ubraniu, na butach) skażenia, które łatwo się ścierną? Łatwo zgadnąć, że skażenie rozniesie się po najbliższym

otoczeniu, po podłodze, stołach, klamkach, różnych uchwytach, a przede wszystkim na inne części ciała i nawet nie zauważymy kiedy może trafić i do wnętrza organizmu. Skażenie zewnętrzne przejdzie w skażenie wewnętrzne, jak wiemy bardzo trudno usuwalne. Jednym słowem bardzo łatwo o dawkę, o narażenie na promieniowanie. Oczywiście skażenie pozostające na skórze prowadzi bezpośrednio do jej narażenia. Z tego wszystkiego wynika zalecenie: trzeba sprawdzać się przyrządem pomiarowym jak najbliżej miejsca pracy, tak aby w przypadku zaistnienia skażenia natychmiast je wykryć i w maksymalnym stopniu zabezpieczyć przed dalszym rozniesieniem. Przyrząd pomiarowy jest konieczny, ponieważ plama skażeń może być zupełnie niewidoczna i przez to niebezpieczna.



skażenie roznieść łatwo

38. Skażenie promieniotwórcze

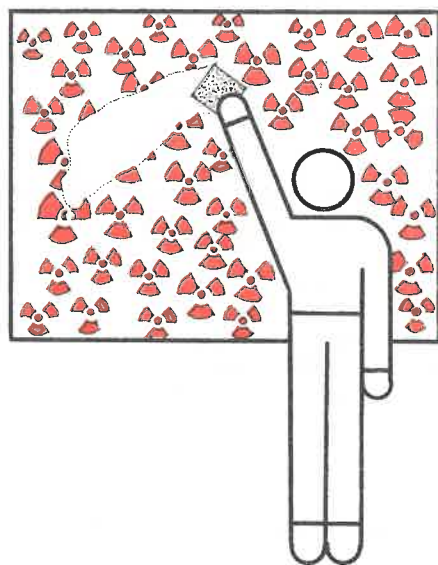
Skażenie promieniotwórcze to substancja promieniotwórcza, która znalazła się w niewłaściwym miejscu. Skażenia usuwa się jak brud, tj. przez zmywanie, wycieranie, pranie. Metoda usuwania powinna być dopasowana zarówno do rodzaju substancji skażającej, jak i do rodzaju powierzchni, która została skażona.

Co to znaczy rodzaj substancji skażającej? Mamy tu na myśli nie tylko rodzaj izotopu, a więc czy to jest kobalt-60, jod-125, sód-24, cez-137, ale również rodzaj związku chemicznego, w którym tkwi skażający izotop. Trzeba dodać, że rzadko trafia się izotop promienio-

twórczy zupełnie czysty — na ogół jest to właśnie jakiś związek czy mieszanina, wykazująca określone właściwości: rozpuszczalna, nierozpuszczalna, lotna, agresywna chemicznie lub obojętna. Skuteczność usuwania powstałego skażenia zależy m.in. od tego jak dobierzemy środek czyszczący. W wielu przypadkach wystarczy woda, mydło, kwas cytrynowy, zwykły proszek.

Nie każdy zdaje sobie sprawę jak łatwo przenosi się brud. Dopiero kontrolując licznikiem powstałe skażenie, nieraz niewidoczne gołym okiem, udaje się prześledzić drogę, po której się rozeszło. A więc istotne jest szczególnie kontrolowanie pomiarowe, czy nie powstały skażenia, czy się nie rozprzestrzeniły. Przy okazji zauważa się, że technicznie o wiele łatwiejsze jest wysledzenie substancji promieniotwórczej, niż niejednej substancji wysokotoksycznej, trucizny. Oczywiście musimy mieć odpowiedni miernik.

W sytuacji kiedy przewidujemy możliwość wystąpienia skażeń, trzeba stosować rękawiczki ochronne, odzież, obuwie i pracując dbać o skrupulatne lokalizowanie skażeń, tj. zapobieganie rozprzestrzenianiu się. Oczywiście znacznie łatwiej zlikwidować, jak przy pożarze, skażenia w zarodku. Dotyczy to zarówno skażeń powstałych np. na stole laboratoryjnym, jak i na podłodze czy na własnej skórze.



na mokro lepiej

Przy odkażaniu początkowo używamy jak najmniej płynu, tyle ile trzeba żeby zwilżyć szmatkę dla dobrego starcia. To co pozostało czystymy energiczniej, ale w miarę możliwości nie tak, aby substancja skażająca przeniknęła głębiej. Zwłaszcza w głąb skóry. Ale uwaga! Silne detergenty mogą tu narobić szkody. Po tem dopiero solidne, wielokrotne mycie.

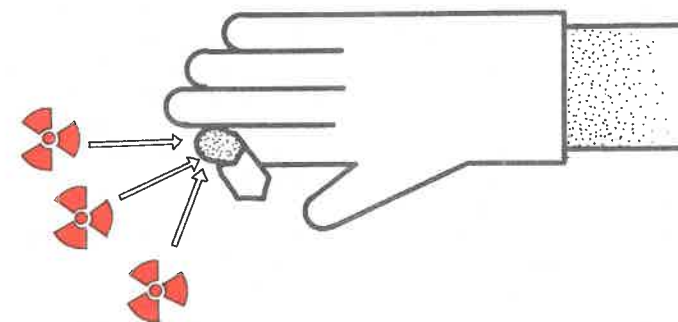
Czy nasze działania dają skutek, przekonujemy się mierząc czyszczoną powierzchnię licznikiem. Jeżeli reszta nie daje się już usunąć, to nazywamy ją skażeniem utrwalonym, nieścieralnym, związanym.

A cały ten kłopot, o którym mówimy, wyniknął z pracy z otwartym źródłem promieniotwórczym, czyli z substancją, która nie będąc trwale zamknięta „ma prawo udać się na spacer”.

39. Ochrona rąk

Przed skażeniem promieniotwórczym może zabezpieczyć naciągnięcie rękawiczek ochronnych na dłonie; na dłonie, które nie są zadrażnione, które są zdrowe.

Właściwie byłoby to prawie wszystko. Z tym, że może warto zastanowić się, przed czym właściwie te cienkie, gumowe rękawiczki nas chronią?



dziurawa rękawiczka — to skażenie

Jeśli pracujemy w laboratorium z otwartymi źródłami, tj. dokonujemy jakichś operacji chemicznych np. pod wyciągiem czy w hermetycznej komorze, rękawiczki zabezpieczają nas przede wszystkim przed skażeniem skóry, czyli pobrudzeniem chemikaliami zawierającymi substancje promieniotwórcze. Nie mogą one znaleźć się na skórze ani przeniknąć

w głąb; jeżeli jest to kwas, nie mogą poparzyć. To podstawowa funkcja ochronna rękawiczek.

Równocześnie rękawiczki osłabiają jednak w pewnym stopniu promieniowanie, tzn. że promieniowanie, mniej przenikliwe, zostanie częściowo lub nawet całkowicie zatrzymane i nie dotrze do skóry. Zwłaszcza promieniowanie alfa i niektórych izotopów betapromieniotwórczych. Promieniowania gamma rękawiczki praktycznie nie osłabiają.

Aby zabezpieczenie przed skażeniem rąk było w pełni skuteczne, jest ważne nie tylko umiejętne nakładanie rękawiczek, ale i zręczne ich ściąganie, w sytuacji kiedy są lub mogą być skażone. A przeniesienie skażenia z zewnętrznej powierzchni rękawiczki na ręce lub inne części ciała jest bardzo łatwo. Warto poszczególne ruchy zawsze sobie przećwiczyć.

Ochrona rąk, a zwłaszcza dłoni, istotna jest szczególnie w sytuacji manipulowania nimi w niewielkiej odległości do silniejszego źródła, czyli w tzw. silnym polu promieniowania. Również mogą być niebezpieczne nieosłonięte źródła beta.

Dobrze jest znana zależność natężenia promieniowania od kwadratu odległości — pamiętamy: przy 2 razy mniejszej odległości — 4-krotnie większa przy 10 razy mniejszej 100-krotnie większa itp.

Przy pośpiesznych czynnościach łatwo o gwałtowne zmniejszenie dystansu, o porzucenie bezpiecznej odległości i o działanie z bliska. Grozi to nieobliczalnymi konsekwencjami. Przypadek krańcowy to chwytanie źródła bezpośrednio palcami. Nawet niewielkie źródło potrafi głęboko poparzyć, nieco silniejsze może doprowadzić do amputacji i tak dalej...

Właściwe przygotowanie szczegółów manipulacji, odpowiednie, całkowicie pewne narzędzia, uchwyty, oświetlenie i co może najważniejsze — dobrze przeciwiczone wszystkie ruchy w tych warunkach, w jakich praca będzie wykonywana, gwarantują ostateczne bezpieczeństwo. Dodatkowym zyskiem z nabytej wprawy jest skrócenie czasu ekspozycji, czyli w efekcie zmniejszenie łącznej dawki.

Oczywiście pomocne są i osłony, pojemniki, fartuchy, wózki itd.

Praktyka wskazuje, że dawki otrzymywane przez ręce przy pracy ze źródłami promieniowania są nieraz wielokrotnie większe, niż innych części ciała. Warto zdawać sobie z tego sprawę.

40. Ograniczenia w zatrudnieniu

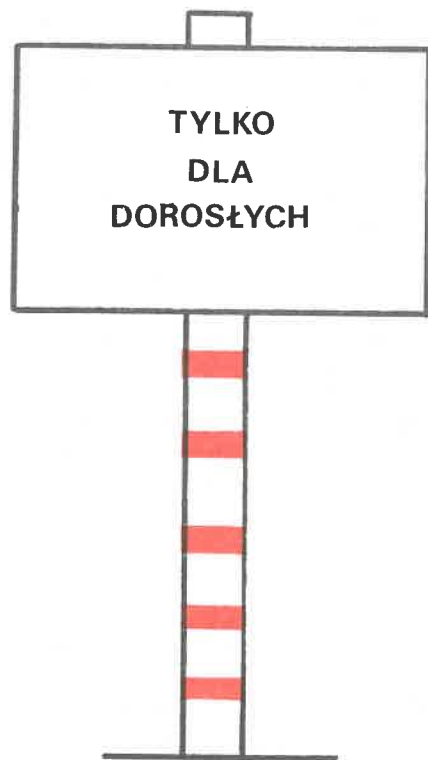
Pracować zawodowo w warunkach zagrożenia promieniowaniem wolno wyłącznie osobom, które ukończyły 18 lat i cieszą się dobrym zdrowiem.

Ograniczenie takie wynika nie tylko ze względu na potrzebę dojrzałości do odpowiedniego postępowania, ale i ze względu na szczególną wrażliwość młodszych organizmów na promieniowanie. Stąd pochodzi też tendencja np. do ograniczania rentgenowskiego badania dzieci.

Przy ocenie radiologicznego zagrożenia tzw. naturalnego środowiska, a więc powietrza, wód gleby, roślin uprawnych, również zwraca się szczególną uwagę na to, jak są w konsekwencji zagrożone dzieci, zwłaszcza małe. Sprawą krytyczną jest mleko. Świeży opad promieniotwórczy, np. po awarii reaktorowej, która wydarzyła się nawet w dużej odległości od naszego kraju może, jak dobrze wiemy, zawierać promieniotwórczy jod. Jod skażając trawę, następnie poprzez krowy i dalej mleko, trafia do organizmu dziecka, skupiając się w małej tarczycy.

Ale nie tylko krowie mleko z radiojodem mogłoby maluchowi niepotrzebnie dostarczać promieniowania. Przy niefortunnym zbiegu okoliczności również i własna mamusia, jeżeliby pracowała z otwartymi izotopami, mogłaby też. Stąd zakaz tego rodzaju pracy dla karmiących mamuszy.

Ale i taka matka co nie jest matką już oficjalnie, ale spodziewa się wkrótce nią zostać, też nie powinna zbyt często napromieniowywać siebie — czyli prześwietlać — brzucha. Zwłaszcza między 3 a 15 tygodniem.



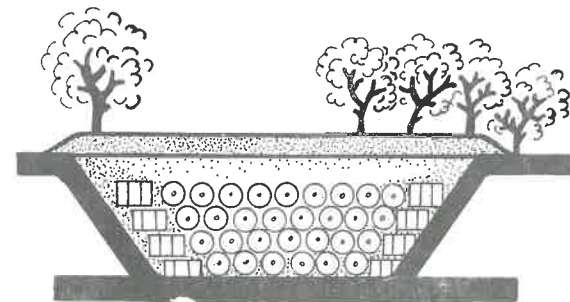
41. Unieszkodliwianie odpadów promieniotwórczych

Temat odpadów promieniotwórczych czyli tych izotopów, które już przestały być dla nas przydatne budzi emocje na świecie. Trzeba wyraźnie odróżnić odpady wysokoaktywne, pochodzące z używanego paliwa elektrowni atomowych, od odpadów niskoaktywnych, które pochodzą w przeważającej części ze szpitali lub innych laboratoriów izotopowych.

Używane paliwo przerabia na świecie, zwykle w zakładach dalekich od samej elektrowni, tylko kilka największych państw i tylko tam przy tej okazji właśnie takie wysokoaktywne odpady powstają. Jest to rzeczywiście bardzo kłopotliwe paskudztwo. W Polsce, z najróżniejszych względów, sprawa jest zupełnie nieaktualna, a przywóz zza granicy jakichkolwiek odpadów promieniotwórczych został prawnie zakazany.

A co zrobić z odpadami średnio a właściwie niskoaktywnymi? Odpadami tysiące razy słabszymi?

Jak wiadomo izotopy, w przeciwieństwie do niejednej trucizny, z upływem czasu przestają zagrażać. Może więc po prostu poczekać? Tak,



śmieci unieszkodliwia się lepiej niż myślisz

właśnie to się robi, jednak z dodatkowym zabezpieczeniem, przez odpowiednie związanie odpadów np. w metalowych beczkach z asfaltem lub cementem. Beczki gromadzi się na odpowiednio przygotowanym miejscu, strzeżonym składowisku.

Pewne zmartwienie mają przedtem ci, którzy używają izotopów w pracy, np. lekarze w szpitalach, gdzie właśnie te odpady powstają. To, że niosące skądinąd pomoc izotopy stały się już nieużyteczne wcale nie zmniejsza codziennego zagrożenia, bo przecież one nadal trochę promieniują. W klinice czy innym laboratorium odpady muszą być zabezpieczone tak, aby nie przeszkadzały w pracy; przede wszystkim aby się nie ulatniały. Nie można ich przecież wyrzucić po prostu na śmietnik. A więc powinny być przetrzymywane w hermetycznych, oznakowanych opakowaniach, w odpowiednio wentylowanym magazynku lub pod wyciągiem. Zanim trafią na miejsce wieczystego składowania, są poddawane różnym zabiegom, m.in. zmniejszającym objętość, a przede wszystkim takiemu utrwalaniu, aby odechciało się im jakichkolwiek wędrówek. Dlatego stosuje się wspomniany asfalt, cement i dopiero beczki. A i to nie koniec. Bo na samym składowisku jeszcze raz oblewa się je betonem. I trudno sobie wyobrazić jak mogłyby się stąd wydostać.

Oczywiście w czasie transportu nie kapią na drogę — są już zabezpieczone tak pieczołowicie jak otwarte źródła promieniotwórcze.

42. Odpowiedzialność za bezpieczeństwo

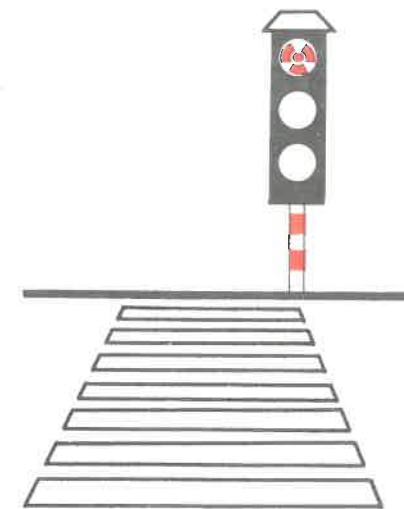
Warto pamiętać, że nie tylko dyrektor, szef, czy inny kierownik ponosi odpowiedzialność

za bezpieczeństwo, ale każdy według swego stanowiska, według tego co robi lub czego zaniedbał.

Jak odpowiedzialność wiąże się z promieniowaniem? Przede wszystkim wiąże się np. ze zbędnym napromieniowaniem zarówno siebie, jak i innych osób. Wiąże się z przekroczeniem granicznych wartości dawek.

Bezpośredni wykonawca prac musi mieć odpowiednie kwalifikacje, tzn. powinien być przeszkolony i poinformowany, i musi przestrzegać ustalonych regulaminów i instrukcji. Musi meldować o nieprawidłowościach.

Szef musi zadbać o wymienione właśnie instrukcje. Ale nie idzie tu o sam papiererek, ale



nie przekraczaj! — przepisów

i o wiele wcześniejszych przygotowań, przemysleń i prób. Musi być zapewnione wyposażenie i osłony, zorganizowana właściwie kontrola w czasie pracy i po jej ukończeniu. Musi być realizowany program zapewnienia jakości. Muszą być przeanalizowane sposoby postępowania w razie jakichkolwiek mniejszych lub większych zakłóceń, musi być przygotowane, jeśli trzeba, odpowiednie wyposażenie ratunkowe.

Oczywiście tym większa odpowiedzialność, im gorsze mogą być skutki i ich zasięg. Konieczność szczegółowych i konkretnych przygotowań do akcji przeciwwawaryjnych uzmysłowił nam zwłaszcza Czarnobyl. M.in. niezachowanie

ustalonych przepisów i zlekceważenie określonych wymagań organizacyjnych i technologicznych doprowadziło do tragedii.

Na początku powinno być rozważone pytanie, czy w ogóle jest uzasadnione w danym przypadku zastosowanie promieniowania. Czy zostały wyczerpane wszystkie możliwości ochrony?

Nie każdy sobie zdaje sprawę, że problem ten w pewnym stopniu może dotyczyć także niektórych badań medycznych np. rentgenem lub izotopami.

Wynika stąd wniosek, że nie w pełni uzasadnione naświetlanie pacjenta jest sprzeczne z zasadami ochrony przed promieniowaniem.

IV. JAK WYKRYĆ PROMIENIOWANIE?

43. Wykrywanie promieniowania

Kiedy włączymy licznik (Geigera), wyposażony w głośniczek, będziemy zawsze słyszeć trzaski. Pochodzą one od otaczającego nas promieniowania naturalnego. Oprócz trzasku może być widoczny na przyrządzie i błysk jakiejś lampki, albo wychylająca się wskazówka, czy bieżące cyferki. Zauważa się, rejestruje, wartości już znacznie niższe od jakiegokolwiek rzeczywistego zagrożenia. Wiemy zawczasu co się święci.

Metody wykrywania promieniowania są z reguły skuteczniejsze niż wielu innych, nawet groźniejszych dla człowieka czynników. Są bardzo szybkie. Prawie zawsze natychmiastowe.

Aby zarejestrować obecność promieniowania musi nastąpić oddanie, czyli przekazanie jego energii. Energia jest przekazywana każdej substancji, przez którą promieniowanie przechodzi; w różny sposób można potem ten fakt wykryć.

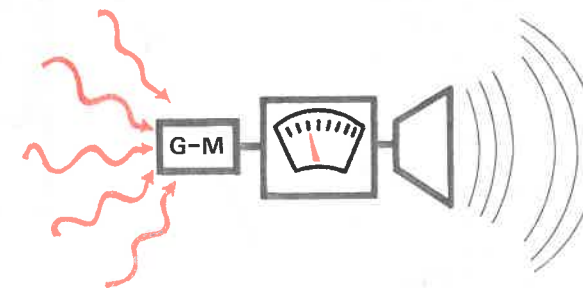
Pod wpływem dużych ilości promieniowania,

tj. przy dużej dawce, może rozgrzać się ciecz w kalorymtrze, może zmienić barwę i skład odpowiedni związek chemiczny, może ściemnieć szkło.

Pod wpływem promieniowania świecą kryształki, którymi jest pokryty ekran oglądany przy prześwietlaniu pacjentów przez rentgenologa. Jeżeli chcielibyśmy rejestrować bardzo małe ilości promieniowania, pojedyncze kwanty, to kryształki musi oglądać zamiast gołego oka tzw. fotopowielacz, który jest bardzo czułą fotokomórką zamieniającą błysk światła na lawinę elektronów, czyli prąd elektryczny.

Niejako klasycznymi detektorami tj. wykrywaczami promieniowania, są komora jonizacyjna i licznik Geigera-Müllera, w których na promieniowanie reaguje gaz.

Jest dużo innych detektorów, które pod wpływem różnych bodźców fizycznych ujawniają, że uprzednio zostały napromieniowane. Filmy zostają zaczerwienione, plastikowe folie wykazują



promieniowanie jednak można zobaczyć i usłyszeć

mikrootworki, różne kryształy świecą. Są też detektory tzw. biologiczne, w których obserwuje się skutki działania promieniowania poprzez np. uszkodzenia chromosomów w komórkach, obumieranie komórek, powstający rumień — poparzenie i inne.

Nie jesteśmy bezbronni. Mimo, że bezpośrednio ani wzrokiem, ani dotykiem, ani w inny sposób nie możemy zauważyć promieniowania jonizującego, to jednak wybór „pośredników” jest duży. Korzystając z pośrednictwa najrozmaitszych detektorów łatwo się dowiadujemy, że coś na nas świeci niewidzialnym światłem.

44. Kontrola indywidualna narażenia

Łatwo się domyślić, że dawkomierz to przyrząd, który mierzy dawki promieniowania. I nie jest trudno znaleźć dawkomierz, który potrafi nas poinformować o dawkach bardzo małych, jeszcze dalekich od granicznych — od zabronionych.

Badania morfologiczne krwi, cenna dla lekarza informacja, to z punktu widzenia ochrony zapobiegawczej, prawie że musztarda po obiedzie. Zmiany, które we krwi może powodować promieniowanie, pochodzą od wartości już powyżej granicznych. Warto dodać, że chociaż dość późno ale można we krwi jednak znaleźć informację o większych dawkach — informację w pewnych sytuacjach istotną.

Dla pracowników zatrudnionych zawodowo w warunkach zagrożenia promieniowaniem stosuje się tzw. kontrolę dawek osobistą, inaczej indywidualną, służącą określaniu „naszej własnej” dawki. Przez cały czas spodziewanego zagrożenia promieniowaniem taki dawkomierz indywidualny nosi się przy sobie.

Mogą to być kasetki z filmem dozymetrycznym, miniaturowe komory jonizacyjne w kształcie ołówka, zapewniające nawet natychmiastowe odczytywanie otrzymanej dawki, mogą być pierścionki ze specjalnymi pastylkami. W wojsku używa się ampulek z płynem zmieniającym barwę pod wpływem promieniowania.

Przepisy określające organizację pracy w warunkach zagrożenia promieniowaniem nie wymagają, aby wszyscy nosili dawkomierze indywidualne. Przy niewielkim zagrożeniu wystarczają całkowicie pomiary wykonywane okresowo innymi przyrządami. Pomiary sprawdzające, czy naturalne tło promieniowania, które nas normalnie otacza, nie wykazuje tendencji wykraczających poza zwykłe wahania.

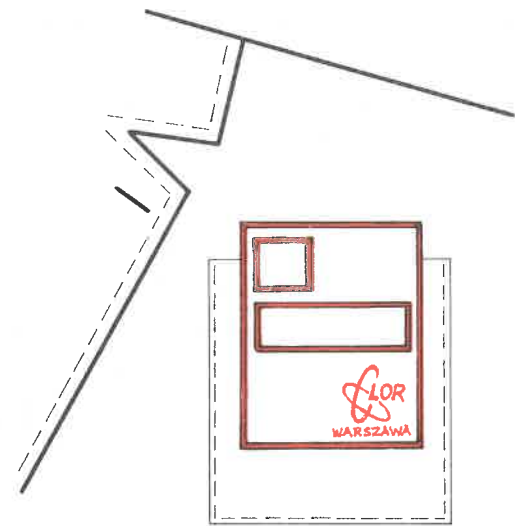
Ci co noszą dawkomierze, ci którym dawko-

mierze zostały przydzielone, powinni skrupulatnie przestrzegać zasad kontroli, tj. noszenia ich w stałym, określonym miejscu — najczęściej przypiętych do fartucha; przechowywania poza godzinami pracy, też w stały, określony sposób — np. w oddzielnej szafce; terminowego wymienia, ochrony przed uszkodzeniami i zagubieniem. Zarejestrowana przez film dawka stanowi dokument.

Zakład pracy jest odpowiedzialny za zapewnienie właściwej kontroli. Pod słowem „właściwa” rozumie się kontrolę dostosowaną do rodzaju pracy. Dla osób zatrudnionych przy znaczniejszych źródłach promieniowania to zazwyczaj filmy, lub inne dawkomierze osobiste, np. z sygnalizacją alarmową. Dla pracujących przy niewielkich źródłkach i dla osób z otoczenia, wystarczą pomiary tła w pomieszczeniach.

Tam gdzie występuje zagrożenie skądinąd, a więc przy pracach z otwartymi źródłami promieniotwórczymi, może być wymagana kontrola innego rodzaju, ponieważ ani film dozymetryczny ani kieszonkowa komora jonizacyjna nie są w tym przypadku wystarczające. Okresowo sprawdza się zanieczyszczenia powietrza i powierzchni roboczych, stołów, podłóg w laboratorium i czy nie wchłonięto radioizotopów do wnętrza organizmu. Mogą to być analizy wydzielin, np. moczu, lub pomiar tzw. licznikiem promieniowania ciała człowieka.

Badanie krwi ma jedną bezkonkurencyjną zaletę — jest prawie zawsze możliwe. Dawkomierza można zapomnieć.



zauważy się każdą dawkę promieniowania

45. Kontrolny film dozymetryczny

Promieniowanie jonizujące powoduje zaczerwienie filmu, a ogólniej, nie tylko filmu, ale w ogóle materiałów światłoczułych, a więc papierów fotograficznych, różnego rodzaju emulsji.

Oczywiście im większa jest dawka promieniowania, tym bardziej film jest po wywołaniu zaczerwoniony. Jeżeli napromieniamy dobrze znanymi dawkami filmy wzorcowe i po wywołaniu porównamy z filmami, które posłużyły nam jako dawkomierze, to możemy łatwo ocenić jaka dawka została zarejestrowana. Po prostu określony stopień zaczerwienia filmu odpowiada dawce określonej np. w milisiwertach.

Czy trzeba dużych dawek, aby było to zauważalne na filmie? Okazuje się, że już przy zwykłym oglądaniu wywołanych filmów, można spostrzec skutki działania całkiem niedużych dawek — wielokrotnie mniejszych od wartości granicznych; na poziomie pojedynczych mSv.

Zazwyczaj film, podobny do stosowanych przy rentgenowskich zdjęciach zębów, tak samo zapakowany w światłoszczelny papier, jest umieszczony w plastikowej kasetce przypinanej do ubrania roboczego. Kasetka zawiera kilka różnych grubości blaszek. O ile w czasie pracy pada na nas i na naszą kasetkę promieniowanie, to przechodzi ono najpierw przez ściankę kasetki, następnie przez blaszki i papier, aby trafić wreszcie w film. Po miesiącu, albo i później, film wyjmujemy z kasetki i posyłamy do wywołania i odczytania dawki. Będzie to właśnie ta dawka na jaką zostaliśmy w sumie narażeni w ciągu okresu noszenia kasetki np. w ciągu miesiąca.

Filmy służą ocenie dawek od promieniowania gamma oraz promieniowania beta, wyższej energii.

Blaszki — filtry umieszczone w kasetce, pozwalają nawet odróżnić jedno promieniowanie od drugiego.

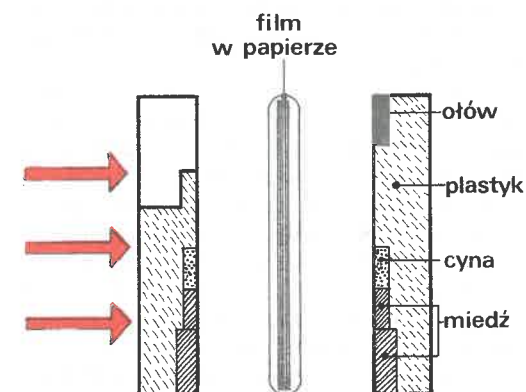
Systematycznie nosząc kasetki z filmem, osoby zatrudnione w warunkach zagrożenia otrzymują informację, czy pracują prawidłowo i jak dalece udaje im się unikać zbędnych dawek.

Aby rejestracja była wiarygodna, kasetki muszą być nie tylko prawidłowo noszone, ale i chronione w czasie przechowywania. Nadmierne ciepło, różnego rodzaju opary chemiczne, czy nawet rozproszone promieniowanie jonizujące, może wynik sfałszować, albo w ogóle uniemożliwić odczytanie dawki. Podobnie źle działa wielokrotne wyjmowanie filmu z kasetki.

Tam gdzie mogą zagrażać neutrony, stosuje się filmy specjalnego rodzaju. Po wywołaniu obserwuje się pod mikroskopem zarejestrowane ślady — kreski pozostawione w emulsji i z ich liczby w polu widzenia mikroskopu wnioskujemy o liczbie neutronów, które te ślady spowodowały, a więc i o dawce.

Wyniki pomiarów są ewidencjonowane i zgodnie z przepisami przechowywane. I to jeszcze długo po odejściu pracownika z zakładu.

Materiały światłoczułe reagują nie tylko na światło, ale i na promieniowanie jonizujące. Z tego właśnie m.in. względu pojemniki transportowe zawierające źródła promieniotwórcze muszą zapewniać odpowiednią osłonność, tak aby przypadkowo nie popsuć jakiegoś niewywołanego filmu znajdującego się w pobliżu.



schemat kasetki kontrolnej

46. Jak działa licznik Geigera

Zanim dowiemy się o liczniku popatrzymy najpierw co się dzieje w komorze jonizacyjnej. Co to jest komora?

Komora jonizacyjna w najprostszym wykonaniu, to zamknięta bańka metalowa, wewnątrz której umieszczono odizolowaną elektrodę. Pomiedzy obudowę — bańkę, a właśnie ten środkowy drut przyłączono z baterii np. 100 V. Promieniowanie gamma łatwo przenika do wnętrza bańki i działa na znajdujące się tam powietrze. Działanie promieniowania powoduje, zgodnie z klasyczną nazwą promieniowania, jonizację. Część energii niesionej przez promieniowanie zostaje zużyta na wytworzenie jonów.

Przypomnijmy co to jest jonizacja; w naszym przypadku, jonizacja mieszaniny gazów jaką jest powietrze. Otóż niektóre obojętne dotąd

pod względem elektrycznym atomy np. tlenu, azotu i in. stają się pod wpływem promieniowania atomami zjonizowanymi tj. takimi, które utraciły elektron z którejś orbity. Jak wiadomo elektron ma ładunek ujemny, ale równocześnie atom pozbawiony takiego jednostkowego ładunku ujemnego sam staje się jodem dodatnim. Czyli jonizacja to wytwarzanie jonów (równocześnie ujemnych i dodatnich).

Oddzielony elektron chętnie wróciłby na swoje miejsce w atomie, ale przecież znajduje się on pod wpływem napięcia elektrycznego, które jest przyłożone między elektrodę centralną a zewnętrzną bańkę. Elektroda centralna połączona z dodatnim biegunem baterii powoduje, że elektron jest szybko przyciągany, wędruje. Tak szybko, że nie zdąży połączyć się z powrotem z jodem dodatnim. Ten zresztą ucieka w kierunku przeciwnym, przyciągany przez ujemną bańkę zewnętrzną.

Im więcej wpada promieniowania do środka, tym więcej atomów ulega jonizacji, tym więcej ujemnych elektronów i dodatnich jonów dociera do elektrod. Jeżeli w obwód włączymy bardzo czuły miernik, to zarejestrujemy prąd utworzony przez płynące w komorze jonizacyjnej elektrony. Oczywiście przy dużym promieniowaniu prąd będzie większy, przy małym mniejszy. Mamy przyrząd do pomiaru promieniowania, do pomiaru mocy dawki.

Nieco inaczej działa licznik Geigera-Müllera. Początek zjawiska jest taki sam, ale po chwili ponieważ jest napięcie wyższe niż w komorze jonizacyjnej np. 1000 V, wytworzone w trakcie jonizacji elektrony nabierają na tyle dużej prędkości po drodze do elektrody, że wytrącają z atomów gazów jeszcze następne elektrony. Te z kolei wytrącają dalsze, a tak powstała lawina wytwarza krótkotrwałe, ale silny i m p u l s p r a d o w y, który dość łatwo jest zarejestrować. Im więcej promieniowania, tym więcej impulsów. Jeżeli impulsami zasilimy głośniczki, to usłyszymy trzaski, których częstotliwość wzrasta z mocą dawki.

Powstanie opisanych wyładowań — trzasków jest w liczniku Geigera-Müllera (liczniku G-M) ułatwione dzięki temu, że jest on napełniony odpowiednim, rozrzedzonym gazem. M.in. to pozwala w praktyce znacznie obniżyć napięcie zasilające.

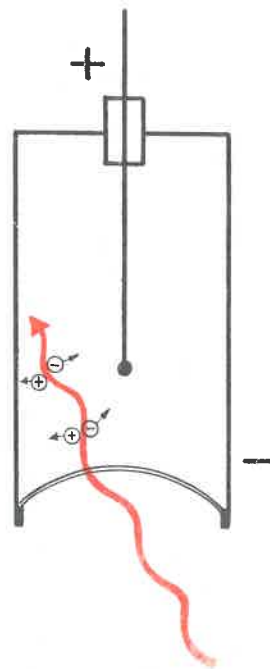
Pod wpływem promieniowania:

— w komorze jonizacyjnej płynie prąd elektryczny, proporcjonalny do mocy dawki;

— w liczniku G-M pojawiają się impulsy

elektryczne, tym częstsze im większa jest moc dawki.

Licznikiem można wykrywać już bardzo małe ilości promieniowania — komorą jonizacyjną można zmierzyć moc dawki od niewielkiej do bardzo dużej.



licznik G-M

47. Pomiary skażeń powierzchni

Szmatką, watą, wilgotnym tamponem, ścieramy skażenie promieniotwórcze, czyli zagrażające swoim promieniowaniem izotopy, które znalazły się tam, gdzie nie potrzeba. Np. na skórze rąk, stole laboratoryjnym, podłodze. I ten tampon, czy szmatkę, zbliżamy do licznika Geigera. Jeżeli rzeczywiście starliśmy izotopy, to znajdują się one teraz na szmatce i licznik natychmiast zacznie trzeszczeć, łatwo wykaże obecność promieniowania. Powtarzamy operację wymazu nową szmatką.

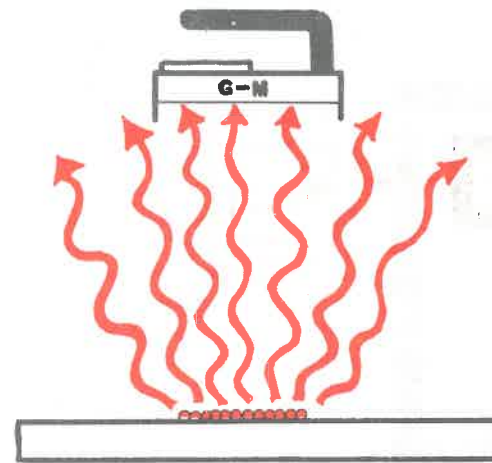
Usuwaliliśmy skażenia z jakiejś powierzchni po to, aby je zmierzyć, aby przekonać się czy są, i ile. Po to, aby następnie zająć się ich całkowitym usunięciem i zabezpieczeniem.

Ale dlaczego w ogóle mierzymy? Czy ska-

żeń nie widać? Przecież musi to być jakiś płyn lub proszek. Niestety, w wielu przypadkach skażeń nie widać. Zupełnie mikroskopijne, nie do wykrycia okiem ilości, już potrafią promieniować na tyle, że mogą stanowić zagrożenie. Oczywiście niekiedy izotopy są rozpuszczone w większej objętości substancji obojętnej np. wody i powstałe plamy widzimy, ale dopiero pomiar licznikiem może nas upewnić czy i sucha powierzchnia nie jest w rzeczywistości promieniotwórczo skażona.

Można zapytać, czy nie prościej i szybciej wykonać pomiar przysuwając licznik bezpośrednio do podejrzanej powierzchni, bez pobierania wymazu. Oczywiście, w wielu przypadkach tak właśnie się robi. Jednakże sposób ze szmatką jest bezkonkurencyjny wówczas, gdy w otoczeniu są silne źródła promieniowania, zakłócające wskazania wyjątkowo precyzyjnego przyrządu, jakim jest licznikiem Geigera. Wówczas tylko wymaz!

Naszą szmatkę wynosimy tam, gdzie już nie ma zakłóceń i mierzymy, nawet tym samym przyrządem. Licznikiem G-M, który zawiódł wcześniej, przy próbie bezpośredniego pomiaru. Albo możemy sobie trochę pomóc i ukryć licznik w specjalnym domku — pudełku ołowianym, który eliminuje zewnętrzne zakłócające tło promieniowania. Jeżeli zamkniemy „sam na sam” w tym domku licznik i szmatkę, owocem tego spotkania będzie wynik pomiaru, pewna liczba impulsów, która wskaże z jaką to szmatką miał tam licznik do czynienia. Jeżeli chcemy się dodatkowo dowiedzieć, który z izotopów stanowi o skażeniu, trzeba w domku umieścić licznik spektrometryczny.



skażenie promieniotwórcze nie trudno wykryć

W przypadku skażeń utrwalonych, tj. już nie dających się usunąć, oczywiście wchodzi w rachubę tylko pomiar bezpośredni licznikiem, bez stosowania wymazu. Ocenivszy ile ostatecznie jest tego skażenia, podejmujemy jeżeli potrzeba decyzję o sposobie zabezpieczenia powierzchni tak, aby nikomu nie zagrażała.

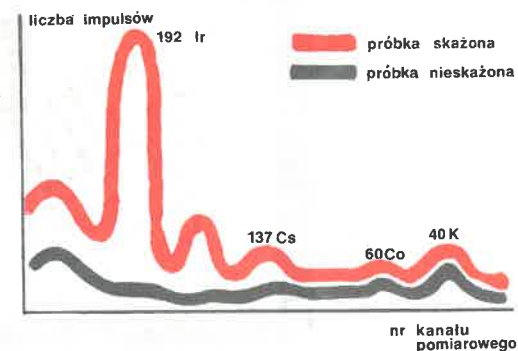
Na pozostawienie skażeń nie utrwalonych, nie możemy zgodzić się wcale.

48. Rozróżnianie izotopów

Zależnie od szczegółowego składu jądra atomowego, a jego skład jest dla każdego z kilkuset izotopów inny, emitowane na zewnątrz promieniowanie jest nieco inne. Tzn. konkretniej — wysyłane kwanty promieniowania mają energie (przenikliwości) ściśle uzależnione od budowy jądra radioizotopu, stanowią jego wizerunek.

Dysponując odpowiednim kryształem, tzw. scyntylicyjnym, lub detektorem półprzewodnikowym, zamieniamy padające promieniowanie gamma na impulsy elektryczne, podobnie jak w liczniku Geigera, ale ich wielkość jest ściśle zależna od energii padających i wywołujących impulsy kwantów. A więc z wielkości impulsu, obserwowanego np. na ekranie, możemy bezpośrednio dowiedzieć się jaka jest energia kwantu. Mając wykaz izotopów, uporządkowany wg energii wysyłanego promieniowania można szybko porównać i znaleźć, zidentyfikować ten właśnie, który badamy, który nam promieniuje.

Sprawa jest zupełnie prosta, jeżeli izotop wysyła promieniowanie gamma tylko o jednej energii. W praktyce mamy najczęściej do czynienia z paroma energiami i co gorzej, bardzo często z mieszaniną różnych izotopów. Aby zorientować się w takim lesie, porządkuje się



spektrometr — analizator

zbierane impulsy według ich wysokości, czyli według energii promieniowania. Układając obok siebie liczby odpowiadające ilościom impulsów o kolejnej energii sporządzamy wykres, nazywany widmem energetycznym, inaczej spektrogramem. Analizując tak otrzymany obrazek dowiadujemy się ściśle, od których izotopów on pochodzi.

W połączeniu z komputerem otrzymamy nazwy izotopów, jak również dowiemy się ile poszczególnego izotopu jest w badanej próbce.

49. Pomiary promieniowania ciała człowieka

Substancja promieniotwórcza, która w nas utkwiała, wysyła promieniowanie we wszystkie strony. Część promieniowania jeżeli jest to promieniowanie gamma, przenika i na zewnątrz organizmu.

Jak je zmierzyć? Jak przekonać się, czy naprawdę jesteśmy „wzbogaceni” przez obce, promieniotwórcze substancje?

Zdajemy sobie sprawę, że otacza nas tło promieniowania naturalnego. Jest go bardzo mało, ale i tak dość dużo w porównaniu do tego jak promieniują nasze własne wewnętrzne zanieczyszczenia. W jaki sposób odróżnić nieliczne, słabutkie sygnały — impulsy wysyłane przez wchłonięte izotopy, od ogólnego szumu jaki tworzy promieniowanie kosmiczne, promieniowanie pochodzenia ziemskiego i wreszcie promieniowanie izotopów naturalnych już od dawna i stale przebywających w naszym organizmie?

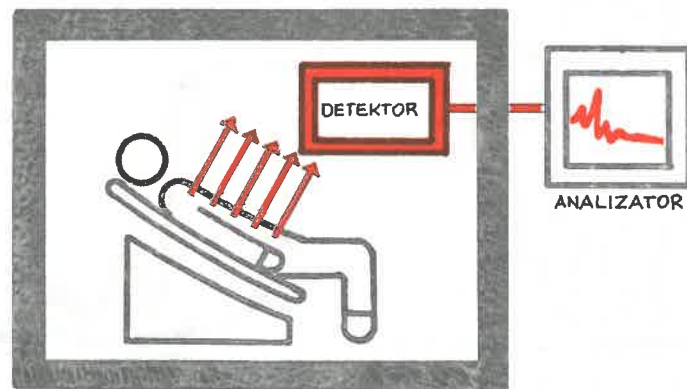
Po pierwsze musimy zapewnić w czasie pomiaru bardzo skuteczne osłony, aby odgrodzić się od zakłócającego promieniowania zew-

nętrznego. Przy tak delikatnych pomiarach nie wystarczy zbudować grubą osłonę; należy zadbać aby była ona pozbawiona jakichkolwiek własnych zanieczyszczeń promieniotwórczych, które przecież oddziaływałyby na schowany w osłonie licznik. Dlatego dobiera się materiały ze starego złomu, z czasów kiedy nie było jeszcze sztucznych radioizotopów. Stosuje się kilka warstw. Osłona jest duża, tworząc właściwie pokoiak tak, że nie tylko umieszcza się tam sporych rozmiarów detektor — licznik, ale wygodnie może wejść osoba mierzona.

Detektor nie wysyła w kierunku nas żadnego promieniowania, przeciwnie, właśnie sprawdza czy to my nie promieniujemy. Oczywiście „sami z siebie” nie promieniujemy; nasz organizm przyswoił jakąś substancję promieniotwórczą; naturalną i ewentualnie sztuczną.

Przed pomiarem jest okazja aby dobrze się umyć, dla usunięcia z ciała jakichkolwiek innych zanieczyszczeń, które fałszowałyby pomiar, i z podobnych względów ubrać w czystą pidżamę. Siedząc lub leżąc wygodnie i spokojnie przez kilka-kilkanaście minut pod licznikiem czekamy aż zbiera się odpowiednia liczba impulsów i na ekranie kontrolnym aparatury pomiarowej, znajdującej się na zewnątrz osłony, utworzy się wykres. Z analizy tego wykresu można określić zawartość w tkankach naszych własnych, naturalnych izotopów, jak również ilość i rodzaj ewentualnych zanieczyszczeń obcych.

Wykonując następnie skomplikowane obliczenia można ocenić z dobrą dokładnością dawkę promieniowania jaka nas czeka od tego co wchłonęliśmy. Ocena dawki już otrzymanej wcześniej, zależy od znajomości daty wchłonięcia radioizotopów.



licznik określi nasze własne promieniowanie

Aparatura jest precyzyjna. Pozwala na pomiar n a j m n i e j s z y c h n a w e t s k a ż e ń tak, że wynikające z nich dawki można ocenić przy wartościach z reguły znacznie niższych niż graniczne.

W pewnych przypadkach, kiedy idzie o kontrolę tylko izotopów jodu — stosowanych często w medycynie — wystarczy mniej skomplikowana aparatura. Detektor pomiarowy, licznik, umieszcza się przy szyi badanej osoby, tj. w pobliżu gromadzącej jod tarczycy. Wielkie, specjalne osłony stają się zbędne.

Licznik promieniowania ciała człowieka znajduje się w Instytucie w Świerku pod Warszawą.

50. Próbkki biologiczne

Pod licznikiem Geigera można umieścić wszystko, co chcemy sprawdzić jak dalece jest aktywne, jak silnie „świeci”. Można m.in. przeprowadzić w ten sposób badanie moczu, badanie włosów, w razie konieczności też i wyrwane go zęba. Metody takie nadają się do sprawdzenia czy nie nawdychaliśmy się lub nie najedli substancji promieniotwórczych. A mogą one przecież znalazłszy się w organizmie utkwic w różnych jego narządach, jak też r o z p u s z c a ć się we krwi i w moczu.

Tak jak wykonuje się analizy moczu dla upewnienia się czy jego skład jest normalny, tak i pomiar substancji promieniotwórczych w moczu pozwala zorientować się, czy ich zawartość w całym organizmie nie odbiega od naturalnej.

Jak wiemy, można oczywiście próbować pomiarów licznikiem promieniowania ciała człowieka bez pobierania próbek moczu. Jest to metoda nadająca się do wykrywania izotopów gammapromieniotwórczych, ale nie wystarczy w przypadku izotopów emitujących tylko promieniowanie beta i zawodzi również kiedy szukalibyśmy izotopów alfapromieniotwórczych. Trzeba dodać, że aparatura jest droga, rzadko spotykana i osoba badana musi jechać np. aż do instytutu w Świerku pod Warszawą. Próbkę moczu natomiast można łatwo przewieźć i następnie wykrywać w laboratorium zarówno promieniowanie beta jak i alfa.

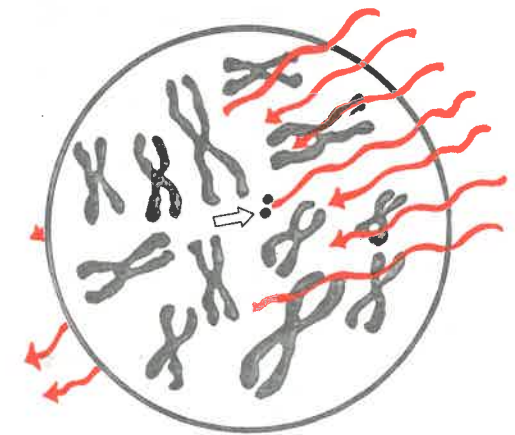
Przy tej okazji ciekawa może być informacja o pewnych co prawda bardzo rzadkich możliwościach, ale jednak do zastosowania. Otóż czasem udaje się tak dobrać polykane lekarstwo, że niejako rozpuszcza ono substancję promieniotwórczą skażającą wnętrze naszego organizmu

i następuje jej łatwiejsze przenikanie do moczu; możemy prędzej wydalic całe paskudztwo. Parę pomiarów promieniotwórczości kolejnych próbek moczu pozwala dobrze śledzić jak szybko następuje oczyszczanie.

Jakie jeszcze informacje o narażeniu na promieniowanie można uzyskać poprzez takie lub podobne analizy?

Badając pod mikroskopem krew, którą po pobraniu specjalnie zaopiekowano się w laboratorium, można przekonać się, że c h r o m o s o m y znajdujące się w jej komórkach wykazują zniekształcenia czyli aberracje. Zniekształcenia te mogą być wywołane różnymi czynnikami, które oddziaływały ostatnio, czy też i dawniej na daną osobę. Jednym z szeregu czynników, który może powodować aberracje jest promieniowanie. Przeprowadzając bardzo żmudną i skomplikowaną analizę kilkuset obrazów mikroskopowych można niekiedy przekonać się czy badany organizm nie był napromieniony znacznymi dawkami. Znaczniejszymi tj. co najmniej kilkakrotnie przekraczającymi dawki określone jako graniczne dawki roczne.

Stosowanie różnych sposobów pomiarowych i kontrolnych umożliwi względnie łatwo uzyskanie pewności, że nie wtargnęły do wnętrza organizmu w groźnych ilościach mogące nam zaszkodzić izotopy, że otrzymywane dawki promieniowania nie stanowią zagrożenia ani dla



jeden z chromosomów uszkodzony

życia, ani dla zdrowia. Niewielkie ilości naturalnych izotopów i tak od urodzenia w sobie nosimy.

51. Pomiary promieniotwórczości powietrza, naturalnej i skażeń

Promieniowanie rozchodzi się jak światło w przestrzeni, niezależnie od tego czy np. wieje wiatr czy nie. Natomiast pył promieniotwórczy unosi się w powietrzu jako kurz skażony izotopami. Jest to niestety dobrze znane ludziom zjawisko, zwłaszcza od chwili wybuchu pierwszej bomby atomowej. Pył promieniotwórczy niekoniecznie musi pochodzić z wybuchu.

Wszyscy wiedzą jak działa elektryczny odkurzacz. Zasysane przez niego powietrze (wraz z porwanym kurzem) trafia do woreczka schowanego we wnętrzu. Woreczek jest filtrem zatrzymującym cząsteczki kurzu. Jeżeli potrzymalibyśmy ssawkę odkurzacza przez jakiś czas w powietrzu a woreczek wyłożyli białą bibułą, to spostrzeżemy jak łatwo gromadzą się na niej zanieczyszczenia unoszące się jeszcze przed chwilą w rzekomo czystym powietrzu, którym oddychamy. Dalej już dobrze wiemy, jak przekonać się o rodzaju zanieczyszczeń. Umieszczając bibułę pod licznikiem G-M przekonamy się, że przyspieszył swój bęgi. Wniosek prosty — zebrany pył wykazuje, że zawiera substancje promieniotwórcze.

Trzeba tutaj zauważyć, że każdy filtr, przez który przepuścimy powietrze wykazuje trochę aktywności. Wynika to z ogólnego tła zanieczyszczeń promieniotwórczych pochodzenia naturalnego, z tzw. pochodnych radonu, gazu obecnego w naszym otoczeniu.

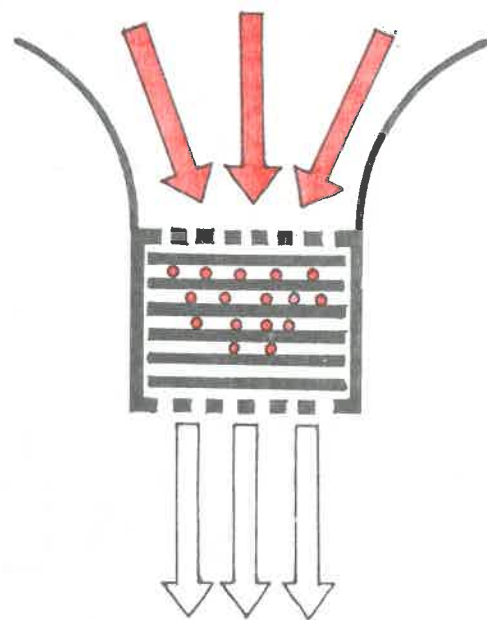
Mówiliśmy o pyłach, małych cząsteczkach kurzu, które pozostają na filtrze bibułowym albo zrobionym z tkaniny. Otóż to jeszcze nie wszystko. W powietrzu może unosić się jako zanieczyszczenie nie tylko pył ale i jakiś gaz. Gaz, którego bibuła nie zatrzymuje, tak jak nie zatrzymuje przepuszczanego przez nią powietrza. Podejrzewając obecność skażonego gazu musimy zastosować inne filtry, np. takie jakie są w maskach przeciwgazowych — najczęściej odpowiednio spreparowany węgiel drzewny. I kontrola zanieczyszczeń powietrza znów wygląda podobnie — przetłaczamy przez taki węglowy filtr określoną ilość powietrza i mierzymy filtr licznikiem. Nieraz jest prościej zamiast zatrzymywać gaz w filtrze, wpuścić go do wnętrza komory, w której znajdują się liczniki i mierzyć bezpośrednio. Jeśli w powietrzu jest gaz, liczniki łatwo określą jego promieniotwórczość.

Istnieją przyrządy pomiarowe, które gromadzą na ruchomej taśmie filtracyjnej zanieczysz-

czenia wylapywane z powietrza. Taśma podjeżdżając automatycznie pod licznik umożliwia pomiar ciągły, tzn. możemy być bieżąco informowani, czy w powietrzu nie pojawiają się pyły lub gazy promieniotwórcze. Nastawiając alarm na określony poziom możemy być zawczasu ostrzeżeni.

Powstaje pewna wątpliwość — skąd te zanieczyszczenia, jeżeli nie prowadzi się doświadczeń z bronią jądrową w atmosferze? Otóż poza wymienionym już tłem naturalnym, pozostają jednak z dawnych wybuchów resztki, które powoli jeszcze opadają z dużych wysokości. Oczywiście jest tego tysiące razy mniej niż kiedyś. Pojawiły się też jak wiemy skażenia powietrza spowodowane awarią czarnobylską.

Oprócz tego można się doszukiwać czasem śladów zanieczyszczeń w powietrzu laboratoriów izotopowych, w przypadku gdyby źle działała wentylacja. Wykrywanie skażeń może zatem służyć wczesnemu ostrzeganiu, że popełnia się jakieś błędy technologiczne, że trzeba poprawić odpowiednie parametry.



filtr zatrzymuje pył z zasysanego powietrza

52. Pomiary środowiska

Jeżeli ściąć dużo trawy, spalić w laboratorium, a skrupulatnie zebrany popiół podstawić pod licznik G-M, schowany w odpowiednio

grubym ołowiu, to zacznie on działać. A więc w popiele, czyli w trawie, jest substancja promieniotwórcza. W ten sposób możemy stwierdzić naturalną promieniotwórczość i możemy stwierdzić promieniotwórczość zwiększoną, w przypadku nawet najmniejszych zanieczyszczeń sztucznych.

Oczywiście prościej byłoby wykonać bezpośredni pomiar polowy, zbliżając licznik G-M do tejże trawy jeszcze rosnącej na łące. Takim sposobem można wykryć dopiero większe skażenia. Wówczas, gdy zależy nam na lepszym zorientowaniu się nie tylko o tym ile jest radioizotopów skażających, ale i jakich, a zwłaszcza gdy jest ich bardzo mało, daleko od rzeczywistego zagrożenia, wtedy pomiar polowy nie wystarcza.

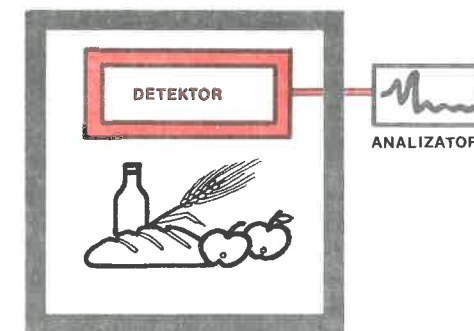
Trzeba przenieść się do laboratorium. Konieczne jest wcześniejsze spreparowanie próbki i pomiar opisany na początku, ale w bardziej komfortowych warunkach, bez wpływu tła zewnętrznego. Bywają laboratoria przewoźne.

Czasem jest potrzebna kontrola bieżąca, ciągła — np. płynącej w rurociągu wody do picia lub zanieczyszczonych ścieków. W takiej sytuacji można zastosować przyrząd pomiarowy, schowany w odpowiedniej osłonie, umieszczony tuż nad przepływającą cieczą i z nastawionym alarmem. Pojawienie się w ściekach nawet znikomych ilości zanieczyszczeń promieniotwórczych jest natychmiast sygnalizowane.

Szczegółowa kontrola otoczenia różnego rodzaju ośrodków jądrowych i siłowni obejmuje m.in. badanie ścieków, wód, trawy.

Można tutaj dodać, że wykrywanie skażeń promieniotwórczych jest, w przeciwieństwie do wielu bardzo niebezpiecznych trucizn, dość łatwe technicznie, i co niezwykle ważne — szybkie.

Pamiętajmy, że dzięki precyzyjnym pomiarom wykrywamy już minimalne — śladowe ilości izotopów; można żartem powiedzieć, że



sprawdzić można wszystko

wykrywamy już „pojedyncze bekerela” (w rzeczywistości nawet drobne ułamki bekerela!), tak że do prawdziwego zagrożenia jest jeszcze bardzo, ale to bardzo daleko.

Ktoś zapyta, dlaczego akurat sprawdzamy trawę? To tylko był przykład: można mierzyć równie dobrze, czy nie zabłąkały się jakieś izotopy z opadu promieniotwórczego w liściach roślin, szpilkach sosnowych, grzybach, glebie, zbożu i również w chlebie, mleku, jajkach; praktycznie we wszystkim. Mogą być różne sposoby przygotowywania próbek do pomiaru, różne liczniki. Ale kiedy dobrze się postaramy, to odpowiemy dokładnie jakie izotopy umiejscowiły się w trawie i czy to nam czymkolwiek grozi.

Dobrze chroniąc człowieka chronimy tym samym i środowisko, bo tak się składa, że najwrażliwszym na promieniowanie elementem tego środowiska jest właśnie człowiek.

Wzorem prowadzonych od dawna systematycznych pomiarów śladowych ilości zanieczyszczeń promieniotwórczych, zaczęto ostatnio mierzyć również przemysłowe skażenia chemiczne naszego otoczenia, przyjmując ogólną nazwę: monitoring środowiska.

V. AWARIA — PROMIENIOWANIE!

53. Obawa przed awarią

Wielu ludzi bardzo boi się promieniowania. Może dlatego, że jest niewidoczne. Tymczasem w związku z ponurymi doświadczeniami na początku — zwłaszcza Hiroszima i Nagasaki — bardzo dokładnie przebadano niebezpieczeństwo jakie niesie ze sobą promieniowanie. Jest ono w gruncie rzeczy już do brze znane, nie tylko ze słyszenia. Po prostu tysiące ludzi na co dzień z promieniowaniem pracuje. Ale dla niektórych przewrażliwionych wydaje się groźnym i ze strachu naprawdę mogą zachorować. Tyle, że nie na chorobę popromienną.

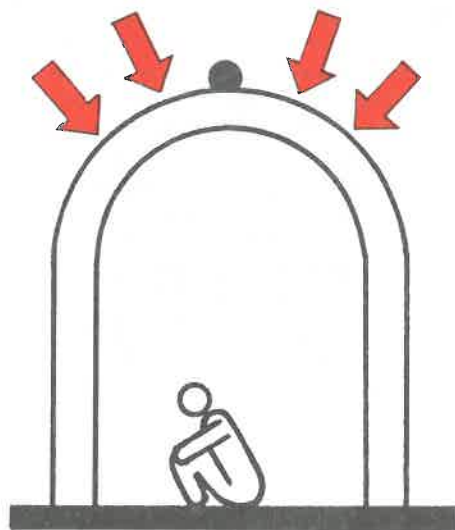
Oczywiście mogą być i niebezpieczeństwa rzeczywiste. Wszyscy przeszliśmy szkołę po awarii czarnobylskiej. Było to dla większości z nas niebezpieczeństwo nieznane, zaskakujące i o niewiadomej skali. Informacje pochodzące z różnych źródeł były często alarmujące, niezrozumiałe i sprzeczne. Na szczęście potwierdziło się, że rzeczywisty poziom zagrożenia w Polsce był niewielki. Ale dokładnymi pomiarami można nadal jeszcze wykrywać obecność długotrwałych izotopów poawaryjnych, a nawet z próbnych wybuchów lat sześćdziesiątych.

Druga krańcowość w podejściu to wcale nierzadkie przypadki lekceważenia ostrzeżeń i nie przestrzeganie zakazów, zwłaszcza przez wieloletnich pracowników, którym wydaje się, że uodpornili się na promieniowanie. Tymczasem mogą być kłopoty, bo w rzeczywistości żadnej odporności na duże dawki się nie nabiera.

Najlepiej z a c h o w u j m y u m i a r. Kiedy istnieje zakaz żeby nie wchodzić lub nie zbliżać się, to tego przestrzegajmy. Jeżeli nie wiemy co

zawiera oznakowana paczka albo czym jest mały metalowy walec, nie bierzmy się do tego. Zapytajmy fachowców, zgłośmy swoje wątpliwości, poprośmy o poradę, informacje.

Telefon awaryjny Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej jest czynny całą dobę.



siła złego na jednego

54. Strefa awaryjna

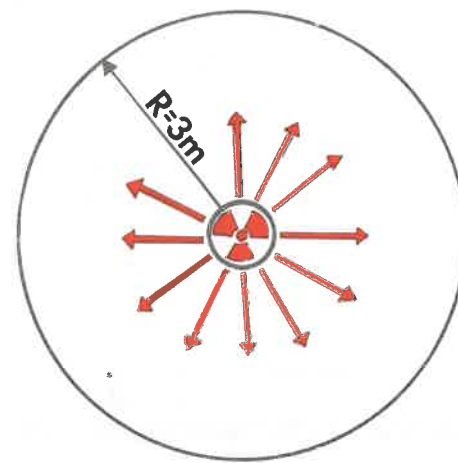
Strefę znacznego zagrożenia promieniowaniem, nazywa się często strefą awaryjną. Kiedy wieje wiatr, to jest jasne, że skażenie w postaci np. obłoku będzie się przesuwać i strefa za-

grożenia przyjmie na mapie wydłużony kształt. Dzieje się tak w warunkach wojennych lub gdyby zdarzyła się duża awaria, ze skażeniami na otwartej przestrzeni.

Jeżeli zagrożenie jest powodowane np. przez silne źródło promieniotwórcze zamknięte, czyli szczelne, np. pochodzące z aparatu gammagraficznego, które znalazło się poza osłoną, to promieniowanie obejmuje obszar kolisty, chyba że są jakieś osłony miejscowe dające „cienie”. A skażeń nie powinno być. Oczywiście źródła bezkarnie ruszać nie wolno; zwłaszcza nie wolno pod żadnym pozorem brać go ręką. Trzeba określić strefę awaryjną. W tym rozumieniu strefą awaryjną jest obszar, który powinien być wygradzony i oznakowany jako niedostępny do czasu pojawienia się ekipy awaryjnej. Do właściwego wyznaczania strefy potrzebny jest pomiar dozymetryczny, ponieważ zbliżanie się do źródła powoduje nadmierne dawki. Jeżeli przyrządu nie mamy, to strefę wyznaczamy tak, aby promień nie był mniejszy niż 3 metry.

Gdy zachodzi konieczność ratowania życia nie wolno zastanawiać się czy obecność promieniowania to uniemożliwia. Po prostu: promieniowanie nie może przeszkodzić akcji ratunkowej! Np. w czasie pożaru samochodu z izotopami w wyniku kraksy, gdy kierowca stracił przytomność. O sposobie ratowania decydują szczegóły sytuacji, nie promieniowanie. Oczywiście, zbędnych dawek trzeba unikać.

Należy sobie zdawać sprawę, że tylko w stacjach naprawdę skrajnych, w bliskich rejonach



zgubione źródło — strefa bezpieczeństwa

reaktorowych, mogą zaistnieć warunki uniemożliwiające, ze względu na poziom promieniowania, akcję ratowania ludzi.

Dla ochotnika, który chce na własną odpowiedzialność ratować zagrożonego człowieka polskie przepisy nie ograniczają dawki. Musi zostać poinformowany jakiej dawki powinien się spodziewać i czym to mu ewentualnie grozi. Powinien być odpowiednio wyposażony w odzież ochronną i aparaturę.

55. Gaszenie pożaru

Mamy na myśli pożar w miejscu gdzie znajdują się izotopy; — oczywiście samego promieniowania „zgasić” nie można.

Jak zwykle o sposobach stosowanych w akcji awaryjnej powinny decydować konkretne warunki tj. obecność materiałów łatwopalnych lub wybuchowych, instalacje gazowe, elektryczne, możliwość ewakuacji ludzi i sprzętu.

Tak jak staramy się zlokalizować sam ogień tj. nie dopuścić do rozszerzenia się pożaru, tak i z punktu widzenia zagrożeń radiacyjnych sprawą istotną może być powstanie i rozniesienie skażeń promieniotwórczych w warunkach pożaru, a więc i potrzeba ich zlokalizowania. Łatwo zrozumieć, że nadmiar wody i innych płynów sprzyja rozprzestrzenianiu się skażeń, sprzyja ich ucieczce poza teren kontrolowany.

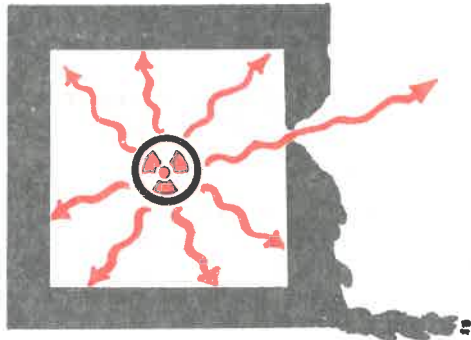
Narażenie gaszących tj. strażaków na skażenie promieniotwórcze może stanowić o śmiertelnym napromieniowaniu, tak jak to miało miejsce w Czarnobylu. Ale jest to sytuacja skrajna, możliwa jedynie w bezpośrednim otoczeniu reaktora. Pożar np. w pracowni izotopowej najniższej, III klasy, nie wymaga nawet stosowania masek lub innych aparatów do oddychania, z punktu widzenia radiologicznego oczywiście.

Inna możliwość powstania zagrożenia w czasie pożaru, to wytopienie się w wyższej temperaturze ołowiu z osłon i odstąpienie źródeł promieniotwórczych, które zaczęłyby wówczas promieniować na otoczenie, a więc i gaszących strażaków i inne osoby przebiegające w pobliżu.

Niekoniecznie tylko pożar może spowodować awaryjne zagrożenie promieniowaniem. Przy stosowaniu defektoskopów, czyli urządzeń do radiografii gamma, np. spoin rurociągów, blach, odlewów, może się zdarzyć zacięcie źródła promieniotwórczego przesuwanego do osłonnego pojemnika. Źródło pozostaje wówczas nie

całkiem osłonięte i może w znacznym stopniu zagrozić otoczeniu, zwłaszcza, gdyby nie zauważono takiej sytuacji. Usuwanie zacięcia przez osoby nieobeznane z aparaturą może prowadzić do znacznych dawek.

We wszystkich przypadkach niespodziewanego zagrożenia promieniowaniem obowiązujące zawiadomienie o tym „pogotowia radiacyjnego” czynnego całą dobę w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej w Warszawie.



otów ognia nie lubi

56. Możliwości wykluczenia awarii

Uczciwie powiedziawszy — awarii oczywiście nie można całkowicie wykluczyć. Ale awaria awarii nie równa. Dziś nawet zacięcie się zamka błyskawicznego przy ubraniu nazywają awarią. Rzeczywiście, może i są sytuacje kiedy skutki takiego zacięcia prowadzą do tragedii? Nie jest wszystko jedno czy przy pracy w laboratorium pęknie rękawiczka i skazimy sobie izotopami koniec palca, czy też pękł zbiornik reaktora i uległoby stopieniu paliwo atomowe.

Popatrzmy na wypadki w różnych zawodach, w przemyśle, w górnictwie, na drogach. Zdarzają się niestety wszędzie. Mało kto ufa liczbom statystycznym, ale prawdziwe wskaźniki wypadków radiacyjnych, tj. związanych z napromieniowaniem, jednak udowadniają, że jest ich w y j ą t k o w o m a ł o. Nie tylko tych ciężkich, śmiertelnych, o których zawsze szczególnie głośno, ale i jakichś drobnych poparzeń czy skażeń.

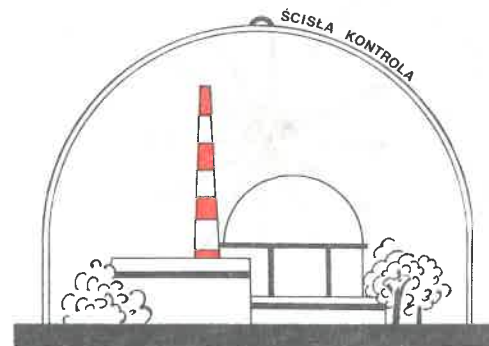
Oczywiście jest obszar budzący wątpliwości kiedy mamy na myśli tzw. skutki opóźnione, a więc zapadanie na nowotwory złośliwe, na raka. Lekarze nie potrafią jeszcze powiedzieć, poza nielicznymi tylko przypadkami, co było w 100-procentach prawdziwą przyczyną zachorowania określonej osoby. Wiemy, że jest bar-

dużo różnych czynników rakotwórczych, przede wszystkim chemicznych. Tylko jednym z tych czynników jest promieniowanie. Wiadomo, że skutki działania promieniowania dają się bardzo dobrze przewidzieć w odniesieniu do dużych grup ludności; dają się obliczyć. Z takich właśnie obliczeń i porównań z zachorowaniami wynika m.in., że nowotwory powodowane promieniowaniem stanowią mały ułamek w ogóle spotykanych nowotworów.

Trzeba powiedzieć, że „zwykłe” narażenie od dymu papierosów, nie mówiąc już o palcach nałogowych, daje większe szanse zachorowania na raka płuc czy raka żołądka, niż narażenie powodowane pracą w laboratorium rentgenowskim lub izotopowym.

Wracając do tego jak dalece jest prawdopodobna lub nie poważna awaria reaktorowa, zdajmy sobie sprawę ile musiano włożyć wysiłku, aby poznać działania konieczne dla spowodowania wybuchu bomby atomowej; nie jest to wcale technicznie proste. A w reaktorach atomowych robi się wszystko, aby przeciwdziałać wszelkim zagrożeniom. O wybuchu — jak bomby atomowej — nie ma w ogóle co mówić. Wydarzenie w Czarnobylu można porównać do wybuchu chemicznego. Dlatego były olbrzymie skażenia nie tylko wokół samego reaktora, ale i w kilkudziesięciokilometrowym promieniu. A wiatr rozniósł resztki skażeń praktycznie po całej Europie. Nie był to jednak klasyczny wybuch jądrowy.

Nierealne byłoby przekonywanie, po ciężkim doświadczeniu, że wszelka większa awaria jest już w 100-procentach wykluczona. Zresztą nie zawsze mamy na to bezpośredniego wpływu. Na własny „prywatny” użytek chyba lepiej poznać dokładnie, na czym może polegać niebezpieczeństwo i jak mu prawidłowo przeciwdziałać; przy małej skali zagrożenia również.



fachowością, odpowiedzialnością i dyscypliną eliminuje się zakłócenia

57. Awaria reaktorowa

W filmie „Chiński syndrom” jest mowa o takiej awarii reaktora, że jego rozpalony do białości rdzeń zapada się w głąb, przenikając aż na drugą (chińską) stronę Ziemi. Czy jest to możliwe? W filmie nie ma rzeczy niemożliwych. Tutaj jednak przesadzono.

Jak może przebiegać poważna awaria reaktora w filmowym skrócie? Reaktor jest chłodzony wodą, która krąży w całkowicie zamkniętym obiegu. W czasie pracy elektrowni pęka ten główny rurociąg. Woda gwałtownie ucieka — zbiornik, w którym zanurzony jest rozgrzany reaktor staje się pusty. Natychmiastowe, automatyczne wyłączenie reaktora nie mogło spowodować natychmiastowego wystudzenia najgroźniejszej części tj. rdzenia zawierającego uran. Tak jak jeszcze parzy żelazko do prasowania, mimo że wyciągnęliśmy wtyczkę z gniazdka. Na nieszczęście zawodzi włączony awaryjnie system specjalnego intensywnego chłodzenia w postaci pryszniców. Niektóre z prętów tworzących rdzeń reaktora ulegają stopieniu. Silnie radioaktywne substancje trafiają do hali hermetycznie otaczającej reaktor. Na tym koniec. Kamera stop. Skażenia pozostały zamknięte w hali.

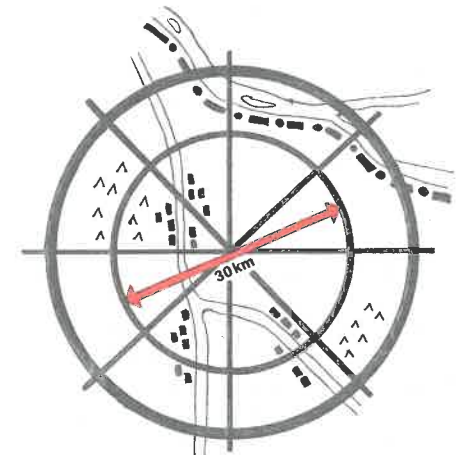
Jak odzyskać dostęp do hali, jak naprawić reaktor i związane z nim układy, to już dalsze zmartwienia. No i jak uspokoić nie tzw. opinię publiczną, a po prostu zwykłych, przestraszonych ludzi...

Tak kończył się tekst napisany jeszcze przed Czarnobylem.

Dla Czarnobyla byłoby trzeba zmienić scenariusz i przedłużyć. Pęka nie główny rurociąg, ale zostaje wysadzona płyta nad reaktorem, wskutek gwałtownego przegrzania rdzenia i wybuchu nie tyle pary, co wodoru. Zostaje zniszczony dach hali; powstaje kilkadziesiąt ognisk pożaru spowodowanych przez rozrzucone tym wybuchem gorące paliwo. Skażenia promieniotwórcze ulatują wysoko w górę. Hali hermetycznej tj. obudowy bezpieczeństwa nie było.

Z helikopterów bombarduje się płonący rdzeń, zawierający grafit. Zrzucane tony piasku, gliny, boru, ołowiu po 10 dniach pozwalają opanować sytuację. Pod reaktorem buduje się dodatkową betonową płytę, aby skażenia nie przeniknęły do wód podziemnych i Prypeci. Następuje ostateczne zamknięcie w betonowym bunkrze całego reaktora; na stulecia.

Wokół elektrowni zostaje wydzielona 30-km strefa.



lepiej zaplanować z mapą w ręku

58. Skażenia w Polsce po Czarnobylu

Zagrożenie radiologiczne polegało na terenie Polski na pojawieniu się skażeń promieniotwórczych powietrza. Były to tzw. produkty rozszczepienia, o składzie typowym dla awarii reaktorowej, tj. ze znaczną zawartością radioizotopów jodu oraz radioizotopów cesu, przy małej zawartości strontu. W opadzie po wybuchu bomby proporcje są inne. Skażenia powietrza osadzając się szybko spowodowały wtórne skażenie gleby oraz roślinności i stosunkowo małe skażenie wód powierzchniowych. Izotopy jodu jako krótkotrwałe, przestały po kilku tygodniach grać rolę, natomiast skażenia żywności pozostały jako skażenia cezem.

Przedstawione tutaj skrótowo oceny narażenia, czyli dawki na które zostaliśmy narażeni, mają ze względu na znaczną złożoność zjawisk charakter tylko podsumowania.

Obliczono na podstawie pomiarów, że d a w k i c a ł k o w i t e t j. o t r z y m a n e łą c z n i e, w ciągu wielu, wielu lat, bo 50, przez poszczególne osoby dorosłe wyniosą w odniesieniu do całego ciała, od wartości efektywnej 0,4 mSv (milisiwerta) w rejonach najmniej skażonych do 2,1 mSv w rejonach najbardziej skażonych. Określenie „wartość efektywna” oznacza, że uwzględniono całość narażenia, a więc odpowiednio również narażenie tarczycy od jodu, oraz od zanieczyszczeń cezem w pożywieniu.

W indywidualnych przypadkach, kiedy wskutek zbiegu okoliczności takich jak znaczniejsze miejscowe skażenie trawy po silniejszych w tamtym czasie deszczach, wbrew zaleceniom wypasanie na takiej trawie krów i spożywanie bez ograniczeń mleka oraz znacznych ilości np. sałaty, szczywnu i szpinaku, mogły występować, zwłaszcza u dzieci, dawki nieco większe od przedstawionych wyżej, spowodowane jodem. Można jednak przypuszczać, że w żadnym przypadku nie były one większe niż 5–10 razy.

Średnie wartości dawki efektywnej u dzieci w pierwszym roku po awarii mogły sięgnąć 4 mSv. Dzieci poniżej 3 lat karmione mlekiem w proszku otrzymały dawki mniejsze.

Są kontynuowane badania żywności, w której utrzymują się nadal malejące niewielkie aktywności cezu. Dawka wywołana tym radioizotopem była oszacowana za I rok na średnim poziomie poniżej 0,1 mSv. Aby w roku 1991 otrzymać taką mikroskopijną dawkę, trzeba byłoby zjeść co najmniej 8 kg świeżych grzybów o największym zanieczyszczeniu cezem, na jakie można w ogóle w Polsce natrafić. W następnych latach dawki będą oczywiście jeszcze mniejsze.

Dla porównania można podać, że co r o c z n i e n a r a z e n i e w Polsce od tzw. tła naturalnego, a więc i tak z pominięciem dawek otrzymywanych w czasie badań lekarskich, kształtuje się średnio na poziomie nieco poniżej 3 mSv.



po Czarnobylu...

Wszystkie zacytowane dawki są bardzo dalekie od spowodowania jakichkolwiek zauważalnych ostrych skutków biologicznych. Oczywiście pozostaje otwarte pytanie jakie mogą być skutki późne; powiedzmy wprost: jaka może być liczba nowotworów? Odpowiedzi są różne, przy czym odpowiedzi dokładnej być nie może. Najczęściej wymieniane są liczby poniżej 100 przypadków łącznie przez kilkadziesiąt lat na terenie całego kraju.

W Polsce co roku na choroby nowotworowe z wszelkich przyczyn umiera niestety ponad 70 000 osób.

59. Skutki działania bomby atomowej

Co można powiedzieć w skrócie o działaniu bomby? Wszyscy wiedzą, że błysk — oślepiający i zapalający w dużym promieniu, podmuch, lej w ziemi, promieniowanie, na niebie „grzyb”.

Promieniowanie jonizujące bomby, a jest to promieniowanie gamma, działa dwa razy: w czasie samego błysku, tj. natychmiast, b l i s k o i k r ó t k o: potem tj. po opadnięciu, działa opad, czyli pył promieniotwórczy. Działa bardzo d ł u g o, coraz słabiej, zarówno w małej odległości od epicentrum, jak i bardzo daleko. Zależnie do wiatru, który go przywiał. Pył ten zawiera produkty rozszczepienia uranu, emitujące promieniowanie gamma i beta.

Co to znaczy „lej w ziemi”? — od bomby 10 megaton, tj. równoważnej 10 milionom ton trotylu, średnica leja sięga 380 m i głębokości 75 m, jeżeli wybuch był na powierzchni ziemi. Poparzeń I stopnia, tj. jak od słońca, można by doznać w odległości nawet 48 km. Nadciśnienie — podmuch powoduje uszkodzenie większości budynków do 15 km.

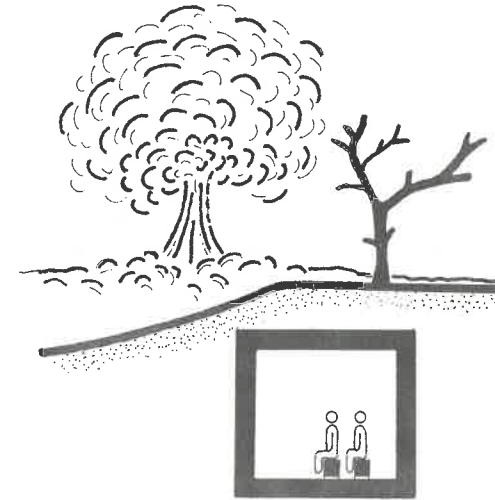
Dawka śmiertelna promieniowania od samego wybuchu, w zasadzie tam, gdzie i tak nie się nie uchowało, w promieniu trzech, czterech kilometrów byłaby zapewniona.

Co mogą dać regularne, porządne schrony i bardziej prymitywne ukrycia? Blisko wybuchu skuteczny jest tylko superpotężny głęboki schron. Dalej, dobrze przykryta, głęboka piwnica przy grubości 1 metra warstwy ziemi, może osłabić promieniowanie błysku około 150 razy, a późniejsze promieniowanie od zalegającego opadu nawet i 5000 razy. W zwykłym budynku bez dodatkowych warstw ziemi lub betonu, współczynniki osłoności powyżej piwnic mogą nawet nie sięgać 10. Najgorzej jest na parterze i na najwyższym piętrze.

Jeszcze parę liczb — według obliczeń szwaj-

carskich, bomba „standardowa” 20 kiloton, czyli o połowę większa niż w Hiroszynie, wybuchająca przykładowo nad 130 000-miastem, przy pełnym zaskoczeniu może spowodować 35% strat w zabitych i 30% rannych; przy częściowym ukryciu, 23% zabitych i 17% rannych.

Czyli są jakieś szanse dla 2/3 ludności.



lepiej tak niż pod prześcieradło

60. Ochrona przed opadem promieniotwórczym

Apokaliptyczna wizja globalnego zniszczenia nie powinna pozbawiać nas świadomości, że jeżeli znaleźlibyśmy się akurat wśród tych, których nie spopielił pierwszy podmuch bomby to pamiętając o zasadach zachowania się, mamy w i ę k s z e s z a n s e na uratowanie.

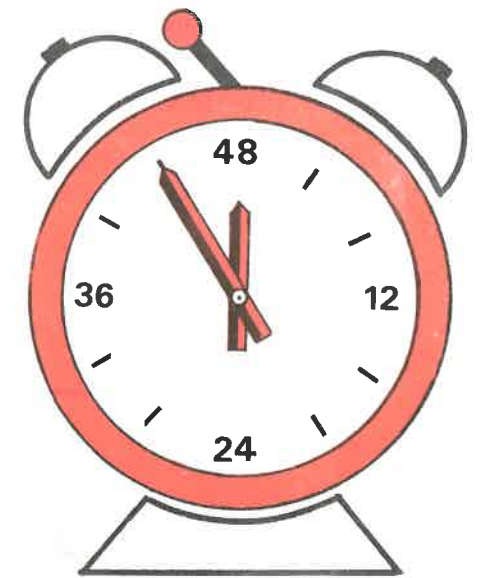
Wiedźmy, że zagrożenie po wybuchu utrzymuje się; wynika z powstałego opadu. Jest ono dwojakiego rodzaju. Przede wszystkim z e w n ę t r z n e, tj. od bezpośredniego promieniującego opadu, zalegającego w postaci pyłu w bliższym i dalszym otoczeniu, ale ewentualnie i w e w n ę t r z n e, tj. od oddychania skażonym promieniotwórczo powietrzem lub od picia skażonej wody.

Promieniowanie od opadu zanika zaraz po wybuchu bardzo szybko — po ok. dwóch dniach, w 49 godzin opad promieniuje 100 razy mniej, niż po pierwszej godzinie. P o d w ó c h t y g o d n i a c h promieniowania będzie t y s i ą c r a z y m n i e j niż na początku. Warto więc przesiadzić, przynajmniej te dwa pierwsze

dni w możliwie dobrze osłoniętym ukryciu, w schronie, w jakiejś dziurze, zamiast „spacerować” tj. uciekać po terenie skażonym, i to skażonym na pewno w bardzo silnym stopniu. Nie wychodzić w tym czasie na zewnątrz, bez absolutnej konieczności. Bez rozpoznania przyrządami dozymetrycznymi l e p i e j n a d a l p o z o s t a w a ć w u k r y c i u, jak długo tylko się da.

Oczywiście jest konieczne żeby schowek był uszczelniony przed wpadaniem do środka pyłu, a i my sami bez skażeń ubrania, obuwia, (trzępianie) i tym bardziej skóry (mycie, wycieranie). Nie pić wody np. deszczowej, ze strumienia, nie zasłoniętej studni; lepiej już spuścić z... grzejników CO. Jedzenie nadaje się, jeżeli było i jest zamknięte w puszcze lub szczelnym opakowaniu.

Wymioty, które pojawiłyby się szereg godzin po wybuchu, to jest po napromieniowaniu, nie muszą świadczyć o tym, że dawki na które zostaliśmy narażeni, są dawkami śmiertelnymi. Trzeba jednak zdawać sobie sprawę, że istnieje znaczna podatność na zakażenia bakteryjne, wszelkiego rodzaju infekcje.



przeczekać przynajmniej dwa dni...

W miarę możliwości utrzymać spokój. Świadome postępowanie może zachować życie nam i naszym najbliższym.

W Hiroszynie przeżyło 74%, tj. około 220 000 osób.

I co dalej?

Przy czytaniu tych różnych informacji prawdopodobnie narodziło się niejedno pytanie, zakradła się niejedna wątpliwość. To i owo poznaliśmy, ale czy rzeczywiście tak jest jak autor przedstawia? Czy w modny dziś sposób nie „manipuluje”? Namawia na energetykę jądrową? Może zanadto upraszcza sprawy, które są przecież tak bardzo skomplikowane? Chce nas uspokoić, czy właśnie przestraszyć?

Ani jedno, ani drugie. Chciałby tylko uświadomić starą prawdę, że jeżeli poznało się niebezpieczeństwo, to łatwiej go uniknąć.

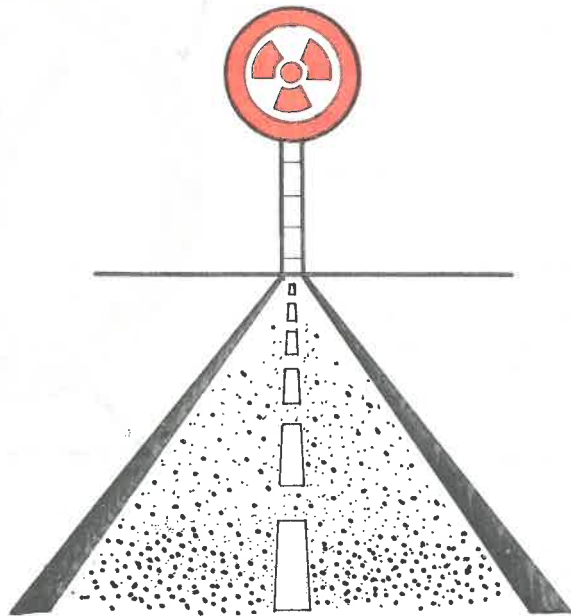
Zapytajmy innych — może akurat coś nam wyjaśnią, może wiedzą. Może coś więcej czytali. A może ja wiem już więcej od nich?

Na przykład, że zagrożenie promieniowaniem jonizującym jest zbadane o wiele lepiej niż szereg innych niebezpieczeństw. Prawda, że początkowe doświadczenia były tragiczne; ale wyciągnięto z tego wnioski i że z najnowszych wyciąga się nadal. Mnóstwo wysiłku poświęcono, aby poznać istotę szkodliwego oddziaływania i sposoby zabezpieczenia się. Stąd też tyle o tym dyskusji i na świecie i w Polsce. Znacznie więcej niż np. o rzeczywistych skażeniach przemysłowych, chemicznych. Sposoby podejścia do spraw ochrony przed promieniowaniem, do wczesnego zapobiegania stają się, czy ktoś to chce zauważyć czy nie, coraz bardziej modelem, wzorem postępowania przy ochronie przed innymi, nieraz gorszymi zagrożeniami.

Równocześnie przekonano się, że warto wykorzystywać promieniowanie i jego energię. Wprzęgnięto je w służbę człowieka. Trochę to tak, jak z ogniem. Może poparzyć — czasem śmiertelnie, może spalić las, dom, nawet miasto — ale jak tu bez ognia się obejść?

Tylko, jak wiadomo, nie można zapalek dawać do zabawy dzieciom.

A w sprawach ochrony przed promieniowaniem zawsze znajdzie się jeszcze dużo do zrobienia.



iść czy nie iść

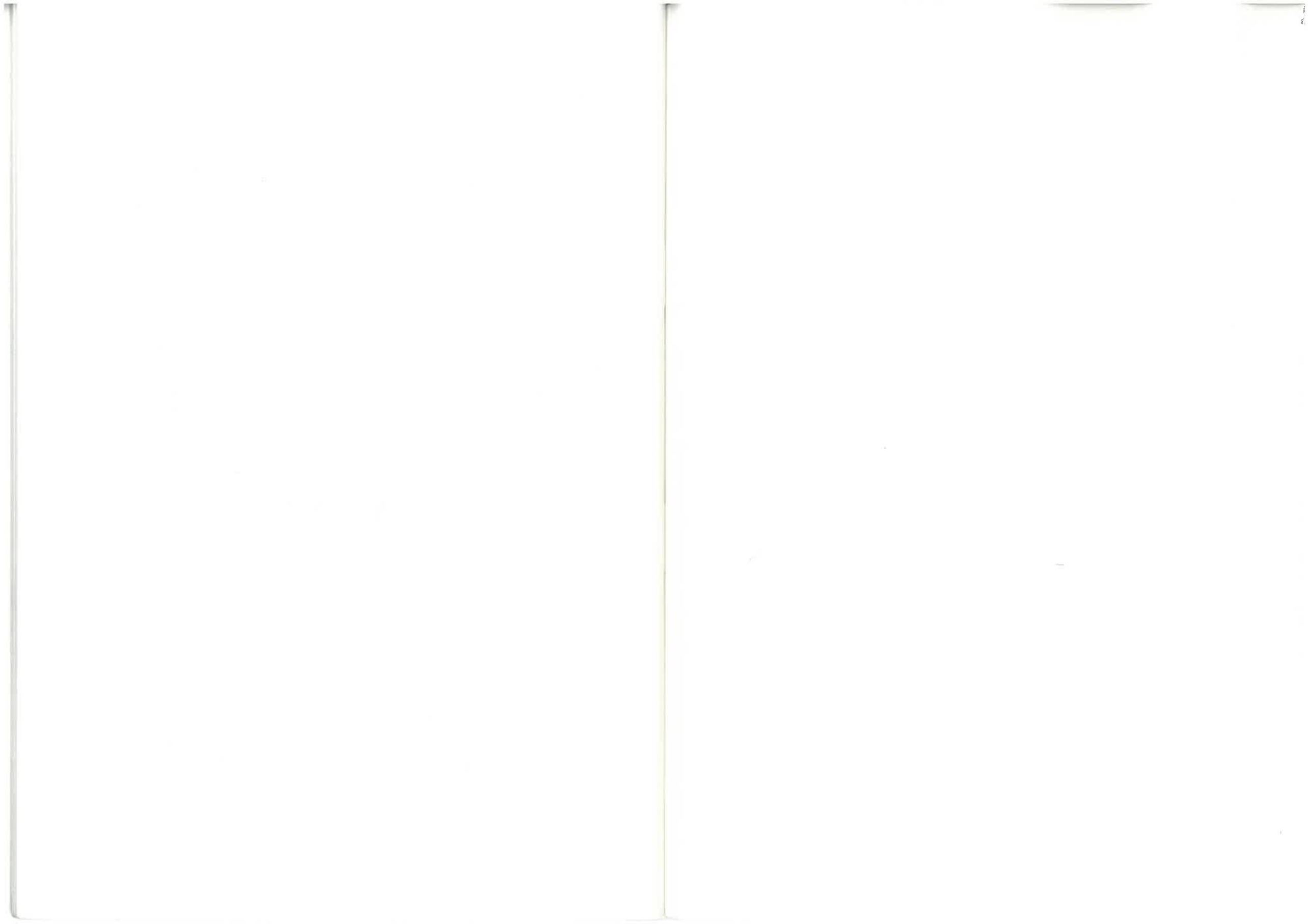
Państwowy dozór bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej

Głównym celem tej instytucji jest zadbanie, aby wszystkie zasady obowiązujące w ochronie przed promieniowaniem były w Polsce w pełni przestrzegane, zgodnie ze współczesnym stanem wiedzy i zgodnie z przepisami.

Do podstawowych zadań dozoru należy konsultowanie i doradzanie we wszelkich sprawach związanych z ochroną przed promieniowaniem, analizowanie warunków prowadzenia prac wiążących się z zagrożeniem oraz na podstawie analiz udzielanie zezwoleń na te prace, na eksploatację urządzeń, na składowanie odpadów, produkcję przedmiotów powszechnego użytku i in. Dozór ma prawo wyłączyć z eksploatacji obiekty nie spełniające warunków bezpieczeństwa.

Wszystkie jednostki organizacyjne czy to państwowe, czy to prywatne, muszą przestrzegać „Praw atomowego” tj. ustawy z 1986 r. i związanych z nim przepisów wykonawczych, precyzujących warunki bezpiecznego korzystania z promieniowania i jego energii, wg obowiązujących zaleceń międzynarodowych. Zgodnie z tymi przepisami nad całością czuwa właśnie państwowy dozór bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, który patrzy na ręce wszystkim mającym do czynienia z promieniowaniem, jak również sprawdza warunki zachowywania bezpieczeństwa jądrowego tzn. eksploatacji reaktorów, przechowywania i transportu paliwa, gromadzi dane i analizuje zagrożenie od reaktorów pracujących w krajach ościennych, dba o przygotowanie i przestrzeganie specjalnych programów zapewnienia jakości.

Dozór jądrowy i jego inspektorzy ściśle współpracują z Inspekcją sanitarno-epidemiologiczną, Inspekcją ochrony środowiska i innymi organizacjami.



Wydawca: Państwowy Dozór Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej
Warszawa, ul. Krucza 36

Redakcja: Warszawa, ul. Krucza 36
red. naczelny — Jerzy Zandberg
sekretarz redakcji — Ewa Szkulciecka tel. 111-999

Przewodniczący Rady Programowej
doc. Wacław Dąbek

Skład i łamanie: Pracownia Poligraficzna FOTOSKŁAD, Warszawa, ul. Niecała 4a