

Ćwiczenie B59

Badanie rodzajów promieniowania

Potrzebne materiały i wyposażenie

- oprogramowanie rejestrujące dane
 - bezprzewodowy licznik Geigera
 - statyw
 - linijka
 - ekrany aluminiowe (folia)
 - kartki papieru
 - drewno
 - plastikowe naczynia
 - naturalne źródła promieniowania: różnego rodzaju skały, produkty spożywcze, KCl, woda.
-



Rysunek 1.

Bezprzewodowy licznik Geigera wykrywający promieniowanie jonizujące alfa (α), beta (β) i gamma (γ). Przycisk włączający urządzenie zaznaczony jest strzałką.

Bezpieczeństwo

- **naturalne źródła promieniowania powinny być przechowywane w oddzielnych opakowaniach,**
- **naturalne źródła promieniowania są bezpieczne, nie stanowią zagrożenia,**
- **praca z naturalnymi źródłami promieniowania ze względu na ich niską aktywność promieniotwórczą oraz naturalne występowanie, zgodnie z przepisami dotyczącymi ochrony przed promieniowaniem nie wymaga specjalnych pozwoleń zgodnie z Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 marca 2021 r. w sprawie przypadków, w których działalność związana z narażeniem na promieniowanie jonizujące nie wymaga zezwolenia, zgłoszenia albo powiadomienia, oraz przypadków, w których może być wykonywana na podstawie zgłoszenia albo powiadomienia.**

CEL

- wykorzystaj licznik Geigera do pomiaru natężenia promieniowania
- zbadaj, w jaki sposób promieniowanie przenika przez różnego rodzaju materiały
- wyciągnij wnioski dotyczące zdolności promieniowania do przenikania przez wybrane materiały
- porównaj natężenia promieniowania (ilość zliczeń) dla wybranych próbek badawczych.

TEORIA

Źródła promieniowania jonizującego

Promieniowanie jonizujące pochodzi ze źródeł naturalnych lub sztucznych, będących dziełem człowieka. Ponad 90% promieniowania, na które ekspozycjonowani są ludzie emitują właśnie źródła naturalne. Zaliczamy do nich występujące na Ziemi promieniotwórcze izotopy, które są obecne w skorupie ziemskiej, powietrzu, wodzie, owocach, warzywach i innych żywych organizmach jak również źródła kosmiczne, powstałe na skutek wybuchów supernowych, które emitują tzw. promieniowanie kosmiczne. Pozostała część promieniowania, która do nas trafia pochodzi głównie ze sztucznie otrzymanych radioizotopów znajdujących zastosowanie w szeroko pojętej opiece zdrowotnej lub jest związana z produkcją energii w elektrowniach jądrowych, na których opiera się również przemysł militarny. Ponadto promieniowanie jonizujące jest wciąż doceniane i chętnie wykorzystywane w diagnostyce oraz terapii medycznej. Dzięki wdrożeniu zoptymalizowanych procedur oraz odpowiednich środków bezpieczeństwa obecnie promieniowanie w takim zakresie stało się powszechnie akceptowalne bo potrafimy znacznie ograniczyć jego negatywny wpływ.

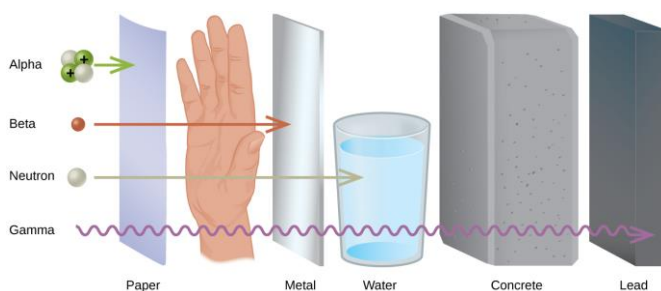
Rodzaje promieniowania jonizującego

Wyróżniamy trzy rodzaje promieniowania, które są oznaczone literami greckiego alfabetu α , β i γ . Biorąc pod uwagę mechanizm działania i efekty biologiczne dzielimy je dodatkowo na bezpośrednio i pośrednio jonizujące. Najczęściej występujące, promieniowanie jonizujące bezpośrednio α i β najłatwiej zobrazować jako strumień cząstek obdarzonych energią kinetyczną, który przenikając przez dany materiał oddziałuje bezpośrednio z jego strukturą, zaburza ją i uszkadza na płaszczyźnie chemicznej jak i biologicznej. W przypadku promieniowania γ proces jonizacji jest procesem pośrednim nieingerującym jednoznacznie w strukturę materii, z którą oddziałuje - zachodzić może rozpraszanie komptonowskie, efekt fotoelektryczny lub tworzenie się par elektron-pozyton. Wspomniane typy promieniowania różnią się od siebie zdolnością do przenikania w zależności od materiałów z którymi oddziałują (Rysunek 2). Cienka kartka papieru lub zewnętrzna część naskórka stanowi dla cząstek α barierę nie do przejścia i właśnie dlatego źródła promieniowania α stanowią duże zagrożenie dopiero w przypadku ich wdychania lub spożycia. Promieniowanie β przeniknie przez dłoń, a nawet cienką drewnianą warstwę, zostanie jednak zatrzymane przez metal o niewielkiej grubości. Promienie γ , w szczególności wysokoenergetyczne są zdecydowanie bardziej przenikliwe, mają możliwość penetracji większości materiałów i są w stanie przejść nawet przez grubą warstwę betonu. Jako ochronę przed promieniowaniem γ najczęściej stosuje się osłony wykonane z ołowiu, pierwiastka o wysokiej masie atomowej i ciasno upakowanej regularnej strukturze. Widzimy zatem, że istnieją cząstki które praktycznie nie wykazują właściwości jonizacyjnych, a sama zdolność indukowania procesu jonizacji ściśle zależy od rodzaju promieniowania.

Promieniowanie α to jądra atomów helu. Są to cząstki zbudowane z dwóch protonów i dwóch neutronów. Cząstki α powstają w wyniku przemiany jądra macierzystego na jądro pochodne o zmniejszonej liczbie atomowej w stosunku do jądra macierzystego o dwie jednostki i liczbie masowej o cztery. Cząstki α przechodząc przez materię silnie ją jonizują i tracą przy tym energię kinetyczną – przez to są mało przenikliwe. **Promieniowanie β^+** , czyli emisja pozytonów (e^+), towarzyszy rozpadom jądrowym, w których przy niezmienniej liczbie masowej liczba ładunkowa

jądra maleje o jeden. Częściej emitowane są elektrony (e^-) – mamy do czynienia wtedy z rozpadem β^- . Przy **emisji β^-** liczba masowa również nie zmienia się, ale liczba ładunkowa jądra końcowego rośnie o jedność. W przemianie β rozkład energetyczny emitowanych cząstek (ich widmo energetyczne) jest ciągły. Oznacza to, że mamy do czynienia z cząstkami od energii zerowej, aż po energię maksymalną, określoną różnicą mas jąder uczestniczących w rozpadzie. Cząstki beta na swej drodze słabiej jonizują materię i przez to są bardziej przenikliwe. Tylko **kwanty gamma (γ)**, jako promieniowanie elektromagnetyczne, w pełni usprawiedliwiają swą nazwę. Widmo promieniowania γ jest monoenergetyczne, gdyż energia jego kwantów ściśle odpowiada różnicy stanów energetycznych jądra przed i po emisji. Kwanty γ słabo reagują z materią wskutek czego są bardzo przenikliwe – gazu prawie w ogóle nie jonizują.

| Rodzaj promieniowania | Źródło | Okres półtrwania ($t_{1/2}$) |
|-----------------------|--------------|--------------------------------|
| α | Po-210 | 138 dni |
| β | Sr-90/Co-60 | 28.6 / 5.27 lat |
| γ | Co-60/Cs-137 | 5.27 / 30 lat |



Rysunek 2. Rodzaje promieniowania, źródła oraz okres półtrwania (panel lewy). Schemat przedstawiający zdolność różnych rodzajów promieniowania do przenikania przez wybrane materiały (panel prawy). Kolejność od najmniej do najbardziej przenikliwego promieniowania: alfa < beta < neutron < gamma. Na schemacie widoczne są cztery typy promieniowania przechodzące kolejno przez kartkę papieru, dłoń, arkusz metalu, szklankę z wodą, betonowy blok i gruby fragment ołowiu (źródło: *Openstax:chem.libretexts.org/Bookshelves*).

Liniowy przekaz energii

Kiedy promieniowanie jonizujące przechodzi przez materiał, na skutek oddziaływań pośrednich lub bezpośrednich stopniowo traci swoją energię. Szybkość zanikania energii jest zależna przede wszystkim od promieniowania i poziomu jego wyjściowej energii, jak również gęstości materiału przez który to promieniowanie przenika. Ilość/gęstość (stratę) energii promieniowania jonizującego zaabsorbowanej przez tkankę komórkową nazywamy **Liniowym przekazem energii (LET)** promieniowania. Jest to inaczej średnia wartość energii utraconej przeliczana na jednostkę długości drogi przebytej przez strumień promieniowania wyrażana w $\text{keV}/\mu\text{m}$. Należy zauważyć, że LET zmienia się w zależności od długości drogi pokonywanej przez naładowane cząstki (promieniowanie), ich oddziaływanie ze strukturą tkanki wywołuje utratę energii, którą niosą, co przyczynia się do ich spowolnienia. Zazwyczaj cząstki naładowane, o wyższych energiach np. α wykazują wyższą wartość LET niż promieniowanie X i γ ponieważ penetrują tkankę na niewielką głębokość, wchodząc w reakcję z dużą ilością cząsteczek materii. Właśnie dlatego promieniowanie kategorujemy na emisję o wysokiej wartości LET (promieniowanie α) i niskim LET (X i γ), której towarzyszy słaba jonizacja. Interakcje fotonów i naładowanych cząstek ze strukturą tkanki, w wyniku których słabnie energia promieniowania są losowe i mogą występować na całej długości drogi przebytej przez promieniowanie. W przypadku promieniowania o niskim LET zdarzenia deponowania energii wzdłuż toru fotonu są rzadkie w stosunku do wymiarów biocząsteczek, takich jak DNA, w wyniku czego fotony mogą przechodzić przez taką cząsteczkę bez deponowania energii.

Przechodzenie promieniowania jądrowego przez materię

Charakter absorpcji promieniowania γ jest inny niż cząstek naładowanych, takich jak β czy α . Cząstki α lub β tracą energię w nieelastycznych zderzeniach (zderzenia z atomami ośrodka i oddziaływania elektromagnetyczne), ulegając spowolnieniu, aż w końcu się zatrzymują. Zasięg tego promieniowania jest określony przez typ cząstki i rodzaj absorbenta. Promieniowanie γ nie ulega „spowolnieniu” — słabnie jedynie jego natężenie wskutek zjawiska fotoelektrycznego, rozpraszania komptonowskiego (rozpraszania na elektronach swobodnych lub słabo związanych), tworzenia par elektron – pozyton. W czasie przechodzenia przez materię promieniowania β lub γ , początkowe natężenie promieniowania I_0 maleje wykładniczo ze wzrostem grubości substancji pochłaniającej

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

gdzie I jest natężeniem promieniowania po przejściu warstwy o grubości x , a μ jest współczynnikiem pochłaniania charakteryzującym absorbent. Wymiarem μ jest m^{-1} .

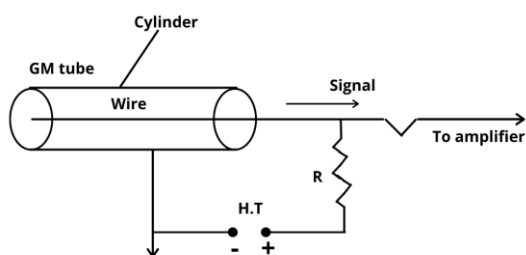
Obliczamy logarytm naturalny obu stron powyższego równania:

$$\ln N = \ln N_0 - \mu x.$$

Otrzymujemy równanie prostej Współczynnik absorpcji, μ określony jest przez nachylenie tej prostej.

Budowa i działanie licznika Geigera-Müllera

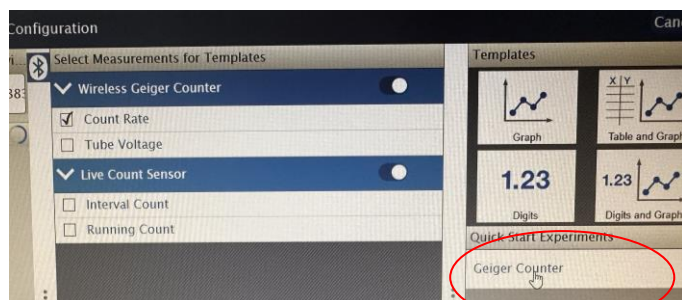
Licznik Geigera-Müllera jest gazowym detektorem promieniowania — należy do grupy detektorów jonizacyjnych. Licznik G–M ma zwykle kształt cylindrycznej rurki metalowej, wewnątrz której wzdłuż jej osi symetrii, jest umieszczony cienki drut wolframowy, osiowo umocowany wewnątrz cylindra. Cylindryczna rurka nosi nazwę katody, gdyż zawsze pracuje na potencjale niższym niż drut wolframowy, który nosi nazwę anody. Elektrody umieszczone są w szczelnym naczyniu napełnionym argonem lub powietrzem pod ciśnieniem około 20 kPa, a wejście do naczynia zamyka cienkie okienko mikowe przepuszczające promieniowanie. Na rys. 3 przedstawiono schemat aparatury elektronicznej obsługującej licznik G–M. W uproszczeniu, działanie licznika można opisać następująco: Promieniowanie przechodząc przez okienko jonizuje gaz pomiędzy elektrodami. Uwalniane w wyniku jonizacji elektrony są przyspieszane przez pole elektryczne. Przy dostatecznie silnym natężeniu pola, elektrony osiągają tak dużą energię, że wywołują kolejną jonizację. Proces rozwija się lawinowo. Podtrzymuje go promieniowanie ultrafioletowe wzbudzonych cząsteczek gazu i jony dodatnie, które mogą wybijać z katody kolejne elektrony. W celu powstrzymania wyładowania ciągłego dodaje się do gazu roboczego niewielkie ilości gazu o cząsteczkach wieloatomowych (metan, pary alkoholu), które pochłaniają promieniowanie ultrafioletowe i blokują wybijanie elektronów z katody. Po wygaśnięciu lawiny licznik gotowy jest do rejestracji następnej cząstki



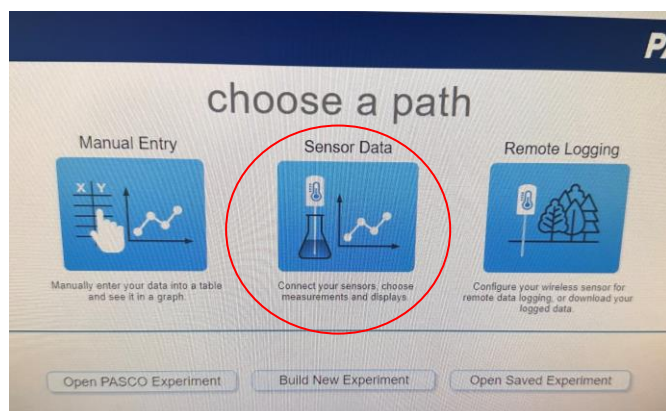
Rysunek 3. Schemat obwodu elektrycznego licznika Geigera - Müllera (źródło: physicswave.com)

WYKONANIE ĆWICZENIA

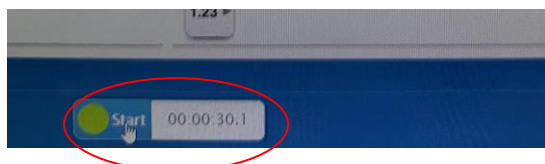
1. Włącz zasilanie stołu (patrz deska rozdzielcza stołu - przy Twojej prawej nodze, gdy siedzisz na wprost komputera) – przekręć czerwoną „gałkę” w kierunku strzałek (powinna wyskoczyć) przekręć kluczyk jak w samochodzie i puść.
2. Włącz komputer.
3. Włącz licznik Geigera-Müllera i umieść go ok. 4,5 cm nad powierzchnią blatu (mierząc od najniższego punktu).
4. Uruchom program/otwórz plik o nazwie **SPARKvue**.
5. Połącz z modułem rejestrującym dane (**Geiger-counter 030-830**).



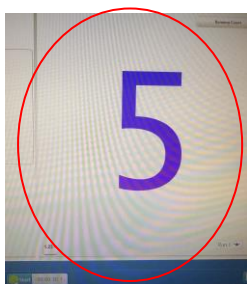
6. Wybierz ścieżkę środkową: **Sensor Data** (Dane czujnika).



7. Dźwięki alarmu mogą zostać wyłączone, naciskając przycisk włączania przez ok. 0.5 sekundy lub odznaczając pole „Enable Beeps Box” (Włącz dźwięki alarmowe) dostępne w oprogramowaniu.
8. Upewnij się, że naturalne źródła promieniowania znajdują się z dala od licznika Geigera. (Rysunek 1).
9. Ustaw interwał próbkowania na **30 s** i zaznacz pole “**Record only one interval**”(Nagrywaj tylko jeden interwał) w oprogramowaniu.



10. Rozpocznij rejestrowanie danych. Zapisywanie danych zakończy się automatycznie po 30 s. Zapisz liczbę zliczeń tła poniżej.



To tzw. liczba zliczeń **tła radiacyjnego** zarejestrowana gdy w pobliżu nie ma żadnego źródła promieniowania. Promieniowanie tła wynika z obecności niewielkich ilości pierwiastków radioaktywnych w środowisku oraz wpływu promieniowania kosmicznego, które zderza się z atomami atmosfery ziemskiej.

11. Umieść wybrane naturalne źródło promieniowania pod licznikiem Geigera.
12. Rozpocznij rejestrowanie danych. Zapisywanie danych zakończy się automatycznie po 30 s.
13. Odejmij liczbę zliczeń tła promieniowania od zarejestrowanego pomiaru. Zapisz wynik jako **zliczenia przez powietrze** dla każdego źródła w Tabeli 1. Liczbę zliczeń tła promieniowania należy odjąć od wszystkich pozostałych zarejestrowanych pomiarów przed ich zapisaniem. Jeśli po odjęciu liczby zliczeń tła wynik będzie ujemny, zapisz wartość jako zero.
14. Umieść różne materiały nad wybranymi naturalnymi źródłami promieniowania zgodnie z tabelą. Zarejestruj dane i zapisz wyniki w Tabeli 1.

Pytania dodatkowe

1. Alfa, beta i gamma to trzy najbardziej znane rodzaje promieniowania. Są one nazywane promieniowaniem jonizującym, ponieważ posiadają wystarczająco dużo energii, aby wybić elektrony z atomów i tym samym je zjonizować. Zaraz po odkryciu promieniotwórczości promieniowanie skategoryzowano pod względem przenikania przez materiały. Promieniowanie alfa charakteryzowało się najmniejszą przenikliwością. Promienie beta wnikały zdecydowanie głębiej niż alfa. Promieniowanie gamma uznano za najbardziej przenikliwe.
- a) Na podstawie danych zebranych w Tabeli 1 i 2 zidentyfikuj rodzaj promieniowania pochodzącego od każdego naturalnego źródła promieniowania wykorzystanego w ćwiczeniu i wyjaśnij swoje spostrzeżenia.
- b) Zidentyfikuj rodzaje promieniowania o niskim lub wysokim LET. Zapisz swoje spostrzeżenia w tabeli.

Tabela 2:

| Próbka radioaktywna | Przez powietrze (zliczeń/30s) | Przez papier (zliczeń/30s) | Przez aluminium (zliczeń/30s) | Przez plastikowe naczynie (zliczeń/30s) | Przez plastikowe naczynie z wodą (zliczeń/30s) | Przez drewno (zliczeń/30s) | Rodzaj promieniowania |
|---------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--|---|-------------------------------|-----------------------|
| Cs-137 | 771 | 98 | 107 | 157 | 105 | 119 | γ |
| Sr-90 | 99 | 97 | 61 | 85 | 33 | 53 | β |
| Co-60 | 33 | 31 | 22 | 28 | 26 | 27 | γ/β |

2. Cząsteczka alfa składa się z 2 protonów i 2 neutronów. Jest to inaczej szybko poruszające się jądro helu. Promienie beta to szybko poruszające się elektrony. W przypadku promieniowania gamma mówimy o fotonach. Parametry takie jak masa, ładunek i średnia energia dla każdego rodzaju promieniowania zostały przedstawione w Tabeli 3 poniżej. Na podstawie danych z Tabeli 1 i 4 wskaż, które z parametrów najbardziej wpływają na przenikliwość promieniowania. Wyjaśnij swoje rozważania.

Tabela 3: Rodzaje promieniowania

| Rodzaj promieniowania | Masa (AMU) | Ładunek (e) | Średnia energia (MeV) |
|-----------------------|------------|-------------|-----------------------|
| Alfa | 4 | +2 | ~5 |
| Beta | 0.00055 | -1 | < 1 |
| Gamma | 0 | 0 | ~1 |

3. Naturalne źródła promieniowania wykorzystywane w ćwiczeniu są bezpieczne dla ludzi ze względu na ich niską aktywność. Metody stosowane w medycynie często wykorzystują duże ilości materiałów radioaktywnych. Czy skuteczniej jest chronić pracowników medycznych i pacjentów stosując osłony, czy zwiększając dystans od źródła promieniowania? Być może zależy to od rodzaju promieniowania? Wyjaśnij swoje rozważania.