

Dozymetria promieniowania rentgenowskiego



Celem tego eksperymentu jest zbadanie zasady działania dozymetrii radiacyjnej.

Physics	Modern Physics	Nuclear & particle physics	
Physics	Modern Physics	Production & use of X-rays	
Biology	Modern Imaging Methods in Biology		
Applied Science	Medicine	Radiology & Ultrasonic Diagnostics	Computer tomography (CT)
Applied Science	Medicine	Nuclear Medicine	
 Poziom trudności	 Wielkość grupy	 Czas przygotowania	 Czas wykonania
trudny	2	45+ minuty	45+ minuty

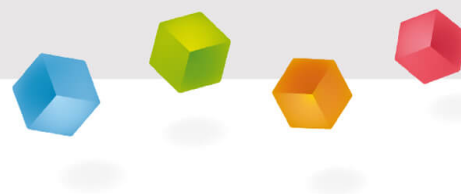
This content can also be found online at:



<http://localhost:1337/c/6173b53221459b0003929a9a>

PHYWE

Informacje ogólne



Aplikacja

PHYWE



Ustawien

Dozymetria promieniowania w dziedzinie fizyki zdrowia i ochrony przed promieniowaniem jest pomiarem, obliczaniem i oceną dawki promieniowania jonizującego pochłoniętej przez obiekt, zazwyczaj ciało ludzkie. Dotyczy to zarówno promieniowania wewnętrznego, pochodzącego od połykniętych lub wdychanych substancji radioaktywnych, jak i zewnętrznego, związanego z napromieniowaniem przez źródła promieniowania.

Ocena dozymetrii wewnętrznej opiera się na różnych technikach monitorowania, testach biologicznych lub obrazowaniu promieniowania, podczas gdy dozymetria zewnętrzna opiera się na pomiarach za pomocą dozymetru lub wnioskowaniu na podstawie pomiarów dokonanych przez inne instrumenty ochrony

Inne informacje (1/2)

PHYWE

Wcześniej



Wymagana wiedza wstępna znajduje się w części teoretycznej.

Naukowa



Dozymetria, jako podspecjalność fizyki medycznej, zajmuje się wyznaczaniem i obliczaniem wielkości dawek, co ma również duże znaczenie w świetle dyrektyw dotyczących ochrony przed promieniowaniem. Eksperyment ten demonstruje zasadę pomiaru i wyjaśnia różne jednostki dawki pochłoniętej, dawki równoważnej i współczynnika dawki pochłoniętej. Wewnątrz kondensatora płytkowego, objętość powietrza jest napromieniowywana promieniami X. Powstały w ten sposób prąd jonowy jest wykorzystywany do wyznaczania danych dozymetrycznych.

Inne informacje (2/2)

PHYWE

Cel nauki



Celem tego eksperymentu jest zbadanie zasady działania dozymetrii radiacyjnej.

Zadania



1. Wyznaczyć objętość zjonizowanego powietrza w kondensatorze.
2. Wyznaczyć prąd jonowy jako funkcję napięcia kondensatora i przy pomocy dwóch rurek membranowych o różnych średnicach apertury. Obliczyć dawkę jonów i pochłoniętą dawkę na podstawie prądu nasycenia jonów i objętości napromieniowanego powietrza.
3. Zmierzyć prądy jonowe I_C dla różnych prądów anodowych I_A przy maksymalnym napięciu anody i kondensatora.
4. Określić prądy jonowe I_C dla różnych napięć anodowych U_A przy maksymalnym prądzie anodowym i przy maksymalnym napięciu kondensatora.

Teoria (1/3)

PHYWE

Gdy promieniowanie jonizujące oddziałuje na element masy Δm część energii promieniowania ΔE jest pochłaniana. Stosunek energii pochłoniętej do masy pochłoniętej definiuje się jako dawkę pochłoniętą D .

$$D = \Delta E / \Delta m (1)$$

Jednostką SI dawki pochłoniętej jest "Gray" (Gy) [1 Gy = 1 J/kg]. Różne rodzaje promieniowania o tej samej dawce pochłoniętej mają identyczne skutki fizyczne, ale różne skutki biologiczne. W celu zapewnienia porównywalności wprowadzono dawkę równoważną H przy uwzględnieniu tzw. współczynnika jakości Q .

$$H = D \cdot Q (2)$$

Jednostką dawki równoważnej jest "siwert" (Sv): [1 Sv = 1 J/kg].

Teoria (2/3)

PHYWE

Ponieważ czas działania promieniowania jonizującego odgrywa ważną rolę w ocenie szkód spowodowanych promieniowaniem, wprowadzono na przykład wskaźnik dawki jonowej P . W przypadku dawki pochłoniętej, którą należy odróżnić od dawki równoważnej, stosuje się następującą zasadę:

$$P = dD/dt (3)$$

Odpowiadającą jednostką SI jest: 1 Gy/s = 1 J/kg s

Ponieważ pomiar energii zaabsorbowanej nie jest łatwy, mierzy się jony, które są generowane w objętości powietrza w wyniku promieniowania. W tym celu dawkę jonów I definiuje się jako iloraz wytworzonego ładunku ΔQ o podobnym znaku i masie Δm elementu objętości powietrza ΔV w normalnych warunkach.

$$I = dQ/dm [Askg^{-1}] (4)$$

Teoria (3/3)

PHYWE

Do odpowiednich jonowych wskaźników dawki j stosuje się następujące zasady:

$$j = \frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dQ}{dm} \right) = \frac{di}{dm} [Akg^{-1}] (5)$$

Zasada pomiaru:

Promieniowanie X generuje prąd w kondensatorze, gdy przyłożone jest napięcie. Wzmacniacz pomiarowy DC wykrywa ten prąd i wytwarza sygnał napięciowy U_{sig} który jest proporcjonalny do prądu. Sygnał ten jest następnie wyświetlany przez podłączony cyfrowy przyrząd pomiarowy. Przeliczanie odbywa się w następujący sposób:

$$I_c = \frac{U_{sig}}{1G\Omega}$$

Sprzęt

Stanowisko	Materiał	Nr artykułu	Ilość
1	XR 4.0 Aparat rentgenowski, 35 kV	09057-99	1
2	Element miedziany do panelu aparatu XR4	09057-51	1
3	Zestaw rozszerzający XR 4.0 X-ray Dozymetria	09175-88	1

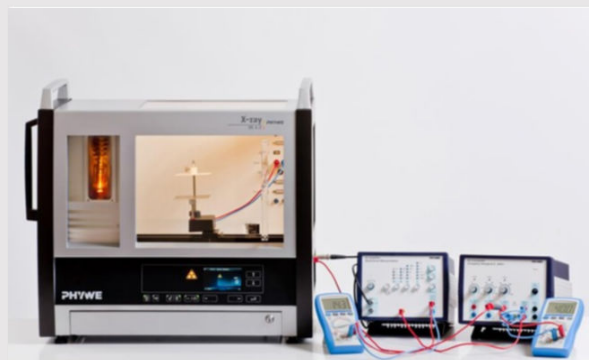
PHYWE

Konfiguracja i procedura

Ustawienie (1/4)

PHYWE

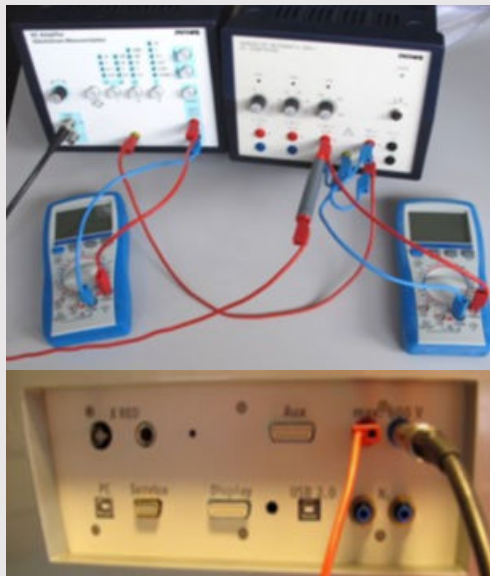
Okablowanie elementów elektrycznych pokazano na rysunkach 2-4. Rysunek 6 przedstawia schemat połączeń elektrycznych. Woltomierz cyfrowy służy do wyznaczania napięcia kondensatora U_C drugi zaś podłączony jest do wyjścia pomiarowego wzmacniacza. Dla napięć kondensatorów $U_C > 300\text{ V}$, odpowiednie wyjścia zasilacza są połączone szeregowo (patrz rys. 4a i 4b).



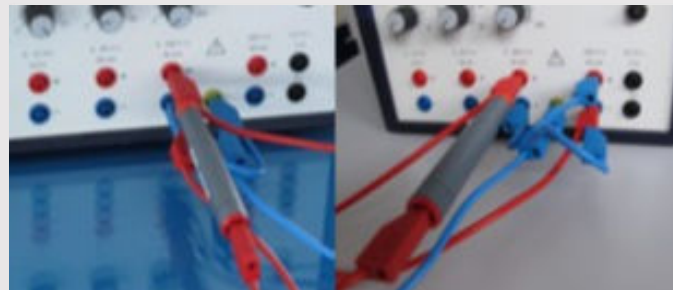
Rys. 1: Układ doświadczalny

Ustawienie (2/4)

PHYWE



Rys. 2:
Okablowanie
elementów
elektrycznych



Rys. 4: Szczegółowe okablowanie przy zasilaczu
dla pomiarów do 300 V Rys. 4b: Połączenie
szeregowe dla pomiarów do 600 V

Rys. 3:
Podłączenie
aparatu
rentgenowski

Ustawienie (3/4)

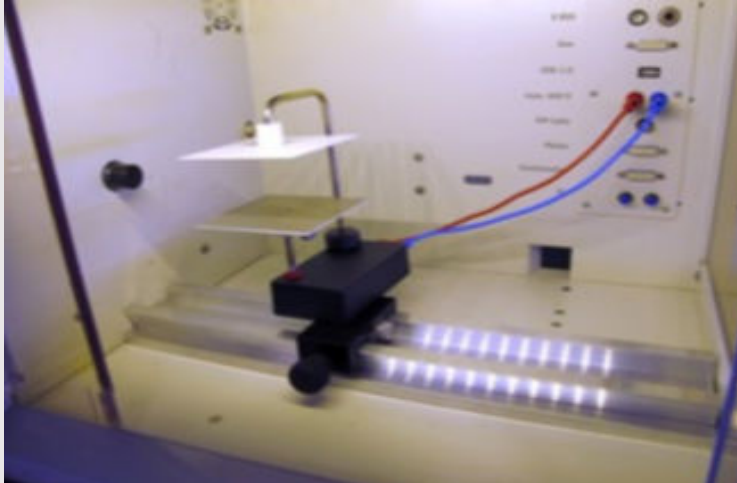
PHYWE

Podłączyć płytki kondensatora do odpowiednich gniazd adaptera. Następnie połączyć je z gniazdami w komorze eksperymentalnej za pomocą dwóch przewodów o długości 25 cm. Upewnij się, że kable nie stykają się ze sobą (Rys. 5)! Ze względów bezpieczeństwa wyjście dodatnie (czerwone) zewnętrznego bloku przyłączeniowego musi być połączone z wyjściem dodatniego napięcia zasilacza przez $50\text{ M}\Omega$ – resistor. Drugi z nich musi być podłączony do wzmacniacza pomiarowego DC poprzez adapter BNC i kabel BNC (patrz rys. 1 i 3). Wzmacniacz pomiarowy DC ustawić na "pomiar prądu". Zakres pomiarowy: 10 mA (może być regulowany za pomocą przycisków strzałek; należy również zapoznać się z instrukcją obsługi wzmacniacza pomiarowego).

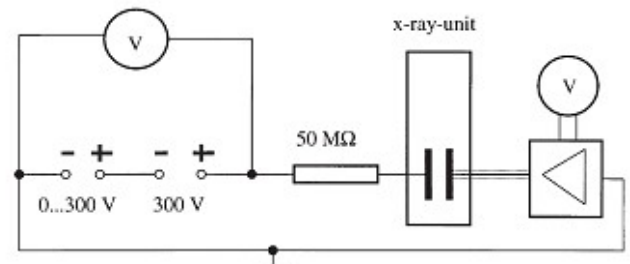
Przy maksymalnym napięciu kondensatora i bez pracującej lampy rentgenowskiej nie powinien występować prąd (w razie potrzeby wyregulować za pomocą regulatora zera wzmacniacza).

Ustawienie (4/4)

PHYWE



Rys. 5: Ustawienie i okablowanie płyt kondensatora wewnątrz komory eksperymentalnej

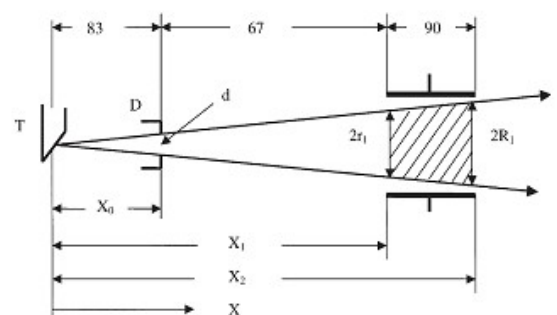


Rys. 6: Schemat połączeń do wyznaczania prądów jonowych

Procedura (1/2)

PHYWE

W celu wyznaczenia objętości napromienionego kondensatora w sposób przybliżony, niedostępna odległość x_0 (patrz rys. 7) musi być wyznaczona pośrednio. W tym celu należy usunąć kondensator i użyć różnych rurek membranowych, aby zmierzyć średnice odpowiednich wzorów świetlnych na ekranie fluorescencyjnym ($U_A = 35 \text{ kV}$ i $I_A = 1 \text{ mA}$). W tym celu komora eksperymentu musi być zaciemniona. Pozostałe odległości należy wyznaczyć przy zainstalowanym kondensatorze.



Rys. 7: Schematyczne przedstawienie geometrii wiązki do wyznaczania objętości napromienionego powietrza (wartości w mm)

Procedura (2/2)

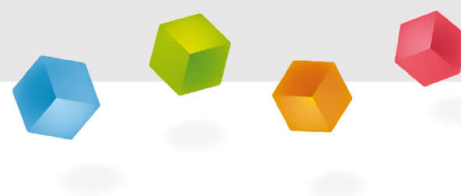
PHYWE

Zmierzyć prądy jonowe I_C z rurkami membranowymi o $d = 2\text{ mm}$ i $d = 5\text{ mm}$ w funkcji napięcia kondensatora U_C . W tym celu napięcie anodowe $U_A = 35\text{ kV}$, a prąd anodowy $I_A = 1\text{ mA}$ są utrzymywane na stałym poziomie, a napięcie kondensatora jest zwiększane w krokach co 30 do 40 V. Pomiary, które są wykonywane bez ograniczających lamp membranowych prowadzą do fałszywych wyników, ponieważ w tym przypadku promienie rentgenowskie również uderzają w płytki kondensatora, gdzie uwalniają elektrony wtórne.

Zmierzyć prąd jonizacji I_C w funkcji prądu anodowego I_A za pomocą rurki membranowej o $d = 5\text{ mm}$. W tym celu napięcie anodowe $U_A = 35\text{ kV}$, a napięcie kondensatora $U_C = 500\text{ V}$ są utrzymywane na stałym poziomie, a prąd anodowy I_A jest zwiększana od 0,1 do 1 mA w krokach co 0,1 mA.

Zmierzyć prąd jonizacji I_C w funkcji napięcia anodowego U_A za pomocą rurki membranowej o $d = 5\text{ mm}$. W tym celu prąd anodowy $I_A = 1\text{ mA}$ i napięcie kondensatora $U_C = 500\text{ V}$ są utrzymywane na stałym poziomie, a napięcie anodowe U_A jest zwiększana od 10-35 kV w krokach co 5 kV.

PHYWE



Ocena

Zadanie 1 (1/2)

PHYWE

Promieniowanie emitowane przez anodę T lampy rentgenowskiej (patrz rys. 7) jest ograniczone przez rurkę membranową o średnicy otworu d . Napromieniowuje ono objętość powietrza kondensatora płytowego w sposób stożkowy. Napromieniowana objętość powietrza wynika z rysunku 7:

$$V = \frac{\pi(X_2 - X_1)}{3}(R^2 + rR + r^2)(6)$$

o promieniach

$$r = \frac{X_1 \cdot d}{X_0}; R = X^2 \cdot dX_0(7)$$

x_0 można wyznaczyć za pomocą twierdzenia o przecinających się liniach na podstawie średnic wzorców świetlnych, które zostały zmierzone w zadaniu 1.

Zadanie 1 (2/2)

PHYWE

W naszym przypadku wartość średnia wynosi:

$$x_0 = 6,65 \text{ cm}, x_1 = 12,95 \text{ cm}, x_2 = 20,85 \text{ cm}$$

Dla $d = 2 \text{ mm}$ (2-mm rura membranowa) otrzymujemy następujące wyniki:

$$r = 0,39 \text{ cm}, R = 0,63, V = 6.57 \text{ cm}^3$$

Dla $d = 5 \text{ mm}$ (2-mm rura membranowa) otrzymujemy następujące wyniki:

$$r = 0,97 \text{ cm}, R = 1,57, V = 40.76 \text{ cm}^3$$

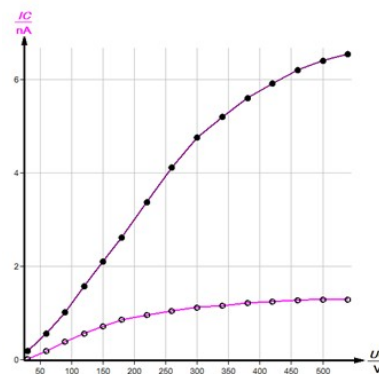
Zadanie 2 (1/3)

PHYWE

Rysunek 8 przedstawia prąd kondensatora I_C w funkcji napięcia kondensatora U_C dla dwóch różnych objętości napromieniowanych.

Obliczanie dawki jonów

Aby móc określić dawkę jonów promieniowania rentgenowskiego, napromieniowuje się objętość powietrza, która jest zamknięta w kondensatorze płytkowym. Generowane elektrony i jony dodatnie wytwarzają prąd w kondensatorze. Prąd ten wzrasta wraz ze wzrostem napięcia, zanim osiągnie strefę nasycenia, w której wszystkie generowane nośniki ładunku przyczyniają się do powstania prądu.



Rys. 8: Prąd jonizacji I_C w funkcji napięcia kondensatora U_C Lampa rentgenowska: $U_A = 35$ kV; $I_A = 1$ mA Krzywa A: rura membranowa $d = 5$ mm Krzywa B: rura membranowa $d = 2$ mm.

Zadanie 2 (2/3)

PHYWE

Na podstawie wartości prądu nasycenia z Rys. 8 (dla krzywej A prąd nasycenia wynosi 6.7 nA i jest wynikiem ekstrapolacji) oraz wartości z zadania 1 otrzymujemy następujące wartości dawki jonów zgodnie z (5):

$$d = 0.5 \text{ cm} : j_m = \frac{I_{Csaturation}}{m_{air}} = \frac{I_{Csaturation}}{\rho_{air} \cdot V} = \frac{6.7 \cdot 10^{-9} \text{ A}}{1.2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \cdot 40.76 \text{ cm}^3} = 1.4 \cdot 10^{-4} \text{ A kg}^{-1} \quad (8)$$

$$d = 0.2 \text{ cm} : j_m = \frac{1.29 \cdot 10^{-9}}{1.2 \cdot 10^{-6} \cdot 6.57} \text{ A kg}^{-1} = 1.6 \cdot 10^{-4} \text{ A kg}^{-1}$$

(Gęstość powietrza w temperaturze 20°C i ciśnieniu 1,013 hPa: $\rho = 1.2 \cdot 10^{-6} \text{ kg cm}^{-3}$)

Zadanie 2 (3/3)

PHYWE

Obliczanie dawki pochłoniętej

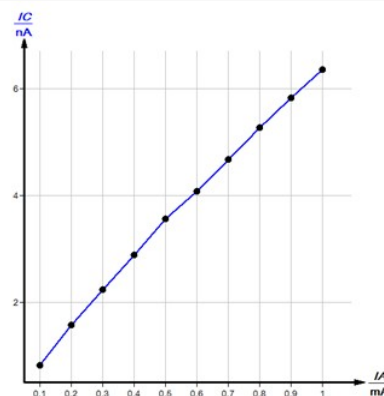
Dzieląc średnią wartość dawek jonów (wyznaczoną powyżej) przez ładunek elementarny e podaje liczbę jonów n generowane w jednostce czasu i masy. Energia jonizacji Φ cząsteczki powietrza wynosi w przybliżeniu $\Phi \approx 33\text{eV} = 52.8 \cdot 10^{-19}\text{J}$. Zgodnie z (1) i (3) oraz na podstawie średniej wartości dla j które zostały obliczone powyżej, średnia dawka pochłonięta w przeliczeniu na czas i jednostkę masy daje następujące wyniki:

$$P_m = \frac{D}{t} = \frac{W}{m \cdot t} = n \cdot \Phi = \frac{1.5 \cdot 10^{-4} \cdot 52.8 \cdot 10^{-19}}{1.6 \cdot 10^{-19}} \text{Jkg}^{-1} \text{s}^{-1} = 4.95 \cdot 10^{-3} \text{Jkg}^{-1} \text{s}^{-1} (9)$$

Zadanie 3

PHYWE

Na rysunku 9 przedstawiono przebieg liniowy prądu jonizacji w funkcji prądu anodowego ($U_A = \text{const.}$ i $U_C = \text{const.}$).

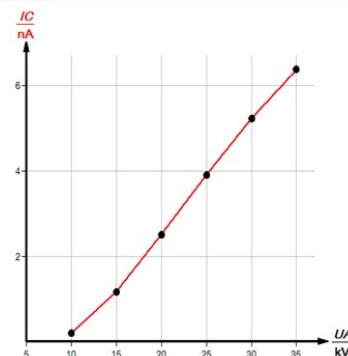


Rys. 9: Prąd jonizacji I_C w funkcji prądu anodowego I_A . Napięcie anodowe $U_A = 35\text{ kV}$. Napięcie kondensatora $U_C = 500\text{ V}$. Rurka membrany $d = 5\text{ mm}$.

Zadanie 4

PHYWE

Rysunek 10 przedstawia przebieg funkcji $I_c = f(U_A)$ dla różnych napięć anodowych U_A . Ekstrapolacja krzywej $I_c = f(U_A)$ w kierunku mniejszych U_A (Rys. 9) pokazuje, że dla $U_A < 8$ kV nie są generowane żadne promieniowania rentgenowskie.



Rys. 10: Prąd jonizacji I_c w funkcji napięcia anodowego U_A ; Prąd anodowy $I_A = 1$ mA; Napięcie kondensatora $U_c = 500$ V; Rurka membrany $d = 5$ mm