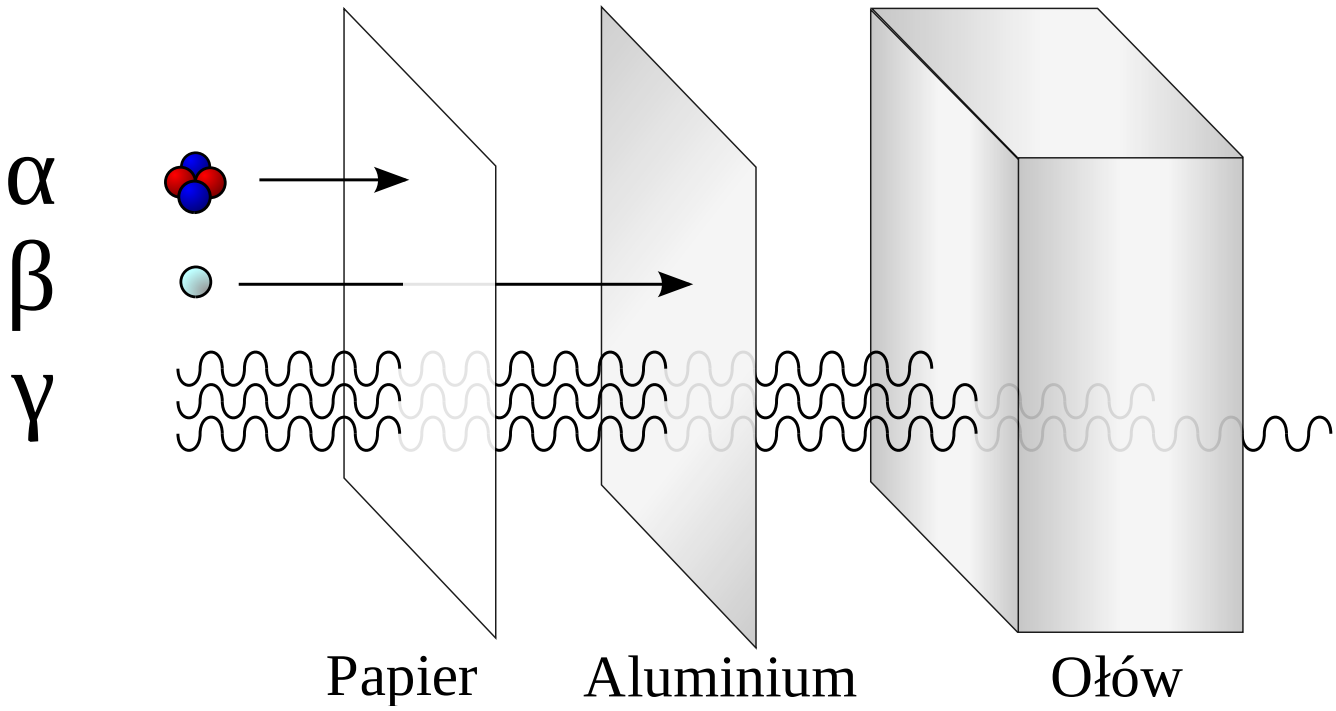
Jaki wpływa ma promieniowanie jonizujące na organizmy żywe?

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Audiobook
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

Jaki wpływa ma promieniowanie jonizujące na organizmy żywe?

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. Organizmy żywe są w stanie przyjmować pewne ilości promieniowania bez większego wpływu. Istnieją jednak pewne granice, powyżej których promieniowanie zaczyna wpływać negatywnie na organizmy żywe. Wpływ ten zależy od wielu czynników. W szczególności ilości i rodzaju pochłoniętego promieniowania (Rys. a.).



Rys. a. Przenikliwość promieniowania jądrowego.

Twoje cele

- dowiesz się, jakie są podstawowe rodzaje promieniowania jonizującego,
- poznasz wielkości fizyczne opisujące ilość emitowanego i pochłanianego promieniowania,
- zrozumiesz, jak i dlaczego promieniowanie wpływa na organizmy żywe,
- 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. Większość izotopów promieniotwórczych pochodzi z rozpadu naturalnych długożyjących izotopów zawartych w materiale, z którego powstała Ziemia. Są to na przykład uran $^{238}_{92}\mathrm{U}$ o czasie połowicznego rozpadu $4{,}51 \cdot 10^{9}$ lat, tor $^{232}_{90}\mathrm{Th}$ o czasie połowicznego rozpadu $1{,}405 \cdot 10^{10}$ lat, potas $^{40}_{19}\mathrm{K}$ o czasie połowicznego rozpadu $1{,}25 \cdot 10^{9}$ lat. Izotopy te powstały w trakcie procesów związanymi z ewolucją gwiazd. Niektóre izotopy promieniotwórcze powstają w wyniku oddziaływania promieniowania kosmicznego z jądrami atomowymi pierwiastków atmosfery Ziemi. Do nich należy na przykład węgiel $^{14}_{6}\mathrm{C}$ i izotop wodoru, tryt $^{3}_{1}\mathrm{H}$.

Ilość cząstek promieniowania wytwarzanego w próbce materiału opisujemy 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 Tab. 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
5-letnie dziecko	600 Bq
dorosła osoba (70 kg)	8 000 Bq

Tab. 1. Przykładowe aktywności naturalnych źródeł promieniowania. Głównym źródłem promieniowania w ciele człowieka są jądra potasu $^{40}_{19}K$ i węgla $^{14}_{12}C$

Sama aktywność źródła nie określa, na ile jest groźne promieniowanie. Na zagrożenie wpływa miedzy innymi rodzaj promieniowania, jego energii, to czy źródło jest zewnętrzne,

czy atomy promieniotwórcze zostały wchłonięte do organizmu. W tym przypadku istotne jest również, na ile łatwo atomy te są wydalane z organizmu.

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.

Wpływ promieniowania na organizm zależy nie tylko od pochłoniętej energii, ale także od rozkładu dawki w czasie, rodzaju promieniowania, wielkości napromieniowanego obszaru ciała, napromieniowanych organów, a także od wrażliwości napromieniowanej osoby.

Wpływ rodzaju promieniowania uwzględnia wielkość nazwana **równoważnikiem dawki** i oznaczana symbolem $H_{T,R}$.

$$H_{T,R} = w_R D_{T,R}$$

gdzie:

$H_{T,R}$ – równoważnik dawki dla promieniowania R i tkanki T,

w_R – współczynnik wagowy promieniowania R,

$D_{T,R}$ – średnia dawka pochłonięta promieniowania R przez tkankę T.

Jeżeli organizm poddany jest różnego rodzaju promieniowaniu, określa się wielkość nazywaną całkowitym równoważnikiem dawki H_T, równy sumie równoważników poszczególnych rodzajów promieniowania, które pochłonął organizm.

Jednostką równoważnika dawki jest **siwert** o symbolu Sv. 1 Sv = J/kg.

Współczynniki wagowe różnych rodzajów promieniowania zawiera Tab. 2.

Rodzaj promieniowania	w_R
Fotony (o dowolnej energii)	1
Elektrony i miony (o dowolnej energii)	1
Neutrony, energia <10 keV	5
Neutrony, energia 10-100 keV	10
Neutrony, energia 100 keV-2 MeV	20
Neutrony, energia 2-20 MeV	10
Neutrony, energia >20 MeV	5
Protony, energia >2 MeV	5
Cząstki alfa i inne jądra atomowe	20

Tab. 2. Współczynniki wagowe podstawowych rodzajów promieniowania.

Współczynniki te opisują, na ile silnie wpływa dany typ promieniowania na organizmy żywe. Jak widać największy wpływ mają cząstki masywne, ponieważ mogą uszkadzać wiązania chemiczne na niewielkim obszarze.

Wrażliwość poszczególnych tkanek i narządów człowieka na promieniowanie jonizujące opisuje tak zwany współczynnik wagowy tkanki w_T. Współczynniki są tak wyznaczone, aby ich suma dla wszystkich tkanek i narządów wychodziła równa 1. Współczynniki w_T dla różnych tkanek i narządów zawiera Tab. 3.

Tkanka lub narząd, T	w_T
Gonady	0,20
Jelito grube, płuca, szpik kostny, żołądek	0,12
Jelito cienkie, macica, mięśnie, mózg, nerki, pęcherz moczowy, piersi, przełyk, śledziona, tarczyca, trzustka, wątroba	0,05
Skóra, powierzchnia kości	0,01

Tab. 3. Wpływ promieniowani na poszczególne tkanki i narządów człowieka.

Jak widać najbardziej wrażliwe na promieniowanie są gonady, najmniej wrażliwe skóra i kości.

Po pomnożeniu całkowitego równoważnika dawki przez współczynnik wagowy tkanki, otrzymamy wielkość nazywaną **dawką skuteczną**, oznaczaną symbolem E_H. Wielkość ta opisuje całkowite narażenie organizmu przy nierównomiernym naświetleniu narządów lub tkanek.

Nie wszystkie zwierzęta jednakowo reagują na napromieniowanie. Wrażliwość różnego gatunku organizmów na promieniowanie opisuje się podając jednorazowo przyjęte dawki, po których w ciągu 30 dni umiera połowa napromieniowanych osobników danego gatunku. Wielkość tę dla wybranych organizmów przedstawia grafika Rys. 1.

Rys. 1. Wrażliwość zwierząt i roślin na promieniowanie. Dawka podana siwertach, określa dawkę, która pochłonięta jednorazowo spowoduje w ciągu 30 dni śmierć połowy napromieniowanych osobników. Jest to tak zwany wskaźnik LD_{50}^{30}. Jak widać im prostszy organizm, tym mniejszy wpływ pochłoniętego promieniowania.
Źródło: dostępny w internecie: http://ncbj.edu.pl/zasoby/broszury/broszura_promieniotworczosc.pdf [dostęp 24.03.2022 r.].

Wpływ promieniowania jonizującego na organizmy żywe wynika z dużej energii niesionej przez to promieniowanie i wynikającej z tego dużej zdolności do wzbudzania i jonizacji atomów i cząsteczek, w tym także do rozrywania wiązań chemicznych. Typowa energia cząstek tego promieniowania wynosi kilka MeV (megaelektronowoltów). Dla porównania energia, jaką mają fotony światła widzialnego wynosi tylko kilka eV, a energii jonizacji cząsteczek i atomów wynosi od kilku do kilkudziesięciu elektronowoltów. Dawka pochłonięta 1 Gy powoduje zazwyczaj około 1000 jonizacji.

Pierwszy etap działania promieniowania, nazywany etapem fizycznym, trwa do około 10^{-18} s od pochłonięcia. Polega właśnie na wzbudzaniu i jonizowaniu cząsteczek, także rozrywaniu długich łańcuchach białek komórkowych i łańcuchów DNA. Promieniowanie bardziej przenikliwe, np. gamma, powoduje jonizację na dłuższej drodze niż mniej przenikliwe promieniowanie alfa. Zatem promieniowanie alfa powoduje większe zagęszczenie zjonizowanego obszaru, a przez to większe szkody w komórkach. Dlatego ma wyższy wskaźnik w_R.

W drugim etapie, nazywanym chemicznym, wzbudzone i zjonizowane cząsteczki wchodzą w reakcje chemiczne. Dzieje się to do około 10^{-5} s od pochłonięcia promieniowania.

Przerwanie wiązań chemicznych w cząsteczkach powoduje powstanie tak zwanych wolnych rodników – czyli atomów lub cząsteczek bardzo chętnie wchodzących w reakcje chemiczne, przez co niszczą one części komórki organizmu, od błony komórkowej po białka i DNA.

Kolejny etap, nazywany fazą biologiczną, trwa od sekund do kilku lat. Polega na rozpoznawaniu przez organizm powstałych uszkodzeń i próbie ich naprawy. Pojedyncze komórki, przy małych dawkach mogą praktycznie nie odczuć skutków promieniowania, uszkodzona komórka może również zostać naprawiona. Przy uszkodzeniu DNA komórka może ulec mutacji – zmieniają się właściwości komórki. Przy dużych dawkach promieniowania może też dojść do śmierci komórki.

Odziaływanie na pojedyncze komórki przekłada się także na reakcje zachodzące na poziomie całego organizmu. Ich efektem mogą być zmiany hormonalne, nowotworowe, a nawet śmierć organizmu.

Przewidywane skutki biologiczne jednorazowo pochłoniętej dawki promieniowania przedstawione są w Tab. 4.

Dawka [Sv]	**Skutek biologiczny**
0,25	Objawy kliniczne nie występują. Czasami mogą wystąpić niewielkie zmiany we krwi.
0,5	Niewielkie zmiany we krwi obwodowej; bardzo małe prawdopodobieństwo wystąpienia skutków późnych.
1-2	Niewielkie objawy kliniczne, u 5-10% osób wymioty w ciągu kilku godzin od napromienienia; okresowe zmiany we krwi z opóźnioną odnową; duże prawdopodobieństwo wystąpienia skutków późnych; większość objawów ustępuje po kilku tygodniach.
2-3	Ciężkie objawy kliniczne, wymioty u wszystkich osób w ciągu 2 h, poważne zmiany we krwi, utrata włosów po ok. 2 tygodniach; częste następstwa późne; dawka śmiertelna dla ok. 25% napromieniowanych osób.
3-5	Dawka śmiertelna dla 50% napromieniowanych (LD50/30); ciężkie objawy kliniczne z pełnym rozwojem choroby popromiennej i wyraźnym uszkodzeniem czynności krwiotwórczych szpiku.
5-7	Przeżywa 0-20% osób. Objawy ciężkiego upośledzenia szpiku. Śmierć następuje w ciągu kilkunastu do kilkudziesięciu dni.
10-30	Uszkodzenia układu pokarmowego z objawami krwotocznymi i odwodnienie organizmu. Śmierć następuje w ciągu kilku do kilkunastu dni.
50 i więcej	Zespół ośrodkowo-mózgowy, zaburzenia świadomości, oddychania i krążenia. Śmierć następuje w okresie od kilkunastu godzin do 3 dni.

Tab. 4. Przewidywane skutki biologiczne pochłonięcia jednorazowo dawki promieniowania w zależności od jej wielkości. Jak widać, organizmy żywe dobrze znoszą małe dawki

promieniowania. Małe dawki wykazują nawet właściwości lecznicze i są wykorzystywane w terapii niektórych schorzeń

Przyjmuje się, że przy długotrwałym działaniu promieniowania, w pełni bezpieczną dawką dla człowieka jest dawka 1 mSv na rok. Jednak wpływ niewielkich dawek promieniowania jest trudny do ocenienia. Na przykład w miejscowości Ramsar w Iranie promieniowanie tła w niektórych budynkach przewyższa około osiemdziesięciokrotnie dawki dopuszczane przez Międzynarodową Komisję Ochrony Radiologicznej (ICRP). Mimo tego, nie stwierdzono w tym regionie zwiększonej ilości zachorowań na choroby wynikające z efektów napromieniowania. Wręcz przeciwnie, mieszkańcy znani są długowieczności.

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.

Fotony gamma

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

Audiobook

Jaki wpływ ma promieniowanie jonizujące na organizmy żywe?

Audiobook ma przedstawić w krótkiej formie sposób działania promieniowania na organizm człowieka.

Audiobook można wysłuchać pod adresem: https://zpe.gov.pl/b/PGJvmell6

Jaki wpływ ma promieniowanie jonizujące na organizmy żywe?

Ostateczne skutki, jakie spowoduje promieniowanie w organizmie człowieka, zależą od wielu czynników. Między innymi od rodzaju promieniowania, energii cząstek, ich przenikliwości, rodzaju wchłoniętych promieniotwórczych atomów (czy są metabolizowane czy od razu wydalane z organizmu), sposobu napromieniowania (z wewnątrz czy z zewnątrz). Także od rozkładu dawki w czasie, wielkości napromieniowanego obszaru ciała, napromieniowanych organów i indywidualnej wrażliwości napromieniowanej osoby.

Wpływ promieniowania jonizującego na organizmy żywe wynika z dużej energii niesionej przez to promieniowanie i wynikającej z tego dużej zdolności do wzbudzania i jonizacji atomów i cząsteczek, w tym także do rozrywania wiązań chemicznych.

Działanie promieniowania można podzielić na trzy etapy:

Pierwszy etap, nazywany etapem fizycznym, trwa około 10^{-18}s od pochłonięcia. Polega na wzbudzaniu i jonizowaniu cząsteczek, w szczególności rozrywaniu w długich łańcuchach białek komórkowych, także łańcuchów DNA.

W drugim etapie, nazywanym chemicznym, wzbudzone i zjonizowane cząsteczki wchodzą w reakcje chemiczne. Dzieje się to do około 10^{-5}s od pochłonięcia promieniowania.

Przerwanie wiązań chemicznych w cząsteczkach powoduje powstanie tak zwanych wolnych rodników - czyli atomów lub cząsteczek bardzo chętnie wchodzących w reakcje chemiczne. Przez co niszczą części komórki organizmu, od błony komórkowej po białka i DNA.

Trzeci etap nazywany biologicznym trwa od kilku sekund do kilku lat. Polega na rozpoznawaniu przez organizm powstałych uszkodzeń i próbie ich naprawy. Pojedyncze komórki, przy małych dawkach, mogą praktycznie nie odczuć skutków promieniowania, uszkodzona komórka może również zostać naprawiona. Przy uszkodzeniu DNA komórka może ulec mutacji - komórka nie będzie właściwie pełnić swoich funkcji. Przy dużych dawkach promieniowania może też dojść do śmierci komórki.

Oddziaływanie na pojedyncze komórki przekłada się także na reakcje zachodzące na poziomie całego organizmu. Ich efektem mogą być, zmiany hormonalne, nowotworowe, a nawet śmierć organizmu.

Jednym z ważnych naturalnych źródeł promieniowania jonizujacego jest radon - dla statystycznego mieszkańca Polski stanowi, jak się ocenia, prawie połowę otrzymywanej w ciągu życia dawki promieniowania. Radon jest bezbarwnym, bezzapachowym i pozbawionym smaku radioaktywnym gazem szlachetnym występującym naturalnie w środowisku jako produkt rozpadu radu. Radon jest naturalnie wydzielany z ziemi oraz z niektórych materiałów budowlanych na całym świecie wszędzie tam, gdzie można znaleźć uran lub tor, a zwłaszcza w regionach, gdzie występują granity lub skały łupkowe, w których występują wyższe koncentracje uranu. Nie wszystkie regiony występowania skał granitowych są regionami zwiększonej emisji radonu. Jednak migruje on swobodnie poprzez uskoki geologiczne oraz rozdrobnione gleby i może się kumulować w jaskiniach i wodzie. Ze względu na krótki okres połowicznego rozpadu jego stężenia zmniejszają się bardzo szybko w wyniku transportu z obszaru produkcji. Jego zawartość w atmosferze waha się istotnie w zależności od pory roku i pogody. Radon jest także znajdowany w ropie naftowej. Radon występujący w koncentracjach spotykanych w kopalniach został zidentyfikowany w latach 80. ubiegłego wieku jako substancja rakotwórcza na podstawie badań statystycznych dotyczących raka płuc u górników. Pomimo że wystawienie na działanie radonu i produktów jego rozpadu pociąga za sobą istotne ryzyko, rocznie

tysiące ludzi celowo schodzą do kopalń skażonych radonem w celach leczniczych bez poważnych negatywnych efektów zdrowotnych.

Tekst dla lektora:

Ostateczne skutki, jakie spowoduje promieniowanie w organizmie człowieka, zależą od wielu czynników. Między innymi od rodzaju promieniowania, energii cząstek, ich przenikliwości, rodzaju wchłoniętych promieniotwórczych atomów (czy są metabolizowane czy od razu wydalane z organizmu), sposobu napromieniowania (z wewnątrz czy z zewnątrz). Także od rozkładu dawki w czasie, wielkości napromieniowanego obszaru ciała, napromieniowanych organów i indywidualnej wrażliwości napromieniowanej osoby.

Wpływ promieniowania jonizującego na organizmy żywe wynika, z dużej energii niesionej przez to promieniowanie i wynikającej z tego dużej zdolności do wzbudzania i jonizacji atomów i cząsteczek, w tym także do rozrywania wiązań chemicznych.

Działanie promieniowania można podzielić na trzy etapy:

Pierwszy etap, nazywany etapem fizycznym, trwa około 10^{-18}s od pochłonięcia. Polega na wzbudzaniu i jonizowaniu cząsteczek, w szczególności rozrywaniu w długich łańcuchach białek komórkowych, także łańcuchów DNA.

W drugim etapie, nazywanym chemicznym, wzbudzone i zjonizowane cząsteczki wchodzą w reakcje chemiczne. Dzieje się to do około 10^{-5}s od pochłonięcia promieniowania.

Przerwanie wiązań chemicznych w cząsteczkach powoduje powstanie tak zwanych wolnych rodników – czyli atomów lub cząsteczek bardzo chętnie wchodzących w reakcje chemiczne. Przez co niszczą części komórki organizmu, od błony komórkowej po białka i DNA.

Trzeci etap nazywany biologicznym trwa od kilku sekund do kilku lat. Polega na rozpoznawaniu przez organizm powstałych uszkodzeń i próbie ich naprawy.

Pojedyncze komórki, przy małych dawkach mogą praktycznie nie odczuć skutków promieniowania, uszkodzona komórka może również zostać naprawiona. Przy uszkodzeniu DNA komórka może ulec mutacji – komórka nie będzie właściwie pełnić swoich funkcji. Przy dużych dawkach promieniowania może też dojść do śmierci komórki.

Odziaływanie na pojedyncze komórki przekłada się także na reakcje zachodzące na poziomie całego organizmu. Ich efektem mogą być, zmiany hormonalne, nowotworowe, a nawet śmierć organizmu.

Jednym z ważnych naturalnych źródeł promieniowania jonizującego jest radon - dla statystycznego mieszkańca Polski stanowi, jak się ocenia, prawie połowę otrzymywanej w ciągu życia dawki promieniowania. *Radon jest bezbarwnym, bezzapachowym i pozbawionym smaku radioaktywnym gazem szlachetnym występującym naturalnie w środowisku jako produkt rozpadu radu. Radon jest naturalnie wydzielany z ziemi oraz z niektórych materiałów budowlanych na całym świecie wszędzie tam, gdzie można znaleźć uran lub tor, a zwłaszcza w regionach, gdzie występują granity lub skały łupkowe, w których występują wyższe koncentracje uranu. Nie wszystkie regiony występowania skał granitowych są regionami zwiększonej emisji radonu. Jednak migruje on swobodnie poprzez uskoki geologiczne oraz rozdrobnione gleby i może się kumulować w jaskiniach i wodzie. Ze względu na krótki okres połowicznego rozpadu jego stężenia zmniejszają się bardzo szybko w wyniku transportu z obszaru produkcji. Jego zawartość w atmosferze waha się istotnie w zależności od pory roku i pogody. Radon jest także znajdowany w ropie naftowej. Radon występujący w koncentracjach spotykanych w kopalniach został zidentyfikowany w latach 80. ubiegłego wieku jako substancja rakotwórcza na podstawie badań statystycznych dot. raka płuc u górników. Pomimo że wystawienie na działanie radonu i produktów jego rozpadu pociąga za sobą istotne ryzyko, rocznie tysiące ludzi celowo schodzą do kopalń skażonych radonem w celach leczniczych bez poważnych negatywnych efektów zdrowotnych.*

Polecenie 1

Skąd radon bierze się w naszych domach?

Polecenie 2

Cały czas oddziałuje na nas promieniowanie jonizujące, które pochodzi z naturalnych źródeł na Ziemi, z kosmosu i z wnętrza człowieka. Zastanawiałeś się kiedyś, czy lecąc samolotem pochłaniasz większą dawkę promieniowania niż np.: jadąc samochodem?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

Dopasuj cząstkę do nazwy promieniowania

Cząstka	Nazwa promieniowania
alfa	
beta	
gamma	

promieniowanie elektromagnetyczne | jądra helu | neutrony | elektrony | protony

Ćwiczenie 2

Źródłem promieniowania może być:

- [ ] banan
- [ ] woda
- [ ] powietrze
- [ ] ściana budynku

Ćwiczenie 3

Naturalne tło promieniowania może być opisywane średnią dawką otrzymaną przez mieszkańców danego obszaru wyrażoną w siwertach na rok – Sv/r w tabeli podano dane dla kilku miejsc na świecie, w tym dla miasta Ramasar w Iranie o największej wartości promieniowania tła na świecie.

Ramsar, Iran	średnio 10,2 mSv/r maksymalnie 260 mSv/r
Guarapari, Brazylia	średnio 5,5 mSv/r maksymalnie 35 mSv/r
Kerala, Indie	średnio 3,8 mSv/r maksymalnie 35 mSv/r
Yangjiang, Chiny	średnio 3,5 mSv/r maksymalnie 5,4 mSy/r
Hongkong, Chiny	średnio 670 µSv/r
Norwegia	średnio 630 µSv/r
Polska	średnio 320 µSv /r

Tabela: Wartości naturalnego promieniowania tła dla wybranych miejsc na Ziemi

Oblicz,

a) ile razy maksymalne promieniowanie tła w Ramsar jest większe niż średnie promieniowanie tła w Polsce,
b) ile razy średnie promieniowanie tła w Ramsar jest większe niż średnie promieniowanie tła w Polsce. Wyniki podaj z dokładnością do liczb całkowitych.

Odp. a) _____, b) _____

Ćwiczenie 4

Tabela zawiera przykładowe aktywności wybranych substancji:

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
5-letnie dziecko	600 Bq
dorosła osoba (70 kg)	8 000 Bq

Tabela: Aktywności promieniotwórcze wybranych ciał

Oblicz, ile rozpadów zachodzi w ciągu godziny w bananie o masie 160 g.

Odp.: około [ ] rozpadów.

Ćwiczenie 5

Uzupełnij zdanie:

Odp.: Wpływ promieniowania na organizmy żywe [zależy ☐] / [nie zależy ☐] od rodzaju promieniowania. Skutki napromieniowania [zależą ☐] / [nie zależą ☐] od napromieniowanego organu.

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

Odziaływanie promieniowania jonizującego na organizmy żywe wynika z jego dużej energii.

[P ☐] / [F ☐]

Jedna cząstka promieniowania może zjonizować tylko jedną cząsteczkę lub atom ośrodka

[P ☐] / [F ☐]

Ćwiczenie 6

Wyraź jednostkę dawki pochłoniętej – greja (Gy) – w jednostkach podstawowych układu SI.

Odp.: 1 Gy = [ ] / [ ]

[s^2] [kg^3] [m^3] [s^3] [m^2] [kg^2]

Ćwiczenie 7

Zaleca się, aby roczny równoważnik dawki pochłoniętej dla przeciętnego człowieka nie przekroczył 1mSv. W tabeli zestawiono przykładowe dawki otrzymywane w wyniku badań medycznych:

prześwietlenie żołądka	-3,5 mSv
zdjęcie klatki piersiowej	-0,05 mSv
zdjęcie klatki małoobrazkowe	-0,2 mSv
zdjęcie zatok	-0,3 mSv
zdjęcie zębów	-0,02 mSv
zdjęcie kręgów lędźwiowych	-0,9 mSv

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

Oblicz, ile maksymalnie zdjęć zębów i ile razy można prześwietlić zatoki w ciągu roku, aby nie przekroczyć zalecanej dawki. Pomiń promieniowanie tła.

Odp.: Zęby mogą być prześwietlone _____ razy, zatoki _____ razy.

Ćwiczenie 8

Energia jonizacji atomu wodoru wynosi około 13,6 eV. Ile maksymalnie atomów wodoru mogła by zjonizować cząstka alfa o energii 6 MeV przy założeniu, że elektrony uzyskują od promieniowania energię kinetyczną równą energii jonizacji? Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odp.: Energia jednej cząstki alfa wystarcza na zjonizowanie około _____ atomów wodoru.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Jarosław Krakowski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	**Wpływ promieniowania na organizmy żywe**
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony

Podstawa programowa:	**Cele kształcenia – wymagania ogólne** I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. 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; 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. 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; 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. XII. Elementy fizyki relatywistycznej i jądrowej. Uczeń : 13) wskazuje wpływ promieniowania na materię oraz na organizmy żywe.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	**Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.** • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	Uczeń: 1. wie, jakie są podstawowe rodzaje promieniowania jonizującego; 2. zna wielkości fizyczne opisujące ilość emitowanego i pochłanianego promieniowania; 3. rozumie, jak i dlaczego promieniowanie wpływa na organizmy żywe; 4. stosuje 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:	dostęp do Internetu, rzutnik, grafika ilustrująca przemiany jądrowe, tabele ilustrujące aktywności promieniotwórcze, dawki promieniowania i skutki promieniowania, 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. • Nauczyciel zadaje pytanie: jakie są podstawowe właściwości tego promieniowania? Oczekiwana odpowiedź: duża energia cząstek i wynikająca z niej duża możliwość wpływu na cząsteczki ośrodka.	

Faza realizacyjna:	
Uczniowie, którzy w ramach nieobowiązkowej pracy domowej przygotowali informacje, omawiają wielkości fizyczne i ich jednostki charakteryzujące promieniowanie: • aktywność promieniotwórczą; • dawkę pochłoniętą promieniowania; • równoważnik dawki. Uczniowie słuchają audiobooka. Uczniowie wspólnie z nauczycielem opisują skutki działania promieniowania jonizującego na organizmy żywe. Uczniowie analizują tabelę opisującą wpływ promieniowania na organizm człowieka w zależności od jednorazowo pochłoniętej dawki. Nauczyciel omawia wpływ małych dawek promieniowania, także zastosowanie w terapii niektórych chorób i szczególne przypadki dużego promieniowania tła na Ziemi.	
Faza podsumowująca	
Uczniowie, wykorzystując zdobytą wiedzę, rozwiązują zadania: 1, 3, 5, 7 z zestawu ćwiczeń. Nauczyciel pełni rolę doradcy, obserwuje i kontroluje pracę uczniów. Uczniowie odnoszą się do postawionych sobie celów lekcji, ustalają które osiągnęli, a które wymagają jeszcze pracy. W razie potrzeby nauczyciel dostarcza im informację zwrotną kształtującą.	
Praca domowa:	
Uczniowie powtarzają i utrwalają wiedzę przez rozwiązanie w domu zadań, których nie rozwiązali na lekcji: 2, 4, 5, 6, 8 z zestawu ćwiczeń.	
Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium	Multimedium można wykorzystać przy powtarzaniu wiadomości i innych lekcjach na temat przemian jądrowych.