

Nukleo - Ogólnopolski Konkurs Wiedzy o Energii Jądrowej

III edycja, rok szkolny 2022/2023

ETAP 2

Instrukcja:

Spośród pięciu zadań z treścią, przygotowanych przez Komisję Konkursową, Uczestnik Konkursu przesyła rozwiązania **dwóch lub trzech wybranych przez siebie zadań z treścią** oraz rozwiązanie **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 konieczne zadania z maksymalną liczbą punktów. Każdy ma szansę dostać się do ścisłego finału!

Pełne rozwiązanie zadania z treścią powinno zostać spisane ręcznie (czytelnie i wyraźnie, najlepiej drukowanymi literami) na kartkach (wraz z wyprowadzeniem wzorów, komentarzami, ...). Skan lub zdjęcie dobrej jakości tych arkuszy należy przesłać przez platformę konkursową poprzez swoje dedykowane konto Uczestnika. Z kolei 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 **1 listopada 2022 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 częściowych obliczeń lub prezentacji sposobu rozumowania, a także komentarzy 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, diagramy i wykresy,
- kreatywność rozwiązania problemu,
- poprawność językowa, umiejętność i trafność posługiwania się słownictwem fizycznym.

Część I - ZADANIA Z TREŚCIĄ

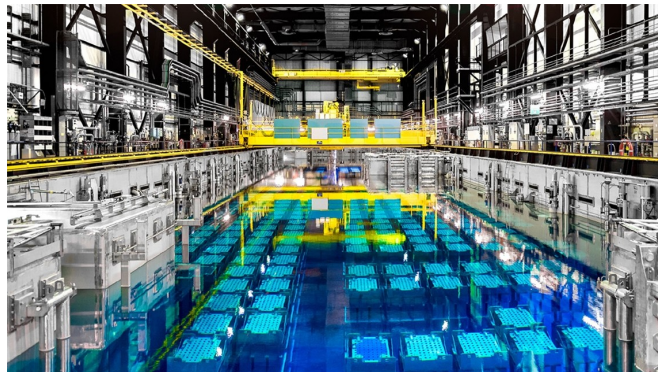
Zadanie 1 [6 punktów]

Wstęp:

W reaktorze jądrowym chłodziwo (zwykle woda) jest podgrzewane przez przenoszenie ciepła z paliwa jądrowego. Ciepło to produkowane jest w reakcji rozszczepienia jąder uranu. Paliwo jądrowe w rdzeniu reaktora ma postać kaset paliwowych, jak pokazano na Rys. 1. Zużyte kasety paliwowe wyjmowane są z reaktora jądrowego, jednak wciąż mają pewną moc cieplną, tzn. wciąż generują ciepło, mimo że nie zachodzi już reakcja rozszczepienia. Źródłem tego ciepła są fragmenty rozszczepienia, które w wyniku rozpadu promieniotwórczego emitują promieniowanie (energię). Dlatego zużyte kasety paliwowe trzeba chłodzić nawet po wyjęciu z reaktora jądrowego jeszcze przez wiele lat. W tym celu umieszcza się je w specjalnych basenach wypełnionych wodą, jak w przykładzie na Rys. 2.



Rysunek 1: *Kaseta paliwowa typowego reaktora jądrowego, źródło: World Nuclear Association*



Rysunek 2: *Basen do przechowywania zużytych kaset paliwowych, źródło: Nuclear Energy Agency*

Zadanie:

W basenie znajduje się $m = 1000$ ton wody pod ciśnieniem atmosferycznym i temperaturze T_0 . Woda w basenie jest cały czas przepompowywana, dzięki czemu utrzymywana jest stała temperatura T_0 . W przypadku awarii pompy jedna kaseta paliwowa jest w stanie podgrzać całą objętość wody w basenie o $\Delta T = 4$ °C w czasie $t = 72$ godziny. W tym samym czasie 10 zestawów paliwowych podgrzałoby całą objętość wody do $T_2 = 70,1$ °C.

Odpowiedz na pytania:

- 1) Jaka jest moc cieplna jednej kasety paliwowej?
- 2) Ile wynosi początkowa temperatura T_0 utrzymywana w basenie?
- 3) Ile czasu zajęłoby doprowadzenie do wrzenia wody w basenie przez 100 kaset paliwowych?

Należy przyjąć następujące założenia: pojemność cieplna wody jest niezależna od temperatury i wynosi $4200 \frac{J}{kg \cdot K}$, moc cieplna kaset paliwowych jest stała w czasie.

Zadanie 2 [6 punktów]

Wstęp:

Radon jest promieniotwórczym gazem szlachetnym, który posiada cztery naturalne izotopy promieniotwórcze: ^{218}Rn , ^{219}Rn , ^{220}Rn i ^{222}Rn . Spośród wymienionych izotopów, najdłuższy okres połowicznego rozpadu ma ^{222}Rn (3,8 dnia). W przypadku pozostałych, okres połowicznego rozpadu jest krótszy niż 1 minuta. ^{222}Rn jest jednym z izotopów wchodzących w skład promieniotwórczego szeregu uranowo-radowego, powstaje w wyniku rozpadu radu ^{226}Ra o okresie połowicznego rozpadu 1600 lat (Rys. 3).

^{222}Rn jest izotopem, który występuje na całej naszej planecie, a poziom jego stężenia zależy przede wszystkim od budowy geologicznej i zawartości uranu w podłożu. Wysoka zawartość uranu i wynikające z jego obecności duże uwolnienia radonu, są charakterystyczne dla skał granitowych. W związku z tym na obszarach o podłożu granitowym stężenie radonu w powietrzu jest wyższe.

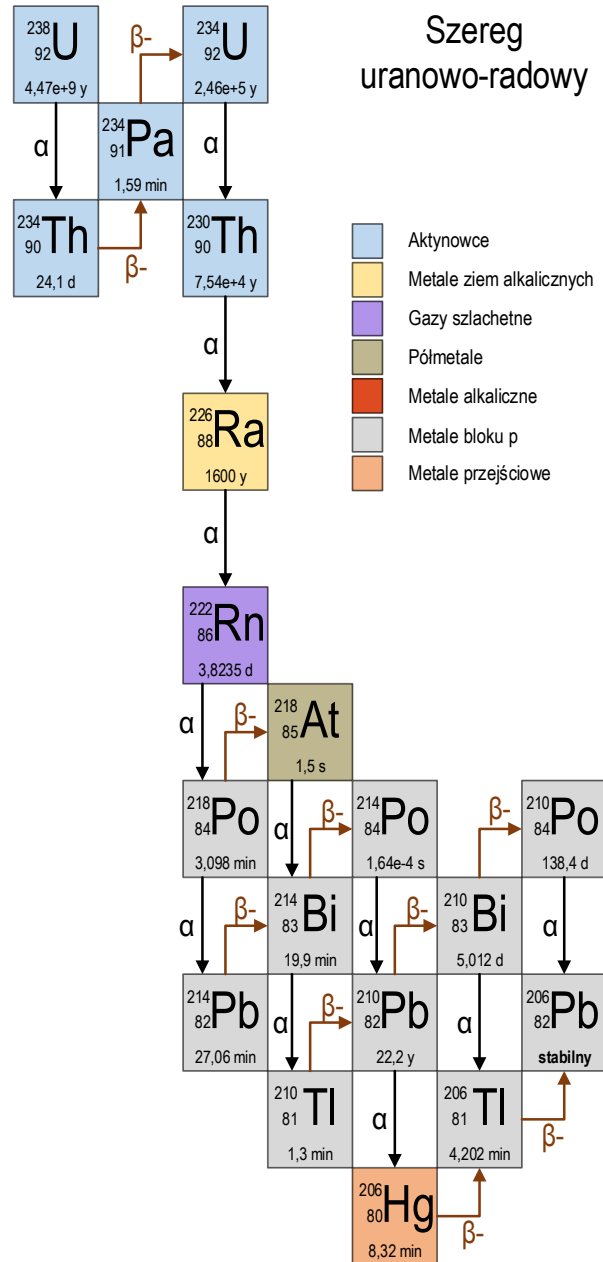
Zagrożenie promieniotwórcze związane z narażeniem na radon wynika w głównej mierze nie tyle z oddziaływania samego radonu, co z oddziaływania produktów jego rozpadu promieniotwórczego, czyli głównie izotopów promieniotwórczych polonu, ołowiu i bizmutu. Wysokie stężenia radonu notuje się m.in. na terenach Skandynawii, Czech lub Hiszpanii. W Polsce najwyższe stężenia Rn-222 rejestruje się w południowych obszarach (województwa dolnośląskie, opolskie, podkarpackie, świętokrzyskie, śląskie i lubelskie).

Promieniowanie pochodzące od radonu stanowi 40–50% dawki promieniowania, jaką otrzymuje mieszkaniec Polski od źródeł naturalnych. Zgodnie z obowiązującymi w Polsce przepisami, średnioroczne stężenie promieniotwórczego radonu w powietrzu w miejscach pracy wewnątrz pomieszczeń oraz pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi, nie może przekraczać 300 Bq/m^3 (bekereli na metr sześcienny). Bq - bekerel jest miarą aktywności promieniotwórczej, $1 \text{ Bq} = 1$ rozpad promieniotwórczy na sekundę.

Zadanie:

Oblicz ile jąder ^{222}Rn rozpadnie się w ciągu jednej godziny w płucach osoby, która przebywa w pomieszczeniu, w którym stężenie radonu w powietrzu wynosi 100 Bq/m^3 . Przyjmij następujące założenia:

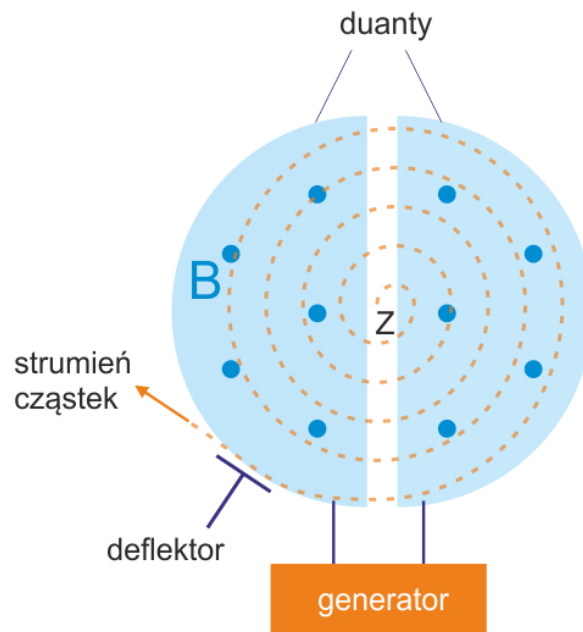
- osoba przebywająca w pomieszczeniu bierze jeden oddech co 5 sekund,
- objętość jednego oddechu: 3 litry,
- cały wdychany radon trafia do płuc.



Rysunek 3: Szereg promieniotwórczy uranowo-radowy, źródło: opracowanie własne

Zadanie 3 [10 punktów]*Wstęp:*

Cyklotron jest przykładem akceleratora cyklicznego. Zbudowany jest z dwóch, cylindrycznych elektrod, zwanych duantami, które są umieszczone w jednorodnym polu magnetycznym B prostopadłym do płaszczyzny duantów. Do tych elektrod doprowadzone jest z generatora zmienne napięcie, które cyklicznie zmienia kierunek pola elektrycznego w szczeliny pomiędzy duantami. Schemat cyklotronu przedstawiono na Rys. 4.



Rysunek 4: Schemat cyklotronu, źródło: Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie Centrum e-Learningu

Jeżeli ze źródła, które znajduje się w środku cyklotronu, zostanie wyemitowana naładowana cząstka, to porusza się ona pod wpływem pola elektrycznego w stronę jednego z duantów. Gdy cząstka wejdzie do duantów, wówczas przestaje na nią działać pole elektryczne (ekranowane przez miedziane ścianki duantów), natomiast zaczyna działać pole magnetyczne. Pod jego wpływem cząstka porusza się po torze kołowym i ponownie wchodzi w obszar pomiędzy duantami. Jeżeli równocześnie zostanie zmieniony kierunek pola elektrycznego pomiędzy nimi, to cząstka doznaje ponownego przyspieszenia w szczeliny. Ten proces jest powtarzany cyklicznie, pod warunkiem, że częstotliwość, z jaką krąży cząstka, jest zsynchronizowana z częstotliwością zmian pola elektrycznego pomiędzy duantami.

Cząstka przechodząc przez szczelinę pomiędzy duantami zwiększa swoją prędkość (przyspieszana polem elektrycznym) i równocześnie zwiększa promień R swojej orbity. Cząstki poruszają się po spirali. Po osiągnięciu maksymalnego promienia cząstki są wyprowadzane poza cyklotron za pomocą elektrody nazywanej deflektorem.

Zadanie:

Jaki powinien być promień, po jakim porusza się deuteron w cyklotronie, aby opuszczał go posiadając energię kinetyczną równą 10 MeV? Ile razy deuteron przebędzie odległość między duantami w cyklotronie, gdy różnica potencjałów między nimi będzie wynosiła 50 kV? Określ częstotliwość, jaką musi mieć źródło napięcia cyklotronu, jeżeli pole magnetyczne w akceleratorze wynosi 1,5 T, a masa deuteronu to $3,3 \cdot 10^{-27}$ kg? Wyprowadź wszystkie potrzebne zależności na częstotliwość oraz promień.

Zadanie 4 [10 punktów]

Wstęp:

Przemiana niestabilnego izotopu, któremu towarzyszy emisja cząstki α , β lub γ nazywana jest *rozpadem promieniotwórczym*. Proces ten jest przypadkowy dla pojedynczego izotopu, ale można przyjąć, że zachodzi ze stałym prawdopodobieństwem. Liczba rozpadów promieniotwórczych zachodzących w próbce w pewnym przedziale czasu Δt jest proporcjonalna zarówno do długości tego przedziału czasu jak i liczby jader promieniotwórczych N zawartych w próbce w danej chwili. Stąd zmianę (ubytek) liczby jader ΔN wyraża się zależnością:

$$\Delta N = -\lambda \cdot N \cdot \Delta t$$

gdzie współczynnik proporcjonalności λ nazywany jest *stałą rozpadu promieniotwórczego*. Jest to wielkość charakterystyczna dla danego izotopu.

Powszechnie używaną w fizyce jądrowej wielkością charakterystyczną dla konkretnego izotopu jest także czas połowicznego rozpadu $T_{1/2}$. Jest to wielkość, która opisuje czas, po którym połowa liczby jader promieniotwórczych rozpadnie się. Stała rozpadu promieniotwórczego oraz czas połowicznego rozpadu związane są ze sobą zależnością:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Zadanie:

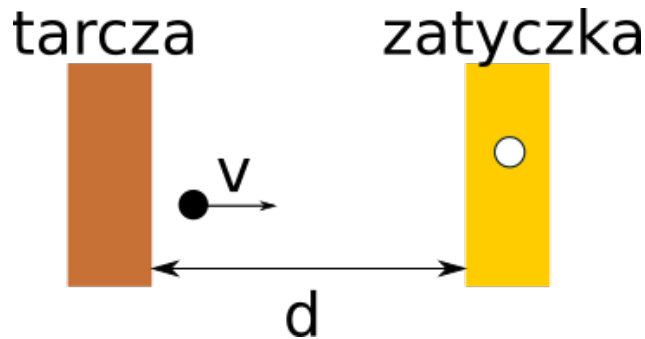
Pluton posiada 4 izotopy, w tym rozszczepialny ^{239}Pu , który rozpada się emitując cząstki α oraz promieniowanie gamma. Średnia energia kinetyczna cząstki α wynosi 5,149 MeV ($1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$), natomiast energię kwantów gamma możemy na potrzeby zadania zaniedbać. Prawdopodobieństwo rozpadu, a zatem liczba wyemitowanych cząstek α jest zależna od czasu połowicznego rozpadu. Dzięki temu czas połowicznego rozpadu ^{239}Pu można określić przez zanurzenie kulki wykonanej z tego izotopu o masie 120,1 g w ciekłym azocie. Objętość ciekłego azotu wystarcza do zatrzymania wszystkich cząstek α emitowanych przez ten izotop, dzięki czemu możemy zaobserwować parowanie cieczy odpowiadającej uwolnieniu mocy 0,231 W. Oblicz okres połowicznego rozpadu ^{239}Pu . Pamiętaj o uwzględnieniu energii odrzutu jądra.

Zadanie 5 [14 punktów]*Wstęp:*

Produktem radioaktywnego rozpadu jest najczęściej jądro znajdujące się w tzw. stanie wzbudzonym, czyli posiadające nadwyżkę energii. Energia ta jest zazwyczaj emitowana w małym ułamku sekundy w postaci kwantu promieniowania γ . Zdarza się jednak, że czas przebywania jądra w stanie wzbudzonym jest na tyle długi, że może on zostać zmierzony. Emisja kwantu promieniowania γ z poziomu wzbudzonego, podobnie jak każdy inny radioaktywny rozpad, podlega *prawu rozpadu promieniotwórczego*. Dysponując licznym zbiorem określonych jąder wzbudzonych nie jesteśmy w stanie przewidzieć, kiedy nastąpi rozpad każdego z nich, ale wiemy, że połowa z nich ulegnie rozpadowi w trakcie jednego *czasu połowicznego rozpadu* ($T_{1/2}$), $3/4$ w trakcie $2T_{1/2}$ itd.

Jedną z metod badania czasu połowicznego rozpadu jąder wzbudzonych jest pomiar średniej odległości, jaką pokonają przed emisją promieniowania γ , a dokładniej, zmierzenie, jaka część jąder ulegnie rozpadowi γ dla różnych odległości. Jeśli wiązka jąder ma określoną prędkość (energię kinetyczną), pozwala to na bezpośrednie wyznaczenie czasu połowicznego rozpadu.

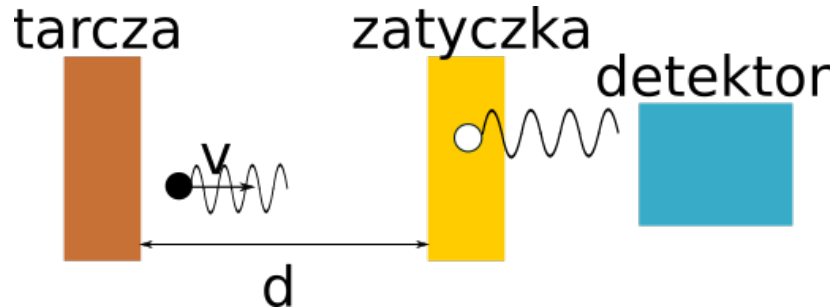
W praktyce konstruuje się układ (Rys. 5) składający się z tarczy (kolor brązowy), w której badane jądra są wytwarzane, oraz zatyczki (kolor żółty), w której jądra się zatrzymują. W zależności od odległości pomiędzy tarczą a zatyczką d , jądra, posiadające określoną prędkość i czas połowicznego rozpadu, w większości emitują promieniowania γ w locie (czarne koło) lub już po zatrzymaniu w zatyczce (białe koło). Zmieniając odległość d oraz mierząc, jaka część jąder rozpada się w locie, a jaka po zatrzymaniu, można wyznaczyć czas połowicznego rozpadu jąder $T_{1/2}$.



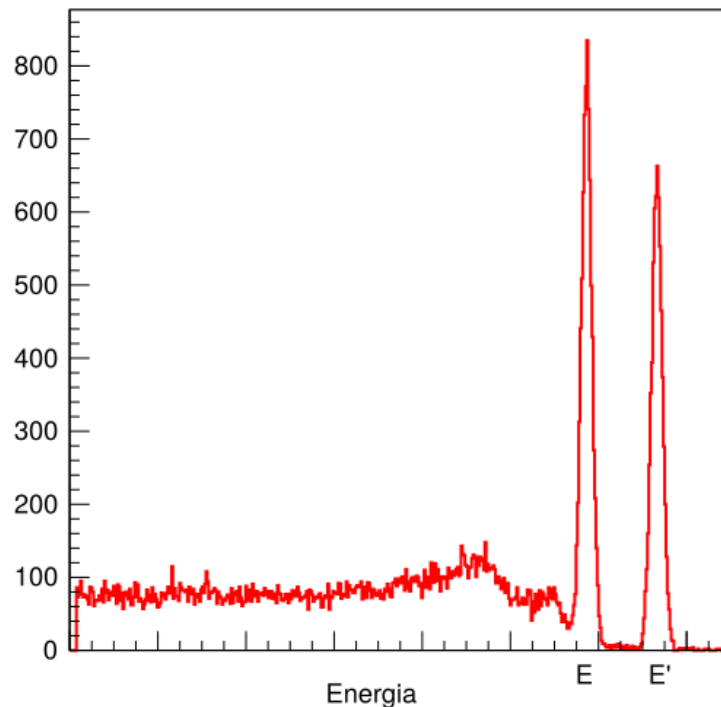
Rysunek 5: Schemat układu służącego do pomiaru czasu połowicznego rozpadu jąder, źródło: opracowanie własne

Pozostaje pytanie, jak rozróżnić jądra, które uległy rozpadowi γ w locie od jąder, które wyemitowały kwanty γ po zatrzymaniu. Aby to zrobić wykorzystuje się fakt, że promieniowanie elektromagnetyczne wyemitowane z obiektów ruchomych ma inną częstość od promieniowania wysyłanego przez identyczne obiekty pozostające w spoczynku, czyli *Efekt Dopplera*.

Załóżmy, że rozważane jądro wzbudzone emituje jeden kwant promieniowania γ o określonej energii E . Promieniowanie to jest mierzone przez detektor promieniowania jonizującego, Rys. 6. Jeśli jądro, z którego nastąpiła emisja promieniowania γ było w spoczynku, zmierzona energia kwantu γ wyniesie E (w prawdziwych detektorach sytuacja jest odrobinę bardziej skomplikowana), jeśli jednak jądro poruszało się w kierunku detektora, zmierzone promieniowanie ma większą częstość, a więc i energię. Efektem takiego pomiaru będzie widmo (czyli histogram zmierzonej energii) składające się z dwóch pików: odpowiadającego energii E oraz energii przesuniętej Efektem Dopplera E' , Rys. 7.



Rysunek 6: Schemat układu służącego do pomiaru czasu połowicznego rozpadu jąder, źródło: opracowanie własne



Rysunek 7: Przykładowe widmo uzyskane podczas pomiaru promieniowania gamma wyemitowanego przez jądra w ruchu i w spoczynku, źródło: opracowanie własne

Tym samym badając stosunek liczby zliczeń w pikie o energii E do liczby zliczeń w pikie o energii E' dla różnych wartości odległości d , można wyznaczyć czasu połowicznego rozpadu jąder $T_{1/2}$.

Zadanie:

- 1) Wyznacz, ile czasu t zajmuje jądom o masie A i energii kinetycznej T pokonanie odległości d .
- 2) Wyznacz energię promieniowania γ wyemitowana z jąder o masie A posiadających energię kinetyczną T , jaka zostanie zmierzona przez detektor ustawiony zgodnie z powyższą ryciną. Załóż, że takie jądra, znajdując się w spoczynku, wyemitują promieniowanie γ o energii E .
- 3) Jaka część jąder ulegnie promieniotwórczemu rozpadowi w locie, jeśli jądra posiadają masę A , energię kinetyczną T , czas połowicznego rozpadu $T_{1/2}$, a odległość pomiędzy tarczą i zatyczką wynosi d .
- 4) Dysponując podanym widmem (patrz załączony plik tekstowy) określ, jaki jest czas połowicznego rozpadu dla badanego przejścia elektromagnetycznego. Odległość pomiędzy tarczą a zatyczką wynosi $d = 100 \mu\text{m}$, prędkość mierzonych jąder $v = 1\% c$ (jeden procent prędkości światła).

Część II - ZADANIE PROBLEMOWE

Za rozwiązanie zadania problemowego można otrzymać maksymalnie **25 punktów**.

Transformacja energetyczna Polski

- a) Zbierz informacje na temat obecnie eksploatowanych **elektrowni węglowych w Polsce** – ile takich elektrowni węglowych pracuje w kraju, jaką mają moc elektryczną, ile energii elektrycznej wyprodukowały w ostatnich latach (sprawdź, jakie dane są dostępne i wybierz dowolny rok z okresu ostatnich 5 lat). Uwzględnij także elektrociepłownie, czyli zakłady, które produkują jednocześnie energię elektryczną i ciepłą. Zaprezentuj te dane i pamiętaj o podaniu ich źródła. Możesz posłużyć się przykładowymi źródłami: Polityka energetyczna Polski do 2040 r. (w tym załączniki), Raporty roczne z funkcjonowania Krajowego Systemu Energetycznego publikowane przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A., Program Polskiej Energetyki Jądrowej, czy inne wiarygodne źródła odnalezione w Internecie.
- b) Następnie przeanalizuj dwa poniższe problemy:

I) Podejmujemy decyzję o zastąpieniu (transformacji) wszystkich elektrowni węglowych eksploatowanych obecnie w Polsce odpowiednio tylko elektrowniami - a) wiatrowymi na lądzie, b) słonecznymi i c) jądrowymi. **Jaki procent powierzchni Polski zajęłyby poszczególne elektrownie po dokonanej transformacji?** Zwróć uwagę, że nie liczy się moc elektryczna danej elektrowni, ale ile energii elektrycznej może wyprodukować ona w ciągu roku. Elektrownia o danej mocy elektrycznej może mieć swoje ograniczenia techniczne i nie pracuje non-stop przez cały rok. Te ograniczenia wynikają np. z przeglądów technicznych, napraw, czy ciszy wiatrowej (w przypadku elektrowni wiatrowych). Stąd definiujemy tzw. *współczynnik wykorzystania (zainstalowanej) mocy* w ciągu roku. W analizie przyjmij następujące założenia dotyczące poszczególnych typów elektrowni:

- elektrownia wiatrowa na lądzie - jeden wiatrak o mocy 2 MWe (moc elektryczna wyrażana w megawatach elektrycznych) zajmuje obszar 1,13 km² i posiada współczynnik wykorzystania mocy - 30%,
- elektrownia słoneczna o mocy 1 MWe zajmuje obszar 2 ha (hektary) i posiada współczynnik wykorzystania mocy - 13%;
- elektrownia jądrowa o mocy 1000 MWe zajmuje obszar 3,4 km² i posiada współczynnik wykorzystania mocy - 93%,

Powyższe dane pochodzą z: *Projected Costs of Generating Electricity 2020 Edition* International Energy Agency and Nuclear Energy Agency; American Nuclear Society; Nuclear Energy Institute; fotowoltaikaonline.pl.

Wyniki zaprezentuj w postaci tabeli. Jakie wnioski wyciągniesz na jej podstawie?

II) Zakładamy, że wciąż jednak eksploatujemy i rozwijamy energetykę węglową w Polsce. Przeanalizuj, ile km^2 lasu należy posadzić, aby zrekompensować skutki działania dwutlenku węgla produkowanego przez elektrownie węglowe. Jaki procent powierzchni Polski musiałby zostać zalesiony? Wykonaj analizę dla okresu następujących 100 lat, zakładając, że:

- w pierwszym roku ilość wyprodukowanej energii elektrycznej w elektrowniach węglowych (na węgiel kamienny i brunatny) wynosi **138 TWh** (dane za rok 2021, Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A.),
- zapotrzebowanie na energię elektryczną w Polsce będzie rosnąć o **0,35%** rocznie (zakładamy, że współczynnik przyrostu jest stały w ciągu tych 100 lat) i wzrost tego zapotrzebowania pokrywany będzie tylko z elektrowni węglowych,
- średnia ilość CO_2 wyemitowanego przez elektrownie węglowe na 1 MWh wyprodukowanej energii elektrycznej wynosi **745 kg/MWh** (dane Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami),
- **1 km^2** lasu wiąże **450 ton CO_2** rocznie (źródło: Lasy Państwowe).

Analizę możesz wykonać ręcznie, z użyciem arkusza kalkulacyjnego lub przygotować prosty program w jednym z języków programowania. Decyzja należy do Ciebie. Całą analizę zamieść w swojej pracy i opisz. Na koniec wykonaj dwa wykresy:

- pierwszy - zależności powierzchni lasów, które należy posadzić, od czasu,
- drugi - procent powierzchni Polski, jaki zajęłyby te lasy, od czasu.

Jakie wnioski wyciągniesz na tej podstawie?

Punktacja - część a) - 4 punkty, część b-I) - 8 punktów, część b-II) - 13 punktów.

Regulamin Konkursu oraz formularz rejestracyjny dostępne są na stronie internetowej:

www.forumatomowe.org/konkurs-nukleo

Do wygrania atrakcyjne nagrody!