Jaki wpływ ma promieniowanie jonizujące na materię?

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film edukacyjny i wywiad z ekspertem
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

Czy to nie ciekawe?

Promieniowanie jonizujące to przede wszystkim promieniowanie alfa, beta i gamma. Źródła tego promieniowania znajdują się w naszym najbliższym otoczeniu: ścianach budynków, glebie, wodzie, także w ciele człowieka. Promieniowanie dociera również na Ziemię z przestrzeni kosmicznej. Dawki promieniowania, które występują zazwyczaj w naszym środowisku nie wpływają istotnie na organizmy żywe i materię (przez termin materia w tym e-materiale będziemy rozumieć materię nieożywioną). Jednak już w przypadku lotów kosmicznych należy uwzględniać, przy projektowaniu aparatury, wpływ promieniowania na jej działanie. Wpływ promieniowania na materię jest także wykorzystywany do detekcji promieniowania.

Twoje cele

- dowiesz się, jakie są podstawowe rodzaje promieniowania jonizującego;
- poznasz wielkości fizyczne opisujące ilość emitowanego i pochłanianego promieniowania;
- poznasz możliwe skutki wpływu promieniowania na materię;
- zrozumiesz, jak i dlaczego promieniowanie wpływa na materię;
- zastosujesz zdobytą wiedzę do rozwiązywania problemów.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Promieniowanie jonizujące, to przede wszystkim promieniowanie alfa (α) – jądra helu $^{4}_{2}\mathrm{He}$, beta (β) – strumień elektronów, strumień neutronów i gamma (γ) – promieniowanie elektromagnetyczne. Promieniowanie to jest emitowane przez jądra naturalnych izotopów promieniotwórczych znajdujące się w naszym otoczeniu: w ścianach budynków, skałach, glebie, pożywieniu, powietrzu i wodzie. Liczbę cząstek promieniowania wytwarzanego w próbce materiału opisuje się wielkością fizyczną nazywaną **aktywnością promieniotwórczą**. Symbolem aktywności jest litera A. Jednostką aktywności jest bekerel o symbolu Bq. Próbka ma aktywności 1 Bq, jeżeli zachodzi w niej jeden rozpad w ciągu sekundy.

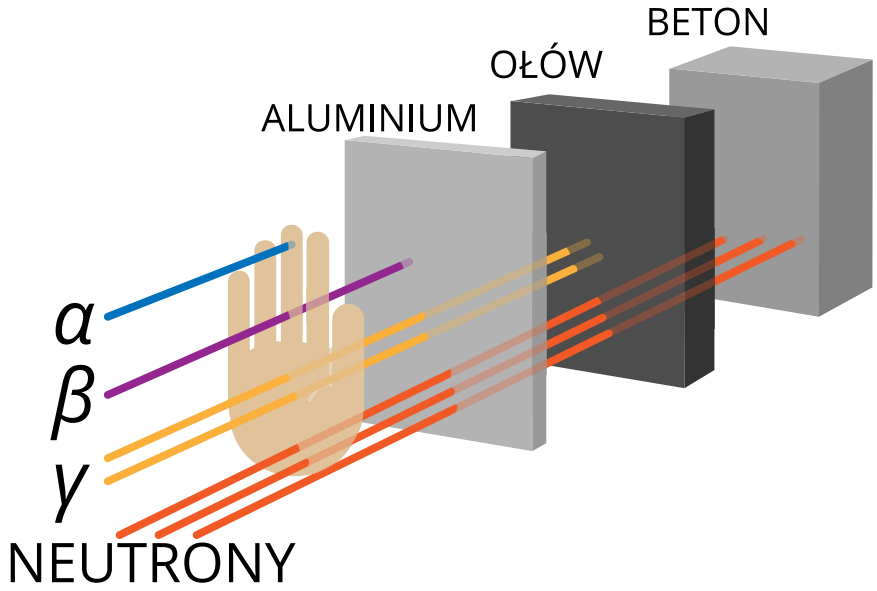
Przykładowe naturalne źródła promieniowania i ich aktywności promieniotwórcze przedstawia tabela na Rys. 1.

Źródło	**Aktywność promieniotwórcza**
banan	125 Bq/kg
mleko	50 Bq/l
woda morska	12 Bq/l
granit	7 000 Bq/kg
popiół węglowy	2 000 Bq/kg
dorosła osoba (70 kg)	8 000 Bq

Rys. 1. Przykładowe aktywności naturalnych źródeł promieniowania. Głównym źródłem promieniowania w ciele człowieka są jądra potasu $^{40}_{19}K$ i węgla $^{14}_{12}C$ (https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniotw%C3%B3rczo%C5%9B%C4%87_naturalna)

Energię, jaką ośrodek uzyskał od promieniowania opisuje wielkość nazywana dawką pochłoniętą. Oznacza się literą ją literą D. Jednostką dawki jest grej, symbol Gy. Ośrodek pochłoną dawkę 1 Gy, jeżeli 1 kg ośrodka uzyskał od promieniowania 1 J energii. W wyniku pochłaniania promieniowania rośnie jego temperatura, niekiedy również występuje świecenie.

Przenikanie promieniowania przez materiały można zilustrować jak na Rys. 2.



Rys. 2. Przenikanie różnego rodzaju promieniowania przez materię. Rysunek pokazuje orientacyjnie, jaki materiał jest w stanie zatrzymać wiązkę promieniowania danego rodzaju: promieniowanie alfa może być zatrzymane przez naskórek ręki, beta – przez płytę aluminiową, gamma – płytę ołowianą. Najtrudniej zatrzymać jest strumień neutronów – potrzebna do tego jest gruba warstwa betonu.

Oddziaływanie promieniowania jonizującego rzadko prowadzi do reakcji jądrowych. Reakcje jądrowe wywołują przede wszystkim neutrony, które nie oddziałują elektrycznie. Takie reakcje zachodzą na przykład w górnych warstwach atmosfery pod wpływem promieniowania kosmicznego, które oddziałując z jądrami atomów atmosfery powoduje uwolnienie neutronów. Dzięki temu powstają na przykład izotop węgla ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ i izotop wodoru – tryt ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$:

$$ {}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{14}_{7}\mathrm{N} \rightarrow {}^{14}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} $$

$$ {}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{14}_{7}\mathrm{N} \rightarrow {}^{12}_{6}\mathrm{C} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} $$

Zazwyczaj promieniowanie jonizujące oddziałuje z elektronami materii, wybijając je z atomów, nawet z wewnętrznych powłok atomowych czyli powoduje jonizację atomów. Promieniowanie może także wzbudzać elektrony, czyli powodować ich przeniesienie na wyższe poziomy energetyczne. Promieniowanie może również rozrywać wiązania chemiczne w cząsteczkach. Elektrony oderwane od atomów, gdy uzyskają dostatecznie dużą energię mogą powodować kolejne jonizacje. Miarą gęstości jonizacji jest współczynnik LET równy stratom energii promieniowania na jednostkę drogi

$$ LET = \frac{\Delta E}{\Delta x}, $$

gdzie ΔE – straty energii promieniowania Δx – odległość, na której nastąpiły straty. Dużą jonizację na jednostkę długości powodują cząstki alfa, protony i ciężkie jony, znacznie mniejszą elektrony i promieniowanie gamma lub X i neutrony.

Sposób oddziaływania promieniowania zależy od rodzaju i energii promieniowania, a także od właściwości ośrodka.

Fotony promieniowania gamma mogą przekazać całą lub część swojej energii elektronom materii, powodując jonizację. Przy dostatecznie dużej energii fotony gamma mogą także stworzyć pary elektron pozyton. Taka możliwość wynika z równoważności masy i energii opisanej wzorem Einsteina

$$E = mc^2,$$

gdzie E to wielkość energii, m – odpowiadająca jej masa a c – prędkość światła w próżni.

Pozyton dosyć szybko ulega anihilacji z elektronem ośrodka, czemu towarzyszy powstanie pary fotonów o energii niższej niż energia wyjściowego fotonu, elektron może powodować jonizację.

Promieniowanie beta – strumień elektronów – może wybijać elektrony z atomów, ale także emisje promieniowania hamowania wynikającego z oddziaływania elektronu z jądrami atomowymi.

Cząstki alfa oddziałują głównie z elektronami ośrodka za pośrednictwem sił elektrycznych. Skutkiem tych oddziaływań jest przede wszystkim wybijanie elektronów. Cząstka alfa może powodować na swojej drodze wiele jonizacji. Często również elektrony wybite z atomów przez promieniowanie uzyskują od niego dostatecznie dużą energię, aby wybijać kolejne elektrony.

Zazwyczaj po ustaniu promieniowania następuje rekombinacja – elektrony łączą się z powstałymi jonami. Zjonizowane atomy i cząstki mogą także wchodzić w reakcje chemiczne. Ta możliwość jest wykorzystywana na przykład do syntezy niektórych związków chemicznych, między innymi w reakcjach polimeryzacji. W ciałach stałych, poza jonizacją, promieniowanie powoduje wbijanie atomów z ich miejsc w sieci krystalicznej, generując w ten sposób defekty sieci krystalicznej. Powoduje to zmianę właściwości fizycznych materiału: gęstości, twardości, przewodnictwa elektrycznego itd. Ma to szczególne znaczenie dla urządzeniach wykorzystujących materiały półprzewodnikowe. Promieniowanie może między innymi skutkować zmniejszeniem sprawności ogniw słonecznych. Jonizacja w pobliżu złącza półprzewodnikowego p-n może powodować powstanie impulsu prądu, który może zostać wzmocniony w układach elektronicznych i w rezultacie doprowadzić do zniszczenia elementu niezabezpieczonego.

Promieniowanie może także powodować zmianę stanu logicznego w układach cyfrowych – zmienić stan 0 na stan 1 lub odwrotnie. Może także niszczyć zapis na nośnikach pamięci.

Wpływ promieniowania jonizującego należy szczególnie uwzględniać w urządzeniach przeznaczonych do pracy w przestrzeni kosmicznej: sztucznych satelitach Ziemi i sondach kosmicznych.

Słowniczek

Izotopy

(ang. *isotope*) – odmienne postacie atomów pierwiastka chemicznego, różniące się liczbą neutronów w jądrze (z definicji atomy tego samego pierwiastka mają tę samą liczbę protonów w jądrze). Izotopy tego samego pierwiastka różnią się liczbą masową (łączną liczbą neutronów i protonów w jądrze), ale mają tę samą liczbę atomową (liczbę protonów w jądrze) (wikipedia)

Izotopy promieniotwórcze radioizotopy, radionuklidy

(ang. *radioactive isotopes, radioisotopes, radionuclides*) – odmiany pierwiastków (izotopy), których jądra atomów są niestabilne i samorzutnie ulegają przemianie promieniotwórczej. W wyniku tej przemiany powstają inne jądra atomowe, emitowane są cząstki elementarne, a także uwalniana jest energia w postaci energii kinetycznej produktów przemiany oraz przeważnie (choć nie zawsze) emitowane jest promieniowanie gamma. (wikipedia)

Megaelektronowolt, MeV

(ang. *megaelectronvolt*) – jednostka energii stosowana przy opisie cząstek elementarnych 1 MeV = 10^6 eV = $10^6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J = $1{,}6 \cdot 10^{-13}$ J.

Promieniowanie Czerenkowa

(ang. *Cherenkov radiation*) – promieniowanie elektromagnetyczne emitowane, gdy naładowana cząstka (np. elektron) porusza się w ośrodku materialnym z prędkością większą od prędkości fazowej światła w tym ośrodku. Fala elektromagnetyczna jest emitowana tylko w ściśle określonym kierunku leżącym pod kątem ostrym do kierunku ruchu cząstki. Nazwa tego typu promieniowania pochodzi od nazwiska rosyjskiego fizyka Pawła A. Czerenkowa, który opisał to zjawisko fizyczne. Popularną analogią jest przyrównanie tego zjawiska do uderzenia dźwiękowego (fali uderzeniowej), wywołanego przez ciało poruszające się z prędkością ponaddźwiękową. (wikipedia)

Promieniowanie hamowania

(ang. *brake radiation*) – promieniowanie elektromagnetyczne powstające podczas hamowania cząstki obdarzonej ładunkiem elektrycznym w polu jądra atomowego, której tor lotu został zmieniony za skutek oddziaływań z polem elektrycznym jądra. Promieniowanie to jest jedną z dróg utraty energii przez poruszającą się naładowaną cząstkę. Widmo promieniowania jest w przybliżeniu równomierne w całym zakresie częstotliwości. Zakres częstotliwości rozciąga się od 0 do częstotliwości maksymalnej określonej wzorem $\nu = \frac{E_k}{h}$. Gdzie ν – częstotliwość promieniowania, E_k – energia kinetyczna elektronów, h – stała Plancka. Promieniowanie jest emitowane w wąskim stożku w kierunku ruchu elektronów. Im większa prędkość elektronów, tym mniejszy jest kąt rozwarcia stożka. (wikipedia)

Złącze p-n

(ang. *p-n junction*) – złącze dwóch półprzewodników niesamoistnych o różnych typach przewodnictwa: *p* i *n*. Dioda półprzewodnikowa zbudowana jest z dwóch rodzajów półprzewodników domieszkowanych - jeden typu p, drugi typu n. W obszarze typu *n* (negative) *nośnikami większościowymi* są elektrony (ujemne). Atomy domieszek (*donory*) pozostają unieruchomione w sieci krystalicznej. Analogicznie w obszarze typu *p* (positive) nośnikami większościowymi są dziury o ładunku elektrycznym dodatnim. Atomy domieszek są tu *akceptorami*. W półprzewodnikach obu typów występują także *nośniki mniejszościowe* przeciwnego znaku niż większościowe; koncentracja nośników mniejszościowych jest dużo mniejsza niż większościowych. (Wikipedia)

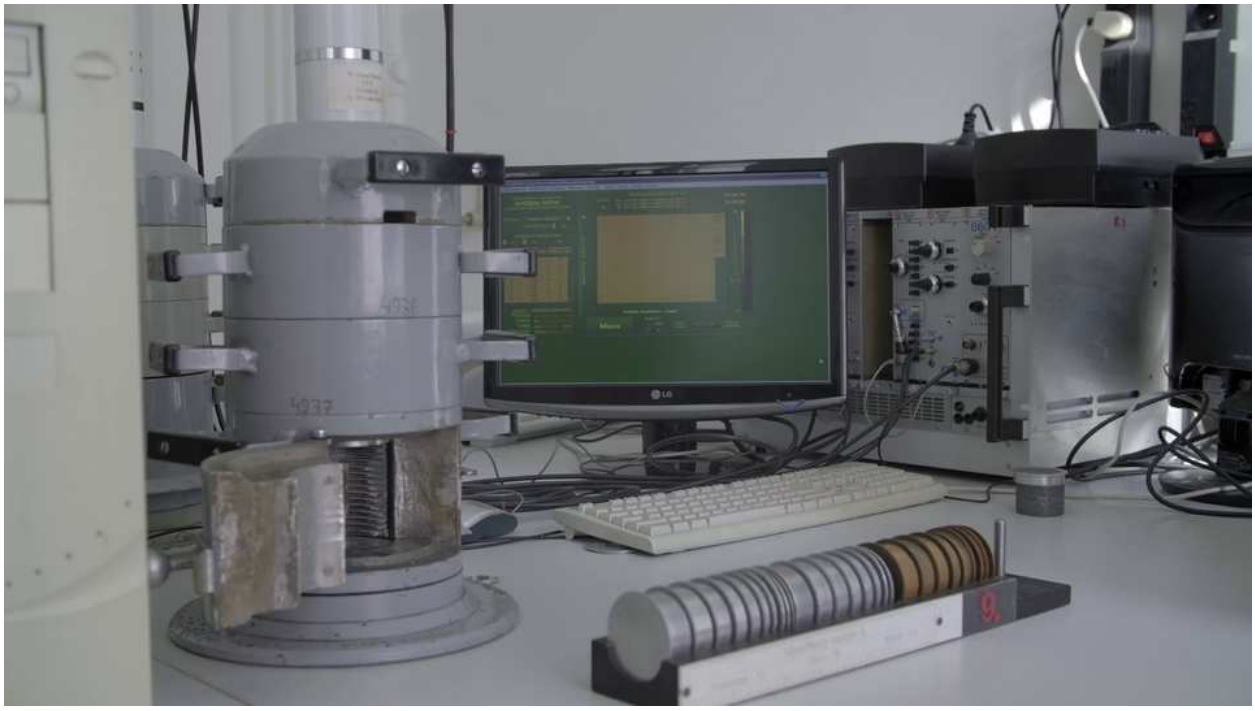
Fotony gamma

(ang. *gamma photons*) – wysokoenergetyczne fotony promieniowania elektromagnetycznego, o długości fali poniżej 0,1 nm, towarzyszą zazwyczaj przemianom jądrowym.

Film edukacyjny i wywiad z ekspertem

Jaki wpływ ma promieniowanie jonizujące na materię?

Film pokazuje, w jaki sposób bada się osłabienie promieniowania gamma po przejściu przez absorbenty wykonane z różnych materiałów i o różnej grubości. Wyniki eksperymentu przedstawiono w tabeli oraz zobrazowano na wykresie, który ułatwia wyciągnięcie wniosków z doświadczenia. Pokazano też schemat pomagający w zapamiętaniu, które materiał pochłaniają promieniowanie gamma w największym, a które w najmniejszym stopniu.



Film dostępny pod adresem /preview/resource/Rm2XjWOntTGin

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Zapoznaj się z audiodeskrypcją filmu.

Zapoznaj się także z wywiadem Angeliki Tefelskiej z ekspertem z Europejskiego Źródła Spalacyjnego (ang.: *European Spallation Source*), dr Holgerem Tietze-Jaenschem, na temat tego, czym jest promieniowanie jonizujące oraz jaki jest jego wpływ na

organizmy żywe. Poruszana jest także kwestia naturalnych i sztucznych źródeł tego promieniowania, a także testowania żywności pod względem promieniotwórczości.

Wywiad przeprowadzony jest w języku angielskim, ale możesz włączyć napisy po polsku za pomocą ikony u dołu ekranu.

Film dostępny pod adresem /preview/resource/RWTFfx0CPwK9D

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Wywiad prowadzony w języku angielskim przez Angelikę Tefelską z dr Holgerem Tietze-Jaensch. Dostępne są również napisy w języku angielskim.

Film dostępny pod adresem /preview/resource/R1WvDdWP0UJm2

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Oryginalny wywiad w języku angielskim, prowadzony przez Angelikę Tefelską z dr Holgerem Tietze-Jaensch, został zastąpiony ścieżką dźwiękową w języku polskim. Dostępne są również napisy w języku polskim.

Polecenie 1

Ekspert, z którym przeprowadzono wywiad, pracuje w ośrodku badawczym w Lund w Szwecji, który nosi nazwę Europejskie Źródło Spalacyjne. Sprawdź, czym zajmuje się ten ośrodek i wybierz właściwe określenie pojęcia „spalacja”.

- ○ Spalacja, to proces spalania substancji radioaktywnych w obecności tlenu, przeprowadzany w celu dezaktywacji przemysłowych odpadów promieniotwórczych.
- ○ Spalacja, to proces kruszenia minerałów zawierających pierwiastki promieniotwórcze, stosowany w celu uzyskania czystego paliwa jądrowego.
- ○ Spalacja to proces zmniejszenia masy atomowej jądra atomowego, w wyniku bombardowania go protonami o bardzo dużej energii, połączony z emisją kilku nukleonów.

Polecenie 2

Wykonując pomiary absorpcji promieniowania gamma opisane w pierwszym filmie, na początku doświadczenia przeprowadzono pomiar promieniowania tła. Analizując drugi film (wywiad), wpisz w wyznaczonym miejscu odpowiedź na pytanie: skąd pochodzi to promieniowanie?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

Zaznacz prawidłową odpowiedź. Źródła promieniowania jonizującego występują:

- tylko w laboratoriach fizycznych
- tylko w elektrowniach jądrowych
- wszędzie
- tylko w laboratoriach naukowych i elektrowniach jądrowych

Ćwiczenie 2

Uszereguj podane typy promieniowania zgodnie z rosnącą przenikliwością:

- promieniowanie gamma
- strumień cząstek alfa
- strumień neutronów
- strumień elektronów

Ćwiczenie 3

W tabeli przedstawiony jest zasięg promieniowania beta w różnych ośrodkach

Energia elektronu [MeV]	Prędkość w próżni [% c]	Zasięg w powietrzu [cm]	Zasięg w wodzie [cm]	Zasięg w pleksi [cm]
1	0,941	320	0,4	0,35
2	0,979	750	0,9	0,8
5	0,996	1995	2,5	2,15
10	0,999	6065	5,2	4,38

Na podstawie danych z tabeli uzupełnij zdanie:

Zaokrąglając wyniki do liczb całkowitych możemy stwierdzić, że dla energii promieniowania beta 1 MeV zasięg w powietrzu jest _____ razy większy niż w wodzie, a dla energii 10 MeV _____ razy większy.

Ćwiczenie 4

W tabeli przedstawiony jest zasięg promieniowania alfa w różnych ośrodkach

Energia [MeV]	Prędkość w próżni[% c]	Zasięg w powietrzu [cm]	Zasięg w tkance [cm]	Zasięg w lekkim materiale [mg/cm2]
2	0,0400	1,57	0,0023	2
4	0,0461	2,36	0,0034	3
5	0,0515	3,15	0,0047	4
6	0,0565	4,33	0,0061	5,5
7	0,0610	5,67	0,0079	7,2
8	0,0652	7,09	0,0096	9
9	0,0691	8,42	0,0116	10,7

10	0,0728	9,21	0,0134	11,7

Na podstawie danych z tabeli uzupełnij zdanie:

Zaokrąglając wyniki do trzech cyfr znaczących możemy stwierdzić, że w powietrzu zasięg promieniowania alfa o energii 10 MeV jest _____ razy większy niż promieniowania alfa o energii 5 MeV, w tkance _____ razy większy.

Ćwiczenie 5

W tabeli zestawiono zasięgi w powietrzu promieniowania alfa i beta w powietrzu. Oblicz stosunek zasięgów w powietrzu promieniowania beta do zasięgu promieniowania alfa, dla energii promieniowania 5 MeV i 10 MeV.

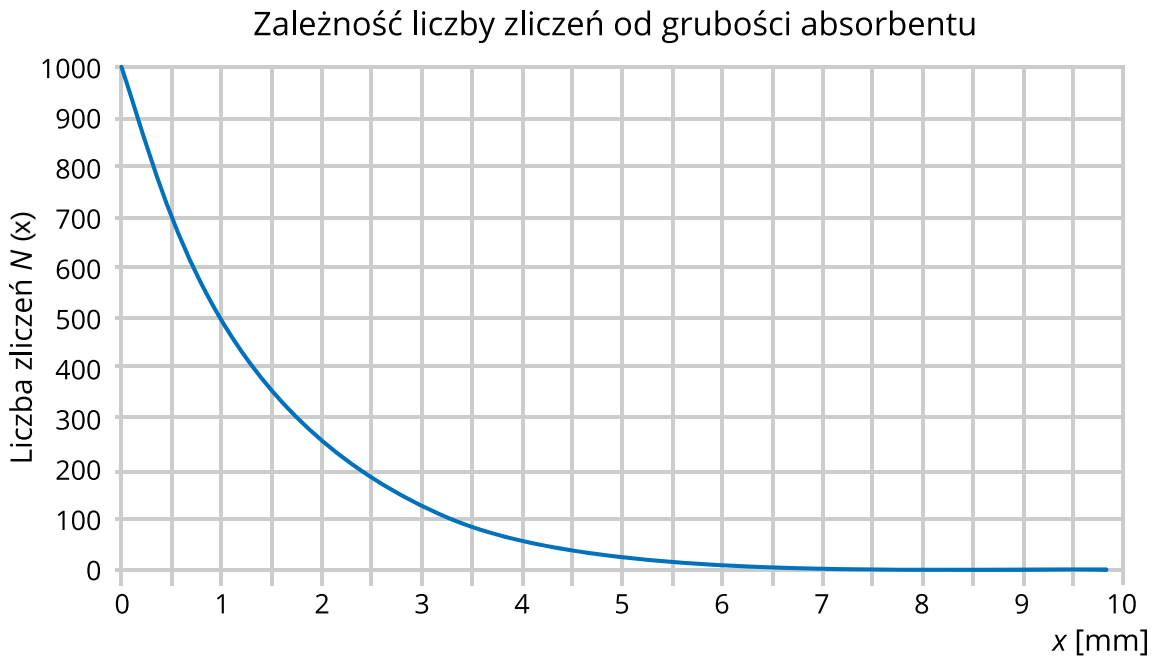
Energia [MeV]	**Zasięg promieniowania alfa w powietrzu [cm]**	**Zasięg promieniowania beta w powietrzu [cm]**
5	3,15	1995
10	9,21	6065

Na podstawie danych z tabeli uzupełnij zdanie:

Zaokrąglając wyniki do liczb całkowitych możemy stwierdzić, że dla energii promieniowania 5 MeV stosunek zasięgu promieniowania beta w powietrzu do zasięgu promieniowania alfa wynosi _____, a dla energii promieniowania 10 MeV ten stosunek wynosi _____.

Ćwiczenie 6

Przenikanie promieniowania gamma przez materię można opisać wykresem:



Rys. Liczba zarejestrowanych fotonów gamma w zależności od grubości absorbentu (ośrodka pochłaniającego), przez który przenikało to promieniowanie

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Sprawdź, czy przy wzroście grubości warstwy absorbentu o 1 mm liczba zliczeń fotonów opisująca natężenie promieniowania maleje dwukrotnie.

Wzrost grubości warstwy absorbentu o 1 mm powoduje dwukrotne zmniejszenie liczby zliczeń fotonów. TAK ☐ / NIE ☐

Ćwiczenie 7

Uzupełnij zdanie:

Wpływ promieniowania jonizującego na materię to przede wszystkim wywoływanie reakcji jądrowych ☐ / jonizacja materii ☐. Jedna cząstka promieniowania wywołuje za zwyczaj jedną jonizację ☐ / wiele jonizacji ☐.

Ćwiczenie 8

Oceń prawdziwość zdań. Zaznacz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F – jeśli zdanie jest fałszywe:

Promieniowanie jonizujące może być wykorzystywane w syntezie związków chemicznych.

P ☐ / F ☐

Promieniowanie jonizujące może powodować powstawanie defektów sieci krystalicznej.

P ☐ / F ☐

Ćwiczenie 9

Oblicz minimalną energię fotonu gamma, aby mógł oddziałując z materią zamienić się w parę elektron-pozyton.
Masa elektronu i pozytonu wynosi $9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg.
W odpowiedzi zastosuj notację naukową, a wyniki podaj w zaokrągleniu do trzech cyfr znaczących.

Odp.: E = ☐ · 10 ☐ J = ☐ MeV

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Jarosław Krakowski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	**Wpływ promieniowania na organizmy żywe**
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum,
Podstawa programowa:	**Cele kształcenia – wymagania ogólne** II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. **Zakres podstawowy** **Treści nauczania – wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 2) posługuje się materiałami pomocniczymi, w tym tablicami fizycznymi i chemicznymi oraz kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych; 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. XI. Fizyka jądrowa. Uczeń: 7) wskazuje wpływ promieniowania na materię oraz na organizmy żywe. **Zakres rozszerzony** **Treści nauczania – wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 2) posługuje się materiałami pomocniczymi, w tym tablicami fizycznymi i chemicznymi oraz kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych; 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. XII. Elementy fizyki relatywistycznej i fizyka jądrowa. Uczeń: 13) wskazuje wpływ promieniowania na materię oraz na organizmy żywe.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	**Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r,** • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	Uczeń: 1. dowie się, jakie są podstawowe rodzaje promieniowania jonizującego i jakie jest praktycznie znaczenie oddziaływania promieniowania na materię; 2. pozna wielkości fizyczne opisujące ilość emitowanego i pochłanianego promieniowania; 3. zrozumie, w jaki sposób promieniowanie wpływa na materię i jakie i dlaczego promieniowanie wpływa na materię; 4. zastosuje zdobytą wiedzę do rozwiązywania problemów.
Strategie nauczania:	IBSE (Inquiry-Based Science Education - nauczanie/uczenie się przedmiotów przyrodniczych przez odkrywanie/dociekanie naukowe)
Metody nauczania:	wykład problemowy
Formy zajęć:	praca zespołowa, praca w grupach
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem i dostępem do Internetu, grafika ilustrująca przemiany jądrowe, tabele ilustrujące aktywności promieniotwórcze, dawki promieniowania, przenikanie promieniowania przez materię, skutki odziaływania promieniowania na materię, zestawy zadań
Materiały pomocnicze:	_
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	

Nauczyciel zadaje pytanie: • Jakie znacie rodzaje promieniowania jądrowego ? Oczekiwana odpowiedź uczniów: promieniowanie jądrowe to przede wszystkim promieniowanie alfa (α) – jądra helu $^{4}_{2}He$, beta (β) – strumień elektronów i gamma (γ) – promieniowanie elektromagnetyczne. • Jakie są podstawowe właściwości tego promieniowania? Oczekiwana odpowiedź: duża energia cząstek i wynikająca z niej duża możliwość wpływu na cząsteczki ośrodka.	
Faza realizacyjna:	
Nauczyciel omawia wielkości fizyczne i ich jednostki charakteryzujące promieniowanie: • aktywność promieniotwórczą; • dawkę pochłoniętą promieniowania. Zagadnienia te mogą być omawiane przez uczniów, przygotowane w ramach nieobowiązkowej pracy domowej. Uczniowie analizują grafikę ilustrującą przenikanie promieniowania przez materię. Nauczyciel opisuje sposoby oddziaływania różnych rodzajów promieniowania z materią. Uczniowie w grupach analizują możliwe skutki oddziaływania promieniowania na materię.	
Faza podsumowująca:	
Uczniowie, wykorzystując zdobytą wiedzę, rozwiązują zadania: 1, 3, 5, 7 z zestawu ćwiczeń. Nauczyciel, na podstawie obserwacji pracy uczniów, określa w jakim stopniu osiągnięte zostały wyznaczone cele.	
Praca domowa:	
W ramach powtórzenia i utrwalenia wiadomości uczniowie rozwiązują zadania: 2, 4, 6, 8, 9 z zestawu ćwiczeń.	
Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium	Multimedium można wykorzystać przy powtarzaniu wiadomości i innych lekcjach na temat przemian jądrowych.