

# Nukleo - Ogólnopolski Konkurs Wiedzy o Energii Jądrowej

## ETAP 2

### Instrukcja:

Spśród trzech zadań z treścią, przygotowanych przez Komisję Konkursową, Uczestnik Konkursu przesyła rozwiązania **dwóch wybranych przez siebie zadań z treścią** oraz rozwiązanie **jednego zadania problemowego**. Zadania mają różny stopień trudności, a tym samym różną liczbę punktów do zdobycia za prawidłowe rozwiązanie. Informacja o maksymalnej liczbie punktów możliwej do uzyskania dostępna jest obok numeru zadania. Wybierz te zadania, które jesteś w stanie rozwiązać. Nie muszą być to koniecznie dwa zadania z maksymalną liczbą punktów. Każdy ma szansę dostać się do ścisłego finału!

Pełne rozwiązanie zadania z treścią powinno zostać spisane ręcznie na kartce (wraz z wyprowadzeniem wzorów, jeśli jest to konieczne, komentarzami, ...). Skan lub zdjęcie dobrej jakości tych arkuszy należy przesłać przez platformę poprzez swoje dedykowane konto Uczestnika. Zadanie problemowe można opracować w dowolnym edytorze tekstu, należy zapisać je do pliku pdf. Każde zadanie powinno zostać przesłane w osobnych plikach, zgodnie z instrukcją podaną na platformie internetowej Konkursu.

Nieprzekraczalny termin nadsyłania zadań to **4 listopada 2020 roku, godz. 23:59**.

**Co będziemy oceniać?** W przypadku **zadań z treścią** ocenie podlegać będzie:

- umiejętność zastosowania podstawowych praw fizyki i uproszczonych modeli matematycznych do rozwiązywania zadania,
- samodzielność w formułowaniu wniosków,
- umiejętność i trafność posługiwania się słownictwem fizycznym,
- poprawność matematyczna,
- poprawne sporządzenie wykresu, opis i wyskalowanie osi,
- wymóg podania w rozwiązaniu wyniku wraz z jednostką,
- przy ocenianiu zadań przyjmuje się zasadę, że uczestnik powinien udowodnić zależności fizyczne, które nie są wprost podane w podręcznikach szkolnych,
- pominięcie cząstkowych obliczeń lub prezentacji sposobu rozumowania może spowodować utratę punktów.

W przypadku **zadania problemowego** ocenie podlegać będzie:

- sposób ujęcia tematu, argumentacja, analiza problemu, wnioski,
- umiejętność korzystania z dostępnych źródeł informacji,
- właściwie i bezbłędnie wykonane tabele i diagramy,
- kreatywność rozwiązania problemu,
- poprawność językowa, umiejętność i trafność posługiwania się słownictwem fizycznym.

## Część I - ZADANIA Z TREŚCIĄ

### Zadanie 1 [5 punktów]

Zapoznaj się z poniższymi pojęciami:

**Dawka efektywna** – suma dawek równoważnych pochodzących od zewnętrznego i wewnętrznego narażenia, wyznaczona z uwzględnieniem odpowiednich współczynników wagowych narządów lub tkanek, obrazująca narażenie całego ciała.

**Obciążająca dawka efektywna  $e(50)$**  – dawka pochodząca od narażenia wewnętrznego, obrazująca narażenie całego ciała. Obciążającą dawkę efektywną wyznacza się dla okresu po którym izotop promieniotwórczy zostanie całkowicie wydalony z organizmu, a jeśli okres ten jest nieokreślony, dla 50 lat lub – w przypadku dzieci – od momentu wnikięcia substancji do osiągnięcia przez nie wieku 70 lat. Wartości  $e(50)$  różnią się w zależności od grup wiekowych. W zadaniu wykorzystano dane dla osób dorosłych ( $> 17$  lat).

**Bq, bekerel** – jednostka aktywności

**Sv, siwert** – jednostka dawki promieniowania (w zadaniu posłużono się jednostką mSv,  $1 \text{ Sv} = 1000 \text{ mSv}$ ).

Treść zadania:

Jednym z rodzajów narażenia na promieniowanie jonizujące jest narażenie wewnętrzne, do którego może dojść jeżeli substancja promieniotwórcza wnika do organizmu człowieka, np. drogą oddechową. Taka sytuacja może mieć miejsce wyniku uwolnienia substancji promieniotwórczych z obiektu jądrowego. W marcu 2011 nad Polskę dotarła radioaktywna chmura z Japonii, zawierająca takie substancje. Polskie laboratoria pomiarowe zarejestrowały izotopy promieniotwórcze w powietrzu.

W wyniku pomiarów stężenia izotopów promieniotwórczych w powietrzu wykonanych w Warszawie w okresie 28 – 31 marca 2011 (ok. trzy tygodnie po awarii w Fukushima) stwierdzono zawartość promieniotwórczego izotopu jodu  $^{131}\text{I}$  na poziomie  $3,27 \text{ mBq/m}^3$ .

Przyjmując, że:

- prędkość oddychania osoby dorosłej wynosi  $22,2 \text{ m}^3/\text{dobę}$ ;
- obciążająca dawka efektywna pochodząca od wnikięcia do organizmu osoby dorosłej drogą oddechową izotopu jodu  $^{131}\text{I}$  o aktywności  $1 \text{ Bq}$  wynosi  $0,0000074 \text{ mSv}$ .

Oblicz efektywną dawkę obciążającą pochodzącą od jodu  $^{131}\text{I}$ , jaką otrzyma osoba oddychająca takim powietrzem w ciągu tygodnia. Wiedząc, że limit roczny dawki efektywnej dla osoby nie pracującej w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące wynosi  $1 \text{ mSv}$ , skomentuj otrzymany wynik.

Podpowiedzi:

Zastanów się ile powietrza dostanie się do płuc człowieka w ciągu tygodnia?

Ile jodu  $^{131}\text{I}$  będzie w tej objętości powietrza?

**Zadanie 2 [7 punktów]**

Naturalny uran w 99,275% składa się z nietrwałego izotopu uranu  $^{238}\text{U}$  o czasie połowicznego rozpadu  $T_{1/2}(^{238}\text{U})=4,468\cdot 10^9$  lat zaś w 0,72% z uranu  $^{235}\text{U}$ , którego czas połowicznego rozpadu wynosi  $T_{1/2}(^{235}\text{U})=7,038\cdot 10^8$  lat. Oceń wiek Ziemi na podstawie naturalnego wzbudzenia złóż uranu, zakładając, że podczas formowania Ziemi atomów izotopu uranu  $^{235}\text{U}$  było tyle samo, co atomów izotopu uranu  $^{238}\text{U}$ . Wynik podaj w miliardach lat z dokładnością do jednej cyfry znaczącej.

*Wskazówka: Podany procentowy skład izotopowy uranu dotyczy składu masowego.*

**Zadanie 3 [7 punktów]**

Elektrownia jądrowa z reaktorem wodnym ciśnieniowym ma moc cieplną 3200 MW, wytwarza energię elektryczną ze sprawnością 35% i pracuje przez 95% czasu w roku. Rdzeń reaktora zbudowany jest z prętów paliwowych, w każdym pręcie znajdują się pastylki paliwowe z dwutlenkiem uranu  $\text{UO}_2$ . Wzbogacenie paliwa w izotop  $^{235}\text{U}$  wynosi 3%. W reaktorze jądrowym zachodzi kontrolowana reakcja łańcuchowa rozszczepienia. Przy pojedynczym akcie rozszczepienia jądra atomu  $^{235}\text{U}$  wydzielą się energia 200 MeV. Przyjmując powyższe założenia, wykonaj obliczenia:

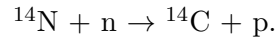
1. Roczne, średnie zużycie energii elektrycznej trzyosobowej rodziny w Polsce to 1800 kWh. Ile kg uranu zużyje elektrownia jądrowa na wyprodukowanie tej ilości energii? Porównaj tę masę uranu z masą węgla, jaka jest potrzebna do wyprodukowania tej samej ilości energii elektrycznej, zakładając sprawność elektrowni węglowej 35%. Masa molowa dwutlenku uranu  $\text{UO}_2$  wynosi 270 g/mol, masa molowa uranu  $\text{U}$  wynosi 238 g/mol, masa molowa izotopu  $^{235}\text{U}$  wynosi 235 g/mol. Ilość energii wydzielana ze spalania 1 kg węgla to  $3\cdot 10^7$  J.
2. Ile kilogramów neutronów bierze udział w rozszczepieniach w ciągu roku pracy elektrowni jądrowej?

Przydatne informacje:

*Uran naturalny, pozyskiwany w kopalniach, zawiera dwa izotopy:  $^{238}\text{U}$ , który stanowi 99,3% masy uranu oraz  $^{235}\text{U}$ , stanowiący pozostałe 0,7%. Taka ilość  $^{235}\text{U}$  jest zbyt mała dla typowych reaktorów jądrowych, pracujących na świecie. Dlatego ilość ta musi zostać zwiększona w procesie wzbogacania. Typowa zawartość izotopu  $^{235}\text{U}$  w paliwie jądrowym wynosi kilka procent. Gdy mówimy, że wzbogacenie uranu wynosi  $X\%$ , oznacza to, że masa izotopu  $^{235}\text{U}$  w uranie wynosi  $X\%$  masy tego uranu.*

**Zadanie 4 [10 punktów]**

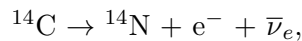
Izotop węgla  $^{14}\text{C}$  jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych na Ziemi izotopów nietrwałych. Izotop jest wykorzystywany do tzw. datowania radiowęglem, czyli określania wieku materii na podstawie badania proporcji pomiędzy izotopem promieniotwórczym  $^{14}\text{C}$  a izotopami trwałymi  $^{12}\text{C}$  i  $^{13}\text{C}$ . Węgiel  $^{14}\text{C}$  powstaje w górnych warstwach atmosfery w wyniku oddziaływania neutronów promieniowania kosmicznego ze stabilnym izotopem azotu  $^{14}\text{N}$



W ciągu jednego roku powstaje ok 10 kg węgla  $^{14}\text{C}$ . Węgiel rozchodzi się równomiernie w atmosferze i pod postacią dwutlenku węgla wnika w materię organiczną w procesie fotosyntezy. Żywe obiekty mają więc stałą proporcję węgla  $^{14}\text{C}$  do stabilnych izotopów węgla, wynoszącą

$$N(^{14}\text{C})/N(^{12}\text{C} + ^{13}\text{C}) = 10^{-12}.$$

Gdy organizm umrze, liczba atomów stabilnych izotopów węgla nie ulega zmianie, zaś nietrwały izotop  $^{14}\text{C}$  rozpada się zgodnie z równaniem



z czasem połowicznego rozpadu  $T_{1/2}=5740$  lat. Tym samym im więcej lat upłynie od śmierci obiektu, tym proporcja  $^{14}\text{C}$  do  $^{12}\text{C}$  i  $^{13}\text{C}$  spada.

1. Na podstawie podanych informacji oblicz masę izotopu  $^{14}\text{C}$  w atmosferze, zakładając, że jest ona stała.
2. Jaka jest dawka pochłonięta pochodząca z rozpadu węgla  $^{14}\text{C}$  w ciele człowieka, czyli energia zdeponowana w materiale na jednostkę masy. Załóż, że zawartość węgla w ciele wynosi 18%, oraz, że średnia energia cząstki  $\beta$  emitowanej w rozpadzie  $^{14}\text{C}$  wynosi 1/3 jej maksymalnej dostępnej energii.

Wskazówka: Aby wyznaczyć maksymalną energię cząstki  $\beta$  skorzystaj z deficytu masy jądra  $^{14}\text{C}$  i  $^{14}\text{N}$ , które wynoszą  $\Delta(^{14}\text{C}) = 3,0198$  MeV i  $\Delta(^{14}\text{N})=2,8634$  MeV.

3. Oblicz wiek kości, z której wyekstrahowano próbę o masie  $m$  węgla, na podstawie jej zmierzonej aktywności  $A$ .

## Część II - ZADANIA PROBLEMOWE

Za rozwiązanie zadania problemowego można otrzymać maksymalnie **15 punktów**.

### Zadanie Problemowe 1 - Badanie rozkładu promieniowania naturalnego w Polsce

Rozmieszczenie pierwiastków na Ziemi nie jest równomierne, a niektóre z nich mogą być źródłem promieniowania jonizującego, które od zawsze występowało w otaczającym nas środowisku. W przypadku, gdy promieniowanie pochodzi ze źródeł obecnych w przyrodzie na stałe, nazywane jest promieniowaniem tła. To ono stanowi źródło większej części dawki, jaką w ciągu roku otrzymują ludzie na świecie. Wykorzystując specjalistyczną aparaturę pomiarową można zmierzyć intensywność promieniowania i ocenić dawkę. Regularny pomiar tła ma bardzo istotne znaczenie dla ochrony środowiska oraz ludności, gdyż pozwala wykryć nawet minimalnie podniesiony poziom promieniowania. Polska dysponuje systemem monitorowania, którego bieżące wskazania można sprawdzić na stronie Państwowej Agencji Atomistyki (PAA): [https://www.paa.gov.pl/strona-455-sytuacja\\_radiacyjna.html](https://www.paa.gov.pl/strona-455-sytuacja_radiacyjna.html). Ze względu na brak incydentów radiacyjnych w ostatnich latach, wskazania odpowiada głównie promieniowaniu naturalnemu.

1. Na podstawie wartości równoważnika dawki odczytanej na stronie PAA przygotuj rozkład zmian dawki w ciągu dowolnych, kolejnych 7 dni. Dane przedstaw w postaci rysunku lub tabeli. Zaznacz gdzie dawka jest:
  - największa,
  - najmniejsza,
  - obserwujemy największe zmiany w badanym czasie.
2. Wyjaśnij co jest przyczyną rozkładu dawki na terenie naszego kraju?
3. Zakładając średni czas życia 70 lat, o ile większą dawkę skuteczną otrzyma mieszkaniec Polski w miejscu gdzie jest ona największa, w stosunku do osoby przebywającej w miejscowości o najmniejszej wartości dawki?

Swoje obliczenia ogranicz tylko do miejsc monitorowanych przez PAA.

Przydatne pojęcia:

**Dawka pochłonięta** – podstawowa wielkość dozymetryczna  $D$ , zdefiniowana jako stosunek

$$dE/dm,$$

gdzie:  $dE$  – energia przekazana przez promieniowanie jonizujące materii w elemencie objętości,  $dm$  – masa materii zawarta w elemencie objętości. W układzie SI jednostką dawki pochłoniętej jest grej ( $Gy = J/kg$ )

**Równoważnik dawki, dawka równoważna** – dawka uwzględniająca wpływ rodzaju promieniowania jonizującego na skutki biologiczne zachodzące w tkance lub organie przez wprowadzenie współczynnika wagowego promieniowania jonizującego oraz przekazanej energii jako dawka pochłonięta. Przedstawiamy ją jako iloczyn:

$$H_T = w_R \cdot D,$$

gdzie:  $H_T$  – dawka równoważna (Sv) zaadsorbowana w tkance lub organie,  $w_R$  – współczynnik wa-

gowej promieniowania jonizującego  $R$ ,  $D$  – średnia dawka pochłonięta promieniowania jonizującego  $R$  przez tkankę lub organ  $T$ . W przypadku, gdy mamy różne źródła promieniowania oraz różne tkanki napromieniane należy uwzględnić wszystkie czynniki wyznaczając dla każdego z nich  $H$  i obliczyć ich sumę. Jej jednostką jest siwert ( $Sv$ ).

**Dawka skuteczna, dawka efektywna** – suma wszystkich równoważników dawki we wszystkich narządach i tkankach z uwzględnieniem po uwzględnieniu współczynników różnych narządów i tkanek. Dawka skuteczna określa stopień narażenia całego ciała na promieniowanie nawet przy napromienianiu tylko niektórych partii ciała. Jej jednostką jest siwert ( $Sv$ ).

Dokładne zależności zostały podane na pierwszych 4 stronach Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego Dz. U. 2005 nr 20 poz. 168 <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20050200168/0/D20050168.pdf>

## Zadanie Problemowe 2 - Lokalizacja elektrowni jądrowej w Twoim sąsiedztwie?

W Polsce trwa obecnie proces badania potencjalnych lokalizacji pierwszej elektrowni jądrowej. Ostateczny wybór tego miejsca dokonany być może już w przyszłym roku. Elektrownia jądrowa nie może zostać wybudowana w dowolnym miejscu. Potencjalna lokalizacja takiego obiektu musi spełniać szereg warunków. W Polsce jest wiele miejsc, gdzie, przynajmniej teoretycznie, można byłoby elektrownię jądrową wybudować. Wskaż najbliższą, możliwą lokalizację elektrowni jądrowej od Twojego miejsca zamieszkania, która spełnia wszystkie poniższe kryteria wyboru jednocześnie:

- elektrownia jądrowa musi mieć dostęp do dużego zbiornika wodnego (na potrzeby chłodzenia),
- elektrowni jądrowa musi być wybudowana na geologicznie stabilnym gruncie,
- elektrownia jądrowa musi być wybudowana z dala od dużych skupisk ludności,
- elektrownia jądrowa musi być zlokalizowana w pobliżu szlaków kolejowych i dróg, aby zapewnić dostawy w czasie budowy obiektu,
- budowa elektrowni jądrowej nie może powodować likwidacji obiektów historycznych czy niszczenia obszarów objętych ochroną przyrody,
- elektrownia jądrowa nie może być zlokalizowana w pobliżu ważnych, strategicznych obiektów, jak lotniska czy obiekty wojskowe,
- budowa elektrowni jądrowej musi mieć poparcie okolicznych mieszkańców.

Wybór lokalizacji uzasadnij, analizując wszystkie powyższe kryteria. Oczekujemy krótkiej, ale rzeczowej argumentacji każdego z powyższych punktów, ze wskazaniem źródeł pochodzenia pozyskanych do analizy informacji.