Józefina Turło, Krzysztof Służewski, Zygmunt Turło
Pracownia Dydaktyki Fizyki
Instytut Fizyki UMK w Toruniu

9. BADANIE PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO Z WYKORZYSTANIEM LICZNIKA GM

Cele doświadczenia

Cele ogólne

- Poznanie naturalnych i sztucznych źródeł promieniowania jonizującego, rodzajów i własności tego promieniowania oraz sposobów jego detekcji i pomiaru,
- Ukształtowanie świadomości w zakresie pozytywnych i negatywnych skutków promieniowania jonizującego oraz dopuszczalnych, nieszkodliwych dla człowieka dawek tego promieniowania, a także zasad bezpiecznego posługiwania się preparatami promieniotwórczymi,
- Poznanie metody komputerowego wspomagania eksperymentów z zakresu fizyki jądrowej.

Cele operacyjne

1. Poznanie pojęć:
- Dawka promieniowania jonizującego, dawka dopuszczalna, dawka graniczna,
- Jednostki wielkości fizycznych związanych z promieniotwórczością, jak: bekerel (Bq), grey (Gy), siwert (Sv),
- Okres półrozpadu substancji promieniotwórczej,
- Charakterystyka licznika Geigera-Müllera, czas martwy licznika.

2. Nabycie umiejętności:
- wykrywania promieniowania jonizującego β i γ pochodzącego z naturalnych i sztucznych źródeł promieniowania, jak sole potasowe, nawozy sztuczne, materiały budowlane, koszulki Auera itp. i pomiar jego intensywności,
- demonstrowania zasady działania i parametrów technicznych licznika Geigera-Müllera,
- wykorzystania prawa rozpadu promieniotwórczego do wyznaczania okresu półrozpadu substancji promieniotwórczych,
- badanie zależności poziomu promieniowania jonizującego od odległości od źródła,
- określania zasięgu promieniowania jonizującego w różnych materiałach.

Stosowane przyrządy i materiały

- Licznik GM współpracujący z komputerem IBM PC (zaopatrzony we wtyk BT).
- Panel Coachlab II (lub konsola UIA/UIB podłączona do licznika przez adapter 0520).
- Oprogramowanie: Coach 5.
- Naturalne i sztuczne bezpieczne źródła promieniowania jonizującego (materiały budowlane, koszulki Auera, sole potasowe itp.).
- Płytki z różnych materiałów (np. metalowe, drewniane, plastikowe) o różnej grubości.

- Linijka.

Badane zjawisko

Czym jest i jak powstaje promieniowanie jonizujące

Naturalną promieniotwórczość pierwiastków, polegającą na emisji przez nietrwałe jądra atomów promieniowania jonizującego odkrył w 1896 roku francuski uczony **Henri Becquerel**. Nazwy *radioaktywność* (*promieniotwórczość*) po raz pierwszy użyła nasza rodaczka **Maria Skłodowska-Curie**, która odkryła dwa pierwiastki promieniotwórcze polon i rad i za wyniki swych badań w dziedzinie promieniotwórczości dwukrotnie otrzymała nagrodę Nobla - w 1903 roku, wspólnie z mężem Piotrem Curie w dziedzinie fizyki i w roku 1911 w dziedzinie chemii.

Promieniowaniem jonizującym określamy różne rodzaje promieniowania, które mając wystarczająco dużą energię powodują zmiany elektryczne - odrywanie elektronów od atomów i powstawanie jonów, czyli jonizację materii, przez którą przechodzą, mogąc przy tym rozrywać wiązania chemiczne pomiędzy atomami.

Promieniowanie jonizujące jest nieodłącznym składnikiem naszego środowiska, mającym doniosły wpływ na rozwój i ewolucje życia na Ziemi. Promieniowanie to powstaje w wyniku szeregu procesów:

- promieniowania kosmicznego, będącego w istocie rozpędzonymi do ogromnych energii protonami, jądrami helu, a także innymi atomami docierającymi nieustannie z Kosmosu oraz z atmosfery Słońca, które zderzając się z atomami atmosfery ziemskiej prowadzą do powstawania wtórnych źródeł promieniowania,
- samorzutnego rozpadu niestabilnych atomów promieniotwórczych, wchodzących w skład naszego naturalnego otoczenia,
- rozpadu promieniotwórczych pierwiastków wprowadzonych do naszego otoczenia w sposób niekontrolowany, np. w wyniku prób z bronią jądrową, czy też katastrof w energetyce jądrowej,
- rozpadu paliwa jądrowego w reaktorach jądrowych lub przyspieszania cząstek do dużych prędkości w akceleratorach,
- przy przejściach elektronów na wewnętrzne powłoki elektronowe atomu, powstające wówczas promieniowanie rentgenowskie wykorzystywane jest w technice i diagnostyce medycznej.

Samorzutny rozpad jąder atomów pierwiastków promieniotwórczych jest zjawiskiem przypadkowym, rządzą nim prawa prawdopodobieństwa. Ze statystycznego charakteru tego zjawiska wynika **prawo rozpadu** w postaci:

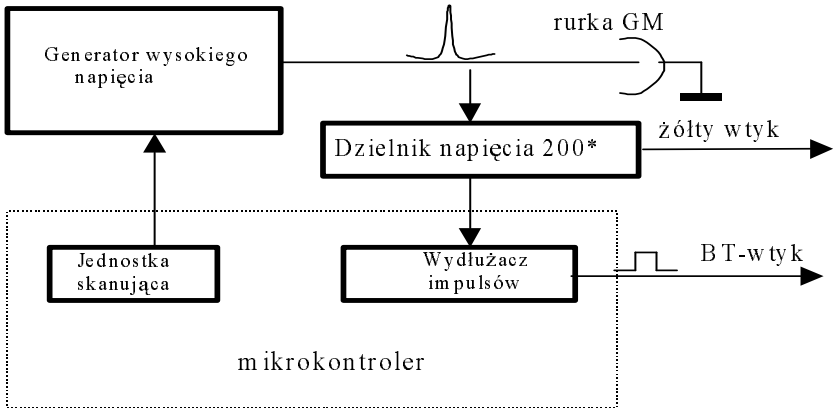
$$N/N_0 = exp[-\lambda t] = exp[-\frac{t}{\tau}] = exp[-(\ln 2)\frac{t}{T}]$$

gdzie: N_0 – początkowa liczba jąder danego pierwiastka,
λ – stała rozpadu,
τ – średni czas życia jąder,
T – okres półrozpadu – czas, po którym połowa jąder danego pierwiastka się rozpada.

Jak działa detektor GM?

Najprostszym, a jednocześnie bardzo czułym detektorem promieniowania jonizującego, możliwym do wykorzystania niemal w każdej szkolnej pracowni jest licznik Geigera-Müllera (GM). Jego działanie polega na zliczaniu lawinowych wyładowań w rurce GM z katodą Fe/Cr. Wyładowania te powstają w atmosferze helowo-neonowej pod niskim ciśnieniem w obecności silnego pola elektrycznego. Narastające lawinowo w liczniku GM wyładowanie, może być zapoczątkowane nawet przez pojedynczą cząstkę jonizująca, natomiast łączna ilość jonów biorących udział w lawinie jest bardzo duża. Z tego powodu licznik GM pozwala rejestrować pojedyncze cząstki jonizujące, a powstające przy tym lawiny są łatwe do wykrycia. Niestety, nie możemy przy pomocy licznika GM określić ani rodzaju cząstki jonizującej, która wywołała lawinę, ani też jej energii. Możemy jedynie stwierdzić, iż cząstka jonizująca dotarła do aktywnego obszaru licznika. Miarą natężenia promieniowania jest ilość zliczeń na sekundę. Przy typowej konstrukcji licznika GM, do obszaru aktywnego mogą dotrzeć jedynie szybkie elektrony (promieniowanie β) lub też kwanty promieniowana γ o energii powyżej 0.4 MeV. Dla innych rodzajów promieniowania jonizującego obudowa licznika stanowi zaporę nie do przebycia, co powoduje, iż licznik GM rejestruje jedynie promieniowanie β i γ z wydajnością zależną od zakresu energii.

Każdemu przypadkowi rozpadu (kiedy do licznika GM „wpada" cząstka beta lub promieniowanie gamma) towarzyszy impuls (5V, 0.265 ms) na złączu BT. W tym samym czasie, zdarzenie jest sygnalizowane przez błysk diody LED i akustycznie przez sygnał dźwiękowy (3 kHz, 84.5 ms) .



Rysunek 1. Schemat licznika GM.

Typowy licznik GM działa najlepiej, gdy zasilany jest napięciem około 500V. Wysokie napięcie, zasilające rurkę GM może być regulowane. Po naciśnięciu czerwonego przycisku na detektorze, napięcie zasilające rurkę zmienia się w przeciągu 10 minut od 300V do 650V; w czasie tej operacji dioda LED umieszczona na detektorze żarzy się słabym światłem. Ta opcja pozwala na badanie charakterystyki licznika Geigera-Müllera.
Napięcie zasilające rurkę GM można zmierzyć dokładnie poprzez podłączenie detektora (żółte wyjście po lewej stronie licznika) z wejściem analogowym interfejsu (patrz rysunek 4).
Na żółtym wyjściu napięcie zmniejszane jest w stosunku do napięcia na rurce 200-krotnie (1.5 – 3.25 V przy impedancji 1.5 kΩ) (patrz rysunek 1). Jeżeli napięcie rurki będzie dużo większe od nominalnego (500V) rurka może generować serie impulsów dla pojedynczej cząstki (będzie się wzbudzać).

Wykonanie doświadczeń

Doświadczenie 1. Badanie promieniowania tła

Jeżeli detektor GM umieścimy daleko od jakiegokolwiek sztucznego źródła promieniowania jonizującego, to wykrywa on promieniowanie tła (ok. 10 impulsów na minutę w Polsce).
Ponieważ promieniowanie tła jest zawsze obecne, w celu uzyskania poprawnych wyników, podczas wszystkich doświadczeń z wykorzystaniem detektora GM, od wyników otrzymanych z pomiarów należy zawsze odejmować tło.

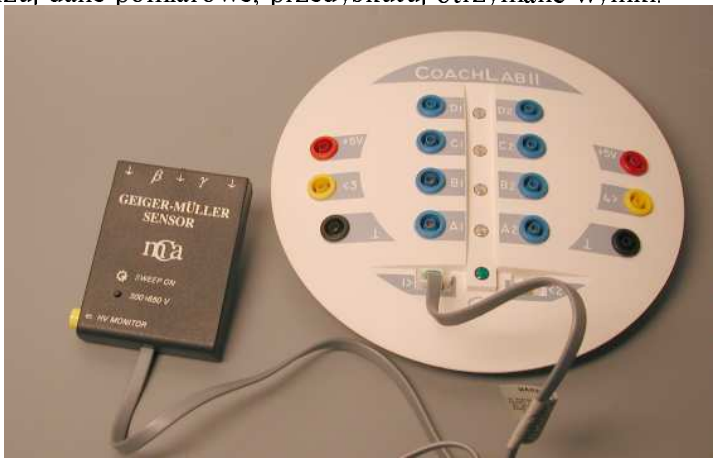
Ustawienia parametrów programu Coach 5.

- Activity type (rodzaj ćwiczenia): Time based measurement.
- Sensor icon (ikona licznika): ikona Geiger-Müller sensor (029&bt)(CMA)(0...1000) powinna się znaleźć w tym samym „wejściu" na ekranie, którym rzeczywisty licznik podłączony jest do konsoli.
- Measurement settings (ustawienia pomiarowe - w zależności od natężenia źródła promieniowania jonizującego), na przykład: Measuring time = 10 minutes (czas pomiaru), Measurement fraquency = 3 per minute (częstotliwość pomiarów).
- Table settings (tabela parametrów):

Data range (kolumna)	Connection (połączenie)	Quantity (wielkość)	Unit (jednostka)
C1	Clock (zegar)	Time (czas)	Minutes (minuty)
C2	Analog In:Geiger-Muller sensor Wejście analogowe: licznika GM	N (ilość)	Counts (ilość impulsów)
C3	Formula: Delta(N)/Delta(time)	Rate (szybkość)	Counts/minute (ilość impulsów/min.)
Kolumna C2 może być zaznaczona jako niewidoczna			

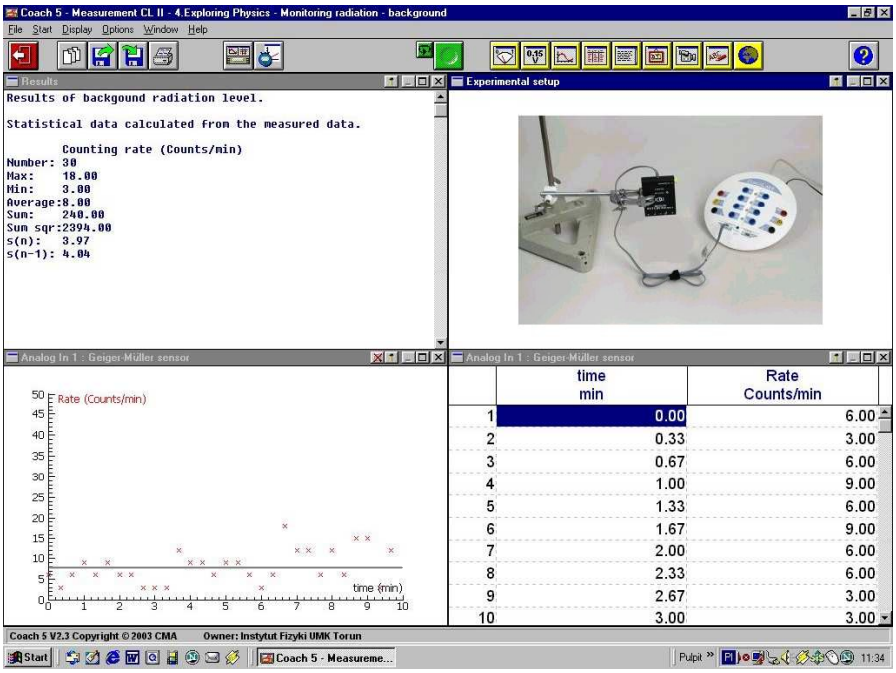
Procedura pomiarowa

- Podłącz licznik GM do analogowego wejścia konsoli pomiarowej Coachlab II (patrz rys. 2).
- Otwórz ćwiczenie (activity) w Coach-u 5 pt. Radiation - background.
- Rozpocznij pomiar klikając górny, zielony przycisk na panelu sterowania programu.
- Zapisz i przeanalizuj dane pomiarowe, przedyskutuj otrzymane wyniki.



Rysunek 2. Licznik GM podłączony do analogowego wejścia w konsoli pomiarowej Coachlab II.

Wyniki, ich dyskusja i wnioski



Rysunek 3. Parametry pomiarowe, zestaw doświadczalny oraz wyniki pomiaru promieniowania jonizującego pochodzącego od tła.

Badanie promieniowania tła (rys. 3) ilustruje podstawową cechę rozpadu promieniotwórczego. Analizując wyniki pomiarów zauważymy, że impulsy pochodzące od tła rozkładają się w sposób przypadkowy. Jest to cecha charakteryzująca wszystkie rozpady promieniotwórcze. Jedyną drogą uzyskania dokładniejszych wyników jest pomiar promieniowania przez dłuższy czas, a następnie uśrednienie wyników.

Doświadczenie 2. Badanie charakterystyki licznika GM (zależności liczby rejestrowanych impulsów od przyłożonego napięcia)

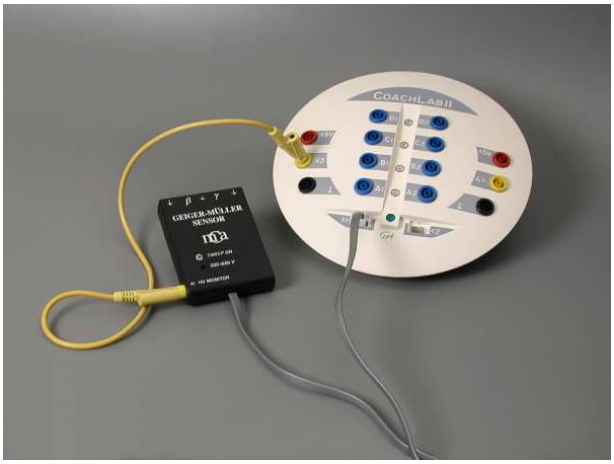
W celu wykonania tego doświadczenia podłączamy licznik GM wtykiem BT do konsoli. Żółty 4-milimetrowy wtyk z lewej strony licznika włączamy do analogowego wejścia konsoli. Dzięki temu można mierzyć wartość napięcia przyłożonego do licznika GM. Po naciśnięciu czerwonego przycisku na liczniku napięcie będzie zmieniać się od 300 V do 650 V w przeciągu 10 minut. W celu uzyskania dokładniejszych wyników należy pamiętać o odjęciu promieniowania tła po zakończeniu pomiaru i obliczeniu wyników średnich z przeprowadzonych pomiarów.

Ustawienia parametrów programu Coach 5.

- Activity type (rodzaj ćwiczenia): Time based measurement.
- Sensor icon (ikona licznika):
  - ikona Geiger-Müller sensor (029&bt)(CMA)(0...1000) powinna się znaleźć w tym samym „wejściu" na ekranie, którym rzeczywisty licznik podłączony jest do konsoli,
  - ikona Geiger-Muller Operating Voltage sensor (029&bt)(CMA)(300...650V) powinna się znaleźć w tym samym „wejściu" na ekranie, którym rzeczywisty licznik poprzez 4-milimetrowy żółty wtyk jest podłączony do konsoli (patrz rysunek 4).

- Measurement settings (ustawienia pomiarowe - w zależności od rodzaju źródła promieniowania jonizującego), na przykład: Measuring time = 10 minutes (czas pomiaru), Measurement fraquency = 10 per minute (częstotliwość pomiarów).
- Table settings (tabela parametrów):

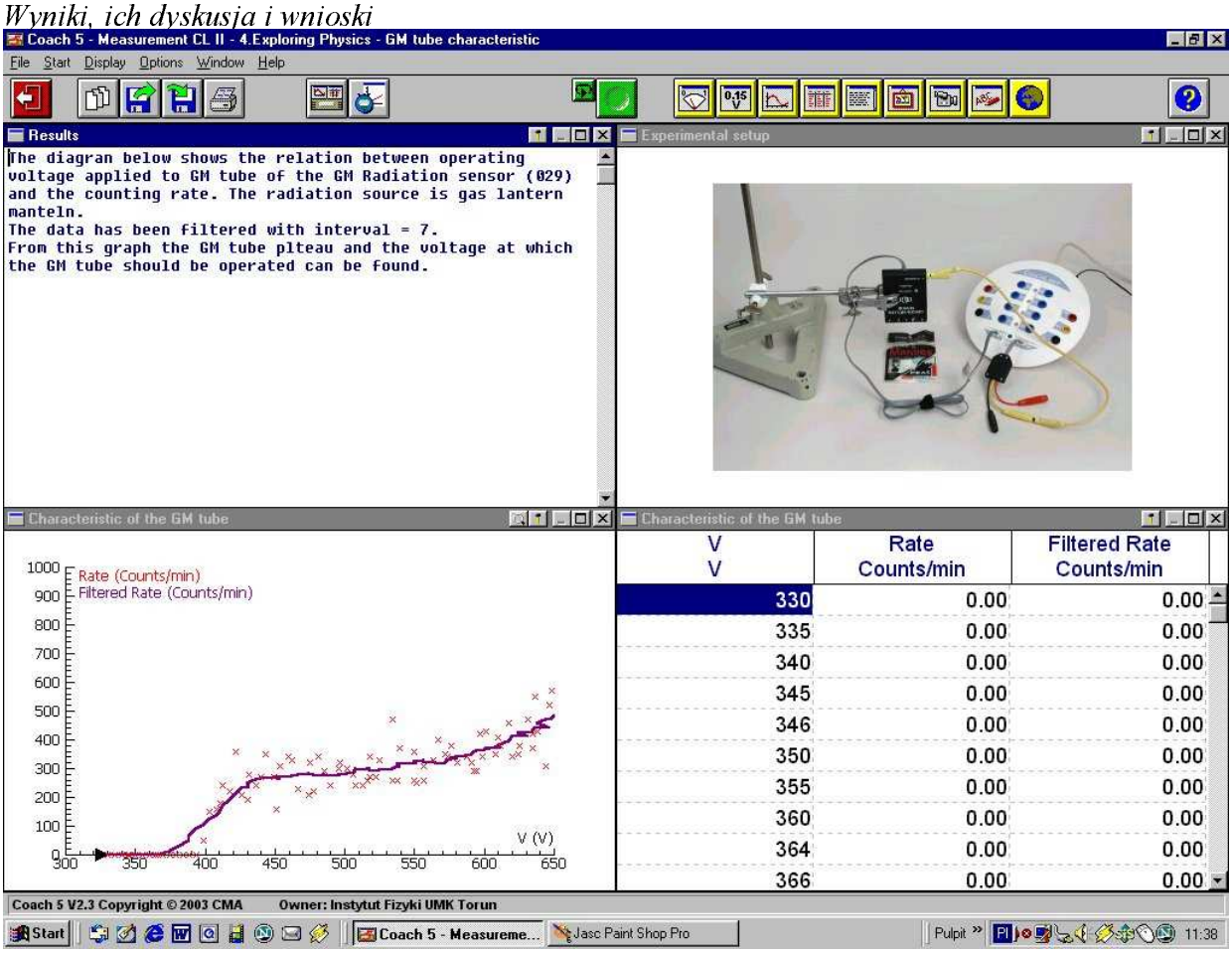
Data range (kolumna)	Connection (połączenie)	Quantity (wielkość)	Unit (jednostka)
C1	Clock (zegar)	Time (czas)	Minutes (minuty)
C2	Analog In:Geiger-Muller sensor Wejście analogowe: licznika GM	N (ilość)	Counts (ilość impulsów)
C3	Analog In:GM Operating voltage sensor	V (napięcie)	V (wolt)
C4	Formula: Delta(N)/Delta(time)	Rate (szybkość)	Counts/minute (ilość impulsów/min.)
Kolumna C1 i C2 może być zaznaczona jako niewidoczna			



Rysunek 4. Napięcie zasilające licznik GM jest mierzone przez wejście 3 konsoli pomiarowej (żółtym 4mm przewodem), liczba impulsów na jednostkę czasu jest mierzona dzięki podłączeniu do wejścia 1 (wtykiem BT).

Procedura pomiarowa

- Podłącz licznik GM do analogowego wejścia konsoli pomiarowej Coachlab II wtykiem BT (patrz rys. 4).
- Jednocześnie połącz licznik (żółtym wtykiem) z konsolą pomiarową (patrz rys. 4).
- Otwórz ćwiczenie (activity) w Coach-u z parametrami odpowiednimi do tego doświadczenia.
- Naciśnij czerwony przycisk na liczniku w celu rozpoczęcia przemiatania (zmian napięcia licznika).
- Naciśnij zielony przycisk na panelu sterowania programu w celu rozpoczęcia pomiaru (potrwa ok. 10 minut).
- W celu zwiększenia jakości danych należy od uzyskanych wyników odjąć promieniowanie tła.
- Zapisz i przeanalizuj dane pomiarowe, przedyskutuj otrzymane wyniki.



Rysunek 5. Przykład układu do badań i wyników pomiarowych w zależności liczby impulsów na minutę od napięcia przyłożonego do licznika GM dla koszulki Auera (źródło promieniowania).

Na początku pomiaru, kiedy napięcie licznika GM wynosi około 300 V licznik GM nie rejestruje impulsów. Zaczyna je rejestrować przy napięciu około 370 V. Liczba rejestrowanych impulsów rośnie wraz ze wzrostem napięcia, aż do 400 V. Następnie (do ok. 570 V) liczba zliczeń nie zmienia się. Jest to najwłaściwszy zakres napięcia zasilania licznika GM (tak zwane *plateu* licznika). Powyżej 570 V licznik zaczyna rejestrować więcej impulsów, a czasami rejestruje ich bardzo wiele (wzbudza się).

Doświadczenie 3. Badanie rozpadu promieniotwórczego i wyznaczanie okresu półrozpadu.

Detektor GM pozwala wyniki badań zjawiska rozpadu promieniotwórczego wykorzystać do wyznaczania okresu półrozpadu pierwiastków, wykorzystując wzór:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

gdzie λ jest stałą rozpadu danego pierwiastka.

Okres półrozpadu to czas, w którym połowa jąder danego pierwiastka (substancji) promieniotwórczego się rozpada. Stała ta charakteryzuj pierwiastki i izotopy promieniotwórczej może być użyta w celu zidentyfikowania danej promieniotwórczej próbki.
Wykres liniowy logarytmu naturalnego stosunku liczby atomów N/N_0 (do początkowej liczby atomów (jąder) w funkcji czasu pozwala nam wyznaczyć ten okres.

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

jeżeli $t = t_{1/2}$ to $N = N_0/2$

i $\ln 2 = \lambda t_{1/2}$

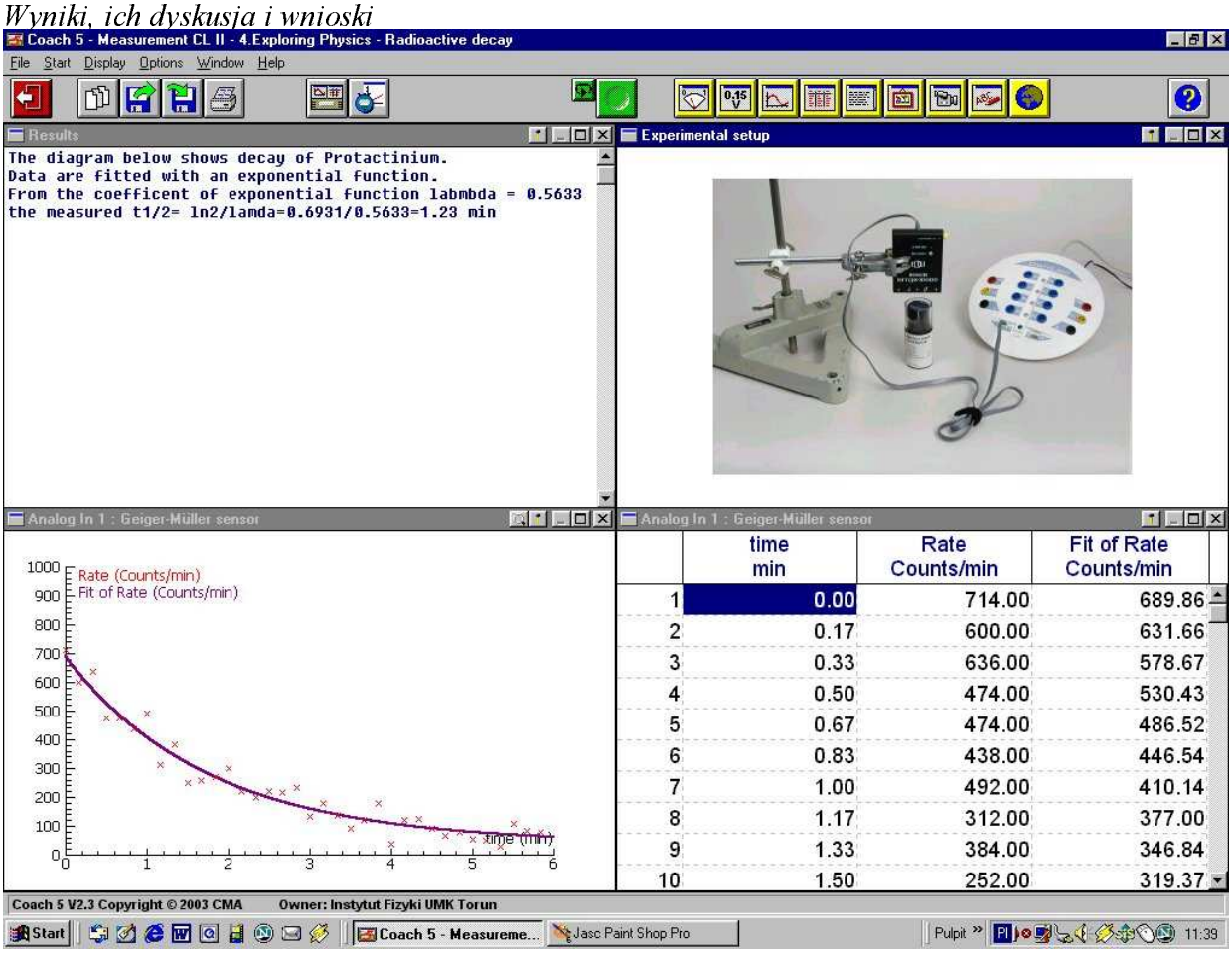
Pierwiastkiem najbardziej przydatnym do badań w warunkach szkolnych jest protaktyn, z okresem półrozpadu 72 sekund, pod warunkiem, że dysponujemy wystarczająco silnym źródło promieniowania na początku eksperymentu.

Ustawienia parametrów programu Coach 5

Ustawienia parametrów w tym doświadczeniu są prawie takie same, jak w doświadczeniu 1: Measurement setting (ustawienia pomiarowe - w zależności od rodzaju źródła promieniowania jonizującego), np.: Measuring time = 6 minutes (czas pomiaru), Measurement frequency = 6 per minute (częstotliwość pomiarów).

Procedura pomiarowa

- Podłącz licznik GM do analogowego wejścia konsoli pomiarowej Coachlab II (patrz rys. 4).
- Otwórz ćwiczenie (activity) w Coach-u odpowiednią do tego doświadczenia.
- Przygotuj pewną ilość substratów wyjściowych protaktynu, wstrząśnij je i zbliż je do licznika GM.
- Naciśnij czerwony przycisk na liczniku w celu rozpoczęcia zmiany napięcia licznika (przemiatania).
- Naciśnij zielony przycisk na panelu sterowania programu w celu rozpoczęcia pomiaru (potrwa 6 minut).
- W celu zwiększenia jakości danych należy od uzyskanych wyników odjąć promieniowanie tła.
- Zapisz i przedyskutuj otrzymane wyniki.



Rysunek 6. Układ do badań rozpadu promieniotwórczego protaktynu oraz przykładowe wyniki pomiarowe [LIT].

Jak widać z wykresu na rysunku 6, krzywa rozpadu promieniotwórczego protaktynu w funkcji czasu ma charakter wykładniczy. Aby na jej podstawie wyznaczyć okres półrozpadu, należy do eksperymentalnej krzywej dopasować eksponencjalną krzywą teoretyczną i odczytać z niej wartość okresu półrozpadu, czyli czasu po którym połowa jąder w badanej próbce się rozpada.

Doświadczenie 4. Badanie poziomu promieniowania jonizującego w różnych odległościach od źródła.

W tym eksperymencie licznikiem GM badamy poziom promieniowania jonizującego emitowanego przez dane źródło w zależności od jego odległości od źródła. Odległość od licznika do źródła mierzymy linijką.
Określamy poziom promieniowania (ilość impulsów na jednostkę czasu) przy danej odległości licznika od źródła (odległość wpisujemy za pomocą klawiatury). Po wykonaniu pomiarów sprawdzamy, czy mierzona ilość impulsów na jednostkę czasu jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości od źródła.
Koszulka Auera, zawierająca promieniotwórcze jądra toru 232 bardzo dobrze nadaje się do tego eksperymentu jako źródło.
W celu zwiększenia jakości danych należy od uzyskanych wyników odjąć promieniowanie tła.

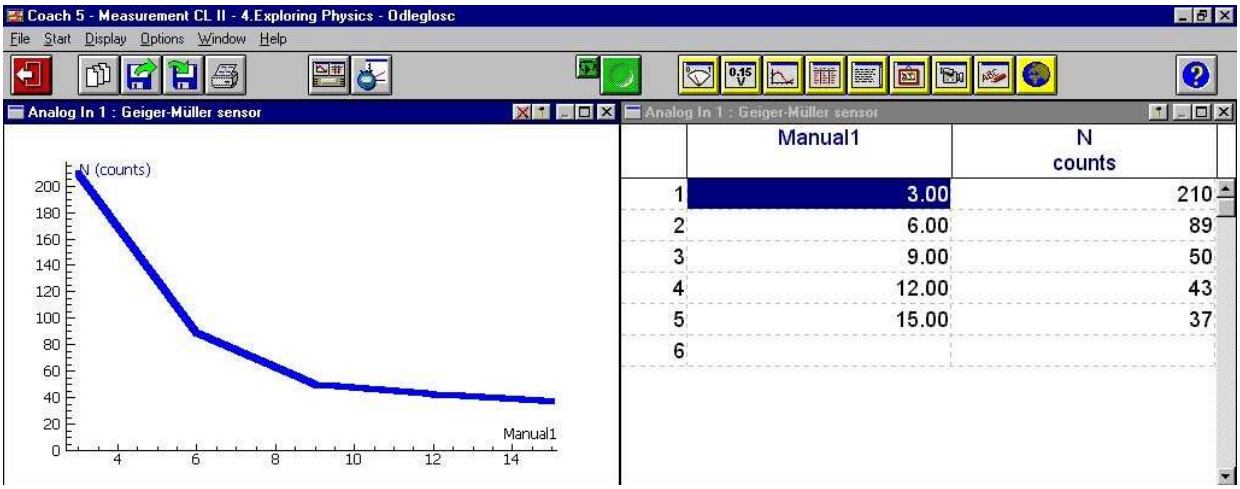
Ustawienia parametrów programu Coach 5

- Activity type (rodzaj ćwiczenia): Time based measurement.
- Sensor icon (ikona licznika): ikona Geiger-Muller sensor (029&bt)(CMA)(0...1000) powinna się znaleźć w tym samym „wejściu" na ekranie, którym rzeczywisty licznik podłączony jest do konsoli.
- Measurement setting (ustawienia pomiarowe - w zależności od rodzaju źródła promieniowania jonizującego), na przykład: Measuring time = 20 minutes (czas pomiaru), Measurement frequency = Manual with counters (częstotliwość pomiarów), Number of samples = 10 (liczba prób), Sample duration = 1 minute (czas trwania poszczególnych pomiarów)
- Table settings (tabela parametrów):

Data range (kolumna)	Connection (połączenie)	Quantity (ilość)	Unit (jednostka)
C1	Manual input	Distance (odległość)	cm
C2	Analog In:Geiger-Muller sensor Wejście analogowe: licznika GM	N (ilość)	Counts/min (ilość impulsów/min.)

Procedura pomiarowa

- Podłącz licznik GM do analogowego wejścia konsoli pomiarowej Coachlab II.
- Otwórz ćwiczenie (activity) w Coach-u odpowiednią do tego doświadczenia.
- Przygotuj pomiar klikając górny, zielony przycisk na panelu sterowania programu.
- Połóż źródło promieniowania jonizującego (np. koszulkę Auera) blisko przedniej części licznika (1 – 2 cm).
- Rozpocznij pomiar klikając górny, zielony przycisk na panelu sterowania programu z numerem "1" (pomiar potrwa minutę).
- Po zakończeniu pomiaru zwiększ odległość źródła od licznika i ponownie naciśnij zielony przycisk z numerem "1".
- Powtórz pomiary dla różnych odległości (ćwiczenie jest przygotowane do zmierzenia promieniowania dla 10 różnych odległości, ale w każdej chwili możesz przerwać pomiar klikając czerwony przycisk).
- W celu zwiększenia jakości danych należy od uzyskanych wyników odjąć promieniowanie tła.
- Zapisz i przedyskutuj otrzymane wyniki.



Rysunek 7. Zależność między poziomem promieniowania i odległością od źródła promieniowania jonizującego (koszulka Auera).

W doświadczeniu jako źródło promieniowania jonizującego zastosowano koszulkę Auera. Położono ją 3 cm od licznika, a następnie kolejno 5 razy zwiększano jej odległość od licznika o 3 cm. Zgodnie z oczekiwaniami liczba zarejestrowanych przez licznik cząstek beta i gamma, powstałych w wyniku rozpadu jąder atomowych dwutlenku toru (jednego ze składników koszulki Auera), maleje wraz z kwadratem odległości od licznika (patrz rys. 7).

Doświadczenie 5. Badanie pochłaniania promieniowania jonizującego przez różne materiały w zależności od ich rodzajów i grubości.

W tym eksperymencie badamy pochłanianie promieniowania jonizującego przez różne materiały w zależności od ich rodzaju i grubości.
Badany materiał umieszczamy pomiędzy źródłem promieniowania i licznikiem GM. Jego grubość wpisujemy za pomocą klawiatury.
Do badania promieniowania beta jako materiału pochłaniającego możemy użyć np. folii aluminiowej, a do badania promieniowania gamma płytek z ołowiu.
Intensywność mierzonego promieniowania I zmienia się wykładniczo zgodnie z zależnością (równaniem):

$$I = I_0 e^{-\mu d},$$

gdzie:

I_0 - wyjściowe natężenie promieniowania jonizującego,
d - grubość badanego materiału,
μ - stała znana jako liniowy współczynnik pochłaniania.

Podczas eksperymentu mierzy się poziom promieniowania (ilość impulsów na jednostkę czasu) dla różnych grubości materiału pochłaniającego (np. liczby warstw folii aluminiowej). Wartości grubości materiału pochłaniającego są wpisywane ręcznie z klawiatury.
W celu zwiększenia jakości danych należy od uzyskanych wyników odjąć promieniowanie tła.
Dzięki temu eksperymentowi można również porównać zdolności pochłaniania promieniowania beta (β) lub gamma (γ) różnych materiałów.

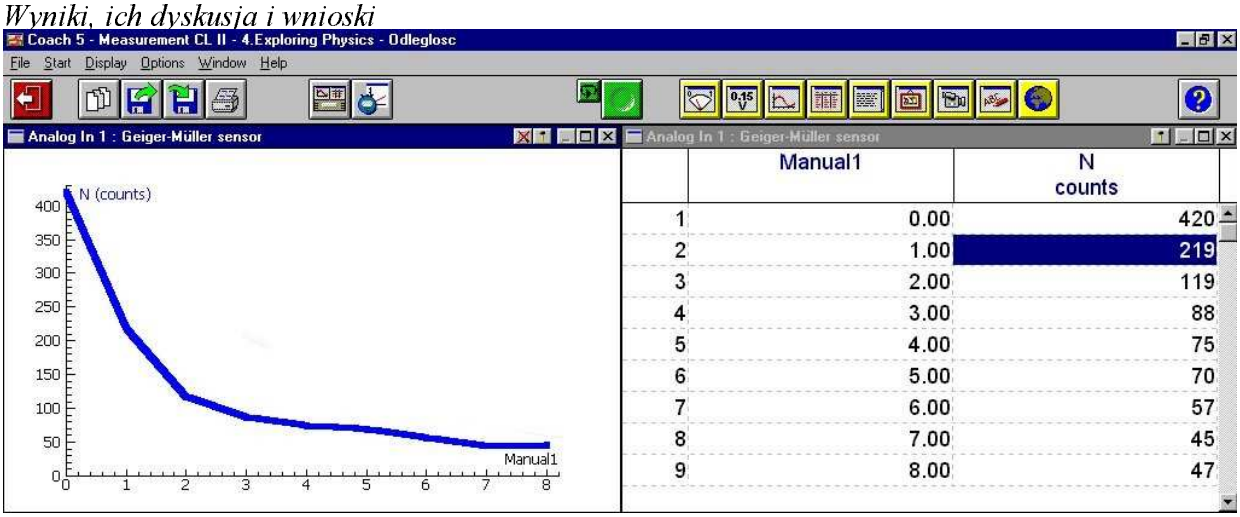
Ustawienia parametrów programu Coach 5.

- Activity type (rodzaj ćwiczenia): Time based measurement.
- Sensor icon (ikona licznika): ikona Geiger-Muller sensor (029&bt)(CMA)(0...1000)) powinna się znaleźć w tym samym „wejściu" na ekranie, którym rzeczywisty licznik podłączony jest do konsoli.
- Measurement setting (ustawienia pomiarowe - w zależności od rodzaju źródła promieniowania jonizującego), na przykład: Measuring time = 20 minutes (czas pomiaru), Measurement fraquency = Manual with counters (częstotliwość pomiarów), Number of samples = 8 (liczba pomiarów), Sample duration = 1 minute (czas poszczególnych pomiarów)
- Table settings (tabela parametrów):

Data range (kolumna)	Connection (połączenie)	Quantity (rodzaj)	Unit (jednostka)
C1	Manual input	Thickness	cm
C2	Analog In:Geiger-Muller sensor Wejście analogowe: licznika GM	N (ilość)	Counts/min (ilość impulsów/min.)

Procedura pomiarowa

- Podłącz licznik GM do analogowego wejścia konsoli pomiarowej Coachlab II.
- Otwórz ćwiczenie (activity) w Coach-u odpowiednią do tego doświadczenia.
- Naciśnij zielony przycisk na panelu sterowania programu.
- Umieść źródło promieniowania jonizującego (np. koszulkę Auera) blisko przedniej części licznika (1 - 2 cm).
- Połóż płytkę, która będzie absorbować promieniowanie jonizujące pomiędzy licznik a źródło.
- Aby rozpocząć pomiar naciśnij zielony przycisk z numerem "1" (pomiar potrwa minutę).
- Po zakończeniu pomiaru zwiększ grubość płytki absorbującej (np. poprzez dołożenie drugiej) i ponownie naciśnij zielony przycisk z numerem "1".
- Zbadaj pochłanianie promieniowania jonizującego danego materiału dla różnych jego grubości (ćwiczenie jest przygotowane do zmierzenia promieniowania dla 8 różnych grubości, ale w każdej chwili możesz przerwać pomiar klikając czerwony przycisk).
- W celu zwiększenia jakości danych należy od uzyskanych wyników odjąć promieniowanie tła.
- Zapisz i przedyskutuj otrzymane wyniki.
- Możesz sprawdzić pochłanianie promieniowania jonizującego również dla innych materiałów.



Rysunek 8. Wyniki badań poziomu promieniowania jonizującego w funkcji różnej grubości materiału pochłaniającego.

W doświadczeniu jako źródła promieniowania jonizującego użyto koszulki Auera, a jako materiału pochłaniającego cienkich, papierowych książeczek. Pierwszy pomiar wykonano bez materiału pochłaniającego. W następnych dokładano książeczki, po jednej. Wyniki, zgodnie z oczekiwaniami potwierdziły relację pomiędzy natężeniem promieniowania jonizującego, a grubością materiału pochłaniającego, z którym oddziaływuje to promieniowania (rys. 8).

Nazwy czujników w bazie danych programu Coach 5.

Licznik promieniowania jonizującego w bazie danych programu Coach 5 ma nazwę: **Geiger-Müller sensor (029&bt) (CMA) (0..1000).**
Do mierzenia napięcia pracy rurki licznika GM może być użyty czujnik **Geiger-Müller Operating Voltage sensor (029&bt Voltage)**[1]

Literatura

[1]. Centre for Microcomputer Applications, Amsterdam, The Netherlands, Geiger-Müller ionizing radiation sensor, description D029BT, Rev. 2002.
[2]. Coach 5, Measurement CL II - 4.Exploring Physics, 2003.
[3]. Red. J. Turło, Doświadczenia fizyczne wspomagane komputerowo, Skrypt PDF IF UMK, 1995.
[4]. R. Szepke, Promieniowanie jest wśród nas, WMON, 1988.
[5]. A.Z. Hrynkiewicz, Dawki i działanie biologiczne promieniowania jonizującego, PAA, W-wa – Kraków, 1993.
[6]. A.Z. Hrynkiewicz, Człowiek i promieniowanie jonizujące, Wyd. Naukowe PWN S.A., W-wa, 2001.
[7]. J. Turło, Postępy Fizyki, 51, 99 – 103, 2000.
[8]. J. Turło, R. Gołębiewski, Z. Turło, Proc. of International Workshop on Harmonisation of East-West Radiation Poll. Measurement, ed. Borton, Budapest, 324, 1995.
[9]. Z. Stojecka, Badanie promieniotwórczości naturalnej w szkole, Nauczanie przedmiotów przyrodniczych nr 5, 2002.

[1] Napięcie (300…800V) w przypadku licznika GM starego typu i napięcie (300…650V) dla nowego typu licznika.

DODATEK:

Jednostki promieniowania jonizującego

Do ilościowego określania właściwości promieniowania jonizującego w międzynarodowym układzie jednostek SI używa się jednostek, które dotyczą różnych zjawisk związanych z oddziaływaniem tego promieniowania na otoczenie.

1. Jednostką *aktywności substancji promieniotwórczej A* jest 1 Bq (bekerel), zdefiniowany jako średnia ilość rozpadów substancji promieniotwórczej na 1 sekundę. 1 Bq = 1 rozpad/s. Aktywność wyrażona w jednostkach Bq nie zależy od rodzaju rozpadu, wyzwalanej energii, czy też ilości powstających jonów. Dawniej używano jednostki kiur, 1 Ci = 3,7 x 10^{10} Bq. *Aktywnością właściwą* jest aktywność jednostki masy, objętości lub powierzchni emitujących promieniowanie jonizujące, wiec może być wyrażana w Bq/kg, Bq/m^3 lub Bq/m^2.
2. Dla określenia własności jonizacyjnych danego promieniowania używamy wielkości nazywanej *dawka ekspozycyjna X*, określającej sumaryczny ładunek powstających jonów Q na jednostkę masy m; X = Q/m. Jednostką dawki ekspozycyjnej w układzie jednostek SI jest ładunek 1 kulomba na 1 kilogram (1C/1kg) ośrodka oddziaływującego z promieniowaniem. Dawniej używano jednostki rentgen, 1 R = 2,58 x 10^{-4} C/kg.
3. Dla ilościowego określenia uszkodzeń struktury chemicznej ośrodka wielkością bardziej miarodajną jest całkowita energia E zaabsorbowana w wyniku działania promieniowania jonizującego w ośrodku o masie m. Jednostką określającą *średnią dawkę pochłoniętą D* promieniowania jonizującego, zgodnie z zależnością D = E/m, jest 1 Gy (grej). 1 Gy definiujemy jako dawkę, przy której w każdym kilogramie ośrodka zaabsorbowana jest energia 1 J, 1 Gy = 1J/1kg. Dawniej używano jednostki rad, 1 rad = 0,01 Gy.
4. W przypadku, gdy promieniowanie oddziaływuje na organizmy żywe, biologiczne skutki dawki są silnie zależne od rodzaju promieniowania, np. dla promieniowania alfa są 20-krotnie większe skutki te niż dla promieniowania gamma, beta i X, przy tej samej dawce pochłoniętej, wyrażonej w grejach. Z tego względu, dla oceny zagrożenia biologicznego wywoływanego przez promieniowanie jonizujące wykorzystujemy *równoważnik dawki pochłoniętej H*, który obliczamy mnożąc dawkę D przez stały współczynnik jakościowy Q, zależny od rodzaju promieniowania i zakresu energii, H = DQ. Jednostką równoważnika dawki pochłoniętej jest 1 Sv (siwert). Dawka wyrażona w siwertach określa energię zaabsorbowaną w ośrodku pomnożoną przez czynnik jakościowy względnej szkodliwości danego rodzaju promieniowania Q; 1 Sv = (1 J/1 kg) x Q. Dawniej używano jednostki rem, 1 rem = 10^{-2} Sv.
5. W ocenie skutków biologicznych promieniowania jonizującego należy również uwzględnić różnice wrażliwości poszczególnych narządów lub tkanek na to promieniowanie. W związku z tym wprowadza się dwa nowe pojęcia dawek*: dawka równoważna* H_T dla danego narządu lub tkanki, która jest iloczynem dawki pochłoniętej w narządzie lub tkance D_{TR} i współczynnika wagowego ω_R danego rodzaju promieniowania (patrz tab. 1), $H_T = \sum \omega_R D_{TR}$ i jest wyrażana w siwertach (Sv) oraz *dawka efektywna E*, która jest obliczana z dawki równoważnej H_T za pomocą wzoru: $E = \sum \omega_T H_T$, gdzie ω_T są czynnikami wagowymi różnych tkanek, których wartości podano w tabeli 2. Jednostką dawki efektywnej (skutecznej) jest również siwert.

Tabela 1. Czynniki wagowe promieniowania ω_R

Rodzaj i zakres energii promieniowania	ω_R
Fotony wszystkich energii	1
Elektrony i miony wszystkich energii	1
Neutrony:	
- do 10 keV	5
- od 10 do 100 keV	10
- od 100 keV do 2 MeV	20
- od 2 MeV do 20 MeV	10
- powyżej 20 MeV	5
Protony > 2 MeV	5
Cząstki α, ciężkie jony, fragmenty rozszczepienia	20

Tabela 2. Czynniki wagowe tkanek ω_T

Narząd lub tkanka	ω_T
Gruczoły płciowe, gonady	0,20
Czerwony szpik kostny	0,12
Jelito grube	0,12
Płuca	0,12
Żołądek	0,12
Pęcherz moczowy	0,05
Gruczoły sutkowe	0,05
Wątroba	0,05
Przełyk	0,05
Tarczyca	0,05
Skóra	0,01
Powierzchnia kości	0,01
Pozostałe	0,05
Całe ciało	1,00

Źródło: A.Z. Hrynkiewicz, Człowiek i promieniowanie jonizujące, Wyd. Nauk. PWN, W-wa 2001.

Skutki radioaktywnego napromienienia organizmu mogą być długoczasowe i dlatego warto znać *wartość efektywnej dawki obciążającej E(τ)*, która jest sumaryczną dawką otrzymaną przez organizm w ciągu pewnego czasu τ (przyjmuje się za τ = 50 lat dla osób dorosłych, a 70 lat dla dzieci). Wreszcie, wyobrażenie o zagrożeniu radiologicznym całej populacji poddanej działaniu promieniowania daje tzw. *efektywna dawka kolektywna*. Jest ona obliczana przez pomnożenie średniej efektywnej dawki otrzymanej przez członków napromienionej grupy ludności przez liczebność tej grupy, a następnie zsumowanie po wszystkich grupach napromienionej ludności.