



Rozszczepienie jąder

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Gra edukacyjna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Rozszczepienie jąder

Zgliszcza elektrowni jądrowej w Czarnobylu (1986)

Źródło: Igor Kostin.

Czy wiesz, jak jest wytwarzana energia elektryczna? W elektrowniach konwencjonalnych powstaje w wyniku spalania opału, np.: węgla kamiennego lub biomasy w kotle parowym. Woda podgrzewa się i przechodzi w stan pary, która z kolei napędza turbiny. W przypadku elektrowni jądrowych, powstające ciepło, które ogrzewa wodę w reaktorze wodnym i napędza turbiny generatora prądu, to efekt rozszczepienia jądra atomowego w reaktorach jądrowych. Zatem elektrownia jądrowa różni się od cieplnej elektrowni konwencjonalnej źródłem uzyskiwania ciepła potrzebnego do wytworzenia pary wodnej. Jak myślisz, co trzeba zrobić, aby rozszczepić jądro? Czy możemy przewidzieć produkty rozszczepiania danego jądra?

Twoje cele

- Wymienisz typy reakcji jądrowych, do których przyporządkujesz poszczególne procesy.
- Porównasz kontrolowane i niekontrolowane reakcje rozszczepiania jąder.
- Zaproponujesz produkty rozszczepiania jądra atomowego.

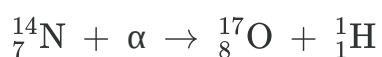
Typy reakcji jądrowych

Reakcje jądrowe można podzielić na cztery główne grupy:

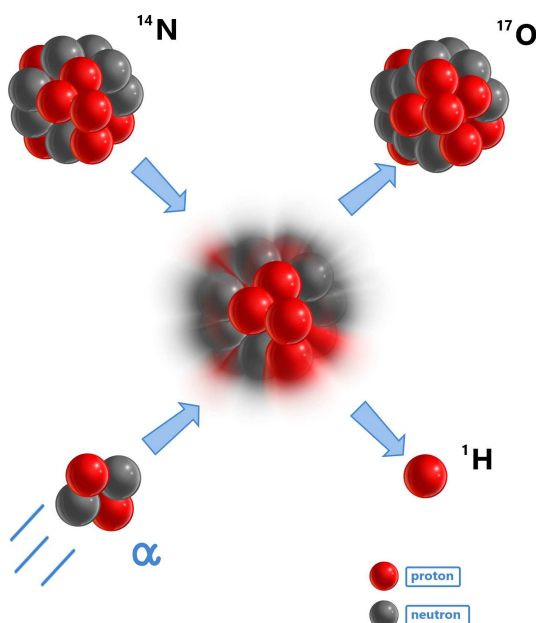
Proste reakcje jądrowe

Są to reakcje, w których bombardujemy jądro atomowe cząstkami o małej energii. Wchłonięcie ich przez jądro skutkuje emisją jednej lub dwóch cząstek elementarnych.

Przykładem reakcji jądrowej jest bombardowanie jądra atomu azotu strumieniem cząstek α , które po raz pierwszy w 1919 r. przeprowadził Rutherford [ru'tɛrfɔrt]. W wyniku zderzenia cząstek otrzymał izotop tlenu-17 oraz proton (jądro atomu wodoru-1). Cząstki alfa to jądra atomu helu-4. Przebieg tej reakcji możemy zapisać następująco:



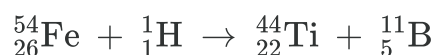
Graficzny schemat reakcji:



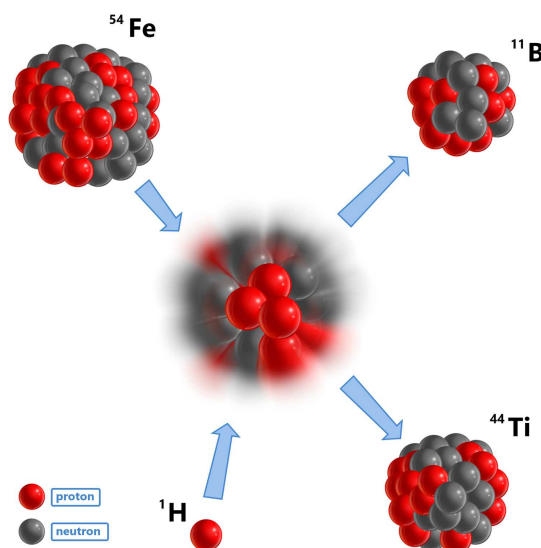
Kruszenie jąder

Następuje po bombardowaniu jądra atomowego cząstkami o dużej energii – protonami. W tym przypadku, bombardowane jądra tracą część swojej masy. W niektórych przypadkach, jądro może utracić 40% masy.

Przykładem takiej sytuacji jest kruszenie jądra żelaza. Przebieg tej reakcji możemy zapisać następująco:



Graficzny schemat reakcji:



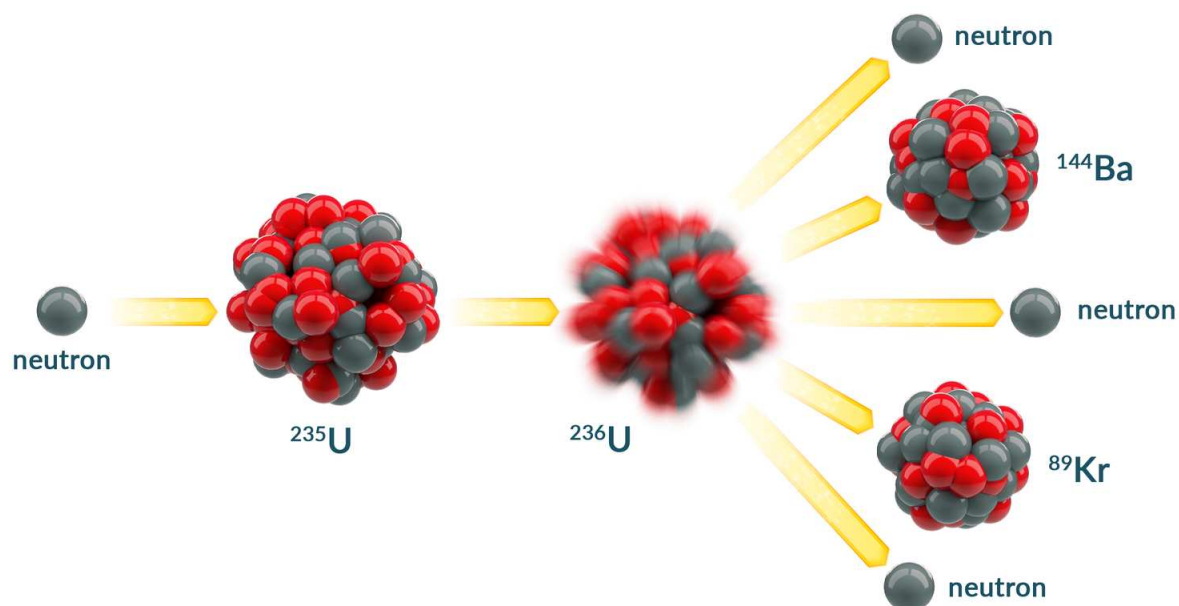
Rozszczepianie jąder

Rozszczepienie następuje po naświetleniu ciężkich jąder powolnymi neutronami. Produktami rozszczepienia są dwa duże jądra o podobnej masie oraz 2-3 neutrony.

Przykładem takiego procesu jest rozszczepienie jądra atomu uranu-235. Równanie tej reakcji możemy zapisać następująco:

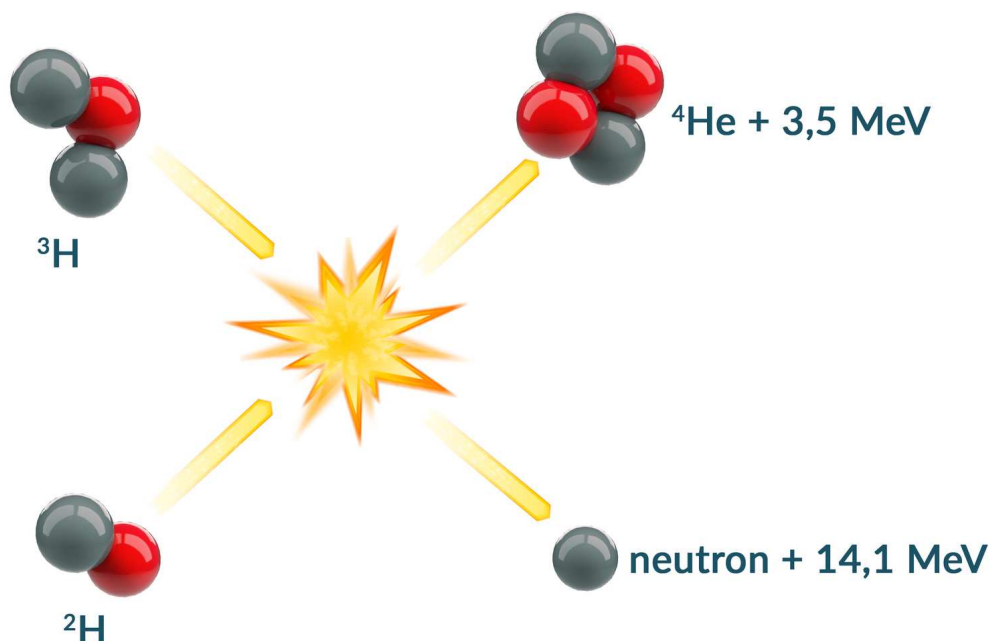


Graficzny schemat reakcji:



Reakcje termojądrowe

Zachodzą w bardzo wysokich temperaturach, np. na Słońcu. Polegają one na łączeniu się lżejszych jąder (wodoru, deuteru) w większe jądra kolejnych pierwiastków.

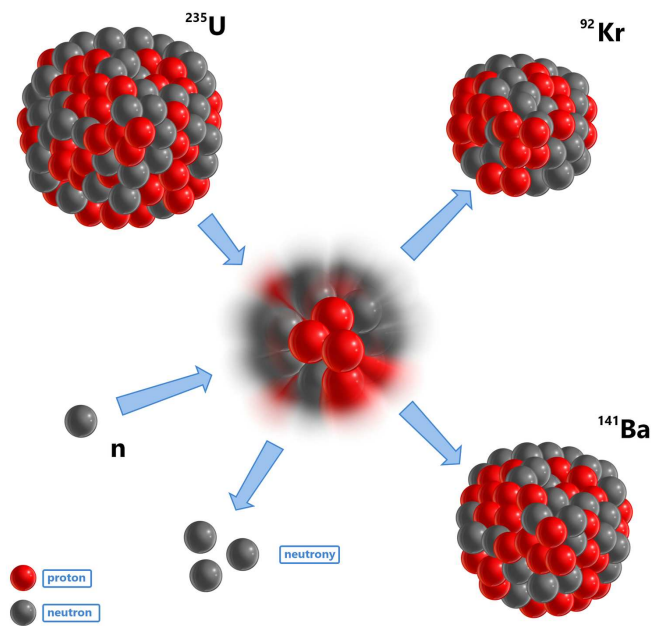


Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Rozszczepianie jąder

[Reakcja rozszczepienia jądra](#) została opisana po raz pierwszy przez Otto Hahna i Fritza Straßmanna [sztrāsmana] w 1939 r. Badacze wykazali, że jądro uranu-235 ulega rozszczepieniu pod wpływem **powolnych neutronów** (neutronów termicznych), czyli

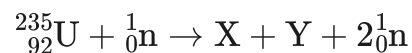
takich **neutronów**, których energia wynosi ok. 0,03 eV (**elektronowolta**). Jest to energia porównywalna do cząsteczek gazu w temperaturze pokojowej.



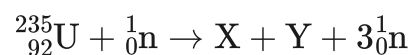
Reakcja rozszczepienia uranu-235

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Reakcję rozszczepienia uranu-235 można przedstawić schematycznie:



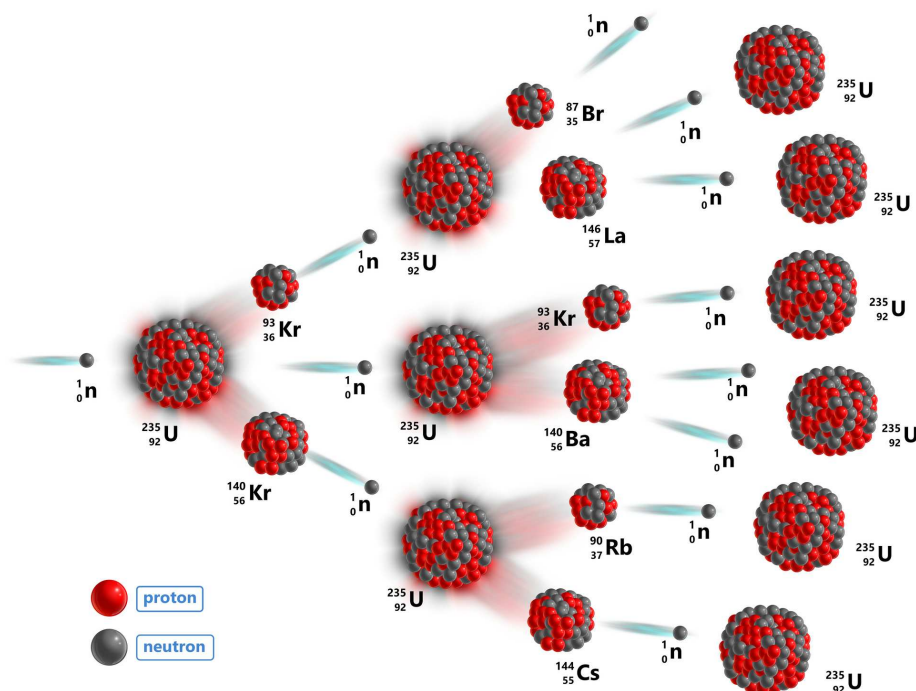
lub



Liczby masowe pierwiastków X i Y mogą przyjmować wartości od 72 do 161, mogą to być na przykład pary jąder atomowych kryptonu i baru lub ksenonu i strontu.

Produktami rozszczepienia uranu-235 może być około 300 izotopów 37 różnych pierwiastków. Najczęściej powstają jądra o liczbach masowych zbliżonych do 95 i 138. Przejście uranu-235 (w którym nukleony są związane słabiej) do dwóch bardziej trwałych jest połączone z wydzieleniem energii. Rozszczepienie jednego jądra uranu-235 dostarcza około 200 MeV (megaelektronowolta). Jeden gram uranu-235, ulegający rozszczepieniu, dostarcza 82000000 kJ (19570000 kcal). Jest to taka ilość ciepła, która odpowiada spaleniu aż ok. 2500 kg węgla!

W wyniku rozszczepienia jądra uranu powstają neutrony, które możemy nazwać pociskami inicjującymi dalsze rozszczepienie kolejnych jąder atomowych. Tego typu reakcję nazywamy **reakcją łańcuchową**.

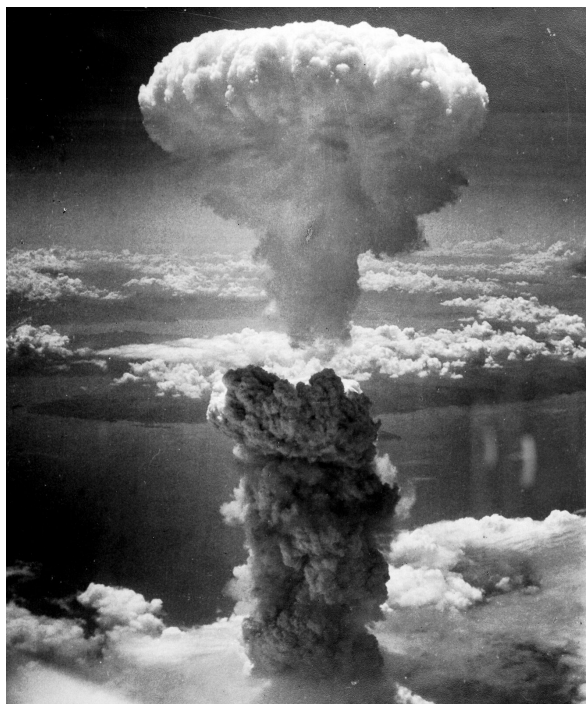


Reakcja łańcuchowa rozszczepienia uranu-235

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Neutrony, powstające w reakcji łańcuchowej, poruszają się bardzo szybko. Większość z nich ucieka do otoczenia, nie zderzając się z innymi jądrami. Jeżeli jednak materiał promieniotwórczy zawiera dużo jąder uranu-235, to pochłonie także wiele neutronów. Masę radioaktywnego izotopu, która jest potrzebna do podtrzymywania przebiegu łańcuchowej reakcji jądrowej, nazywamy **masą krytyczną**. Poniżej wymaganej ilości tego materiału reakcja rozszczepienia jąder nie jest podtrzymywana. W przebiegu reakcji może dojść do eksplozji, jeśli próbka posiada masę nadkrytyczną, a więc większą od masy krytycznej.

Niekontrolowane reakcje rozszczepienia jądra

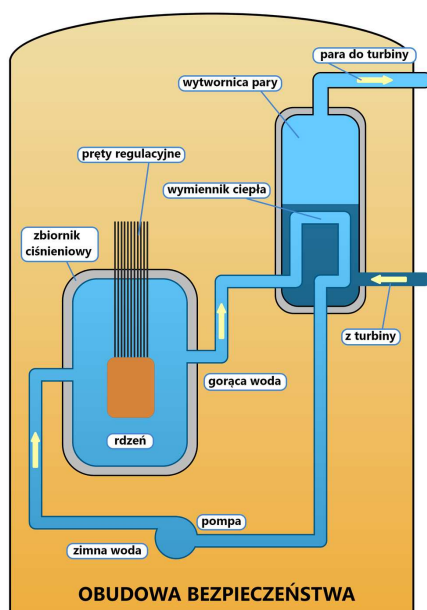


Wybuch bomby jądrowej w Nagasaki, 9 sierpnia 1945 r.

Źródło: dostępny w internecie: www.pl.wikipedia.org, domena publiczna.

Bomba atomowa ulega bardzo silnemu wybuchowi. Następuje on w wyniku połączenia dwóch porcji substancji radioaktywnej, przekraczając tym samym masę krytyczną. Gwałtownie zachodząca **reakcja łańcuchowa** wyzwala wówczas ogromne ilości energii. Krytyczna masa kuli plutonu o wielkości pomarańczy wynosi około 15 kg. Masę krytyczną można zmniejszyć przez umieszczenie materiału promieniotwórczego w środku konwencjonalnego materiału wybuchowego. Wybuch ten powoduje zbliżenie do siebie jąder atomowych i trudniejszą ucieczkę neutronów. Dla silnie skoncentrowanego plutonu jego masa krytyczna wynosi około 5 kg.

Kontrolowane reakcje rozszczepienia jądra



Wybuchowa reakcja rozszczepienia nie może zachodzić w elektrowni jądrowej, ponieważ paliwo stosowane w reaktorze jądrowym jest znacznie mniej skoncentrowane od paliwa, które służy do wzbudzenia wybuchowej reakcji jądrowej.

W reaktorze jądrowym przebiega znacznie wolniejsza **kontrolowana reakcja łańcuchowa**, podtrzymywana przez powolne neutrony. Za paliwo służą **pręty** UO_2 , zawierające około 3% **uranu-235** w rurkach ze **stopu cyrkonu**. Pręty paliwowe umieszcza się w **moderatorze** – materiale spowalniającym neutrony, które przechodzą między prętami paliwowymi. Szybkość reakcji łańcuchowej reakcji jądrowej musi być podtrzymywana na pewnym poziomie. Ma to zapobiec nadmiernemu przegrzaniu się i stopieniu reaktora. **Pręty kontrolne** wykonane są z **boru** lub **kadmu**. Wsunięte między pręty paliwowe wyłapują powolne neutrony, tym samym kontrolując pracę reaktora. Energia wydzielona podczas rozszczepienia jądra służy do podgrzania wody, następnie jest pompowana do **wymiennika ciepła**. Tam oddaje ciepło wodzie, która nie miała kontaktu z materiałem promieniotwórczym. Woda w wytwornicy przechodzi w stan pary i napędza **turbiny**, które, poruszając się, wytwarzają prąd elektryczny.

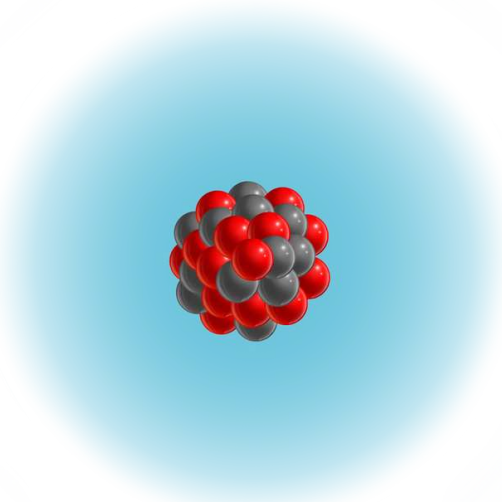
Problemem energetyki jądrowej jest dostępność paliwa – uranu-235, który stanowi tylko 0,7% rudy uranu nierozszczepialnego: uranu-238.

Słownik

jądro atomowe

centralna część atomu (zbudowana z protonów i neutronów) o rozmiarach ok. 10^5 razy mniejszych od rozmiarów atomu, skupiająca prawie całą jego masę

Model budowy atomu



JĄDRO ATOMOWE



PROTON



NEUTRON



CHMURA ELEKTRONOWA

elektronowolt, eV

jednostka energii, legalna, nie należąca do układu SI; energia kinetyczna, jaką uzyskuje elektron po przebyciu w próżni drogi między dwoma punktami, gdy różnica potencjałów między tymi punktami jest równa 1 V; $1 \text{ eV} \approx 1,60217733(49) \cdot 10^{-19} \text{ J}$

masa krytyczna

masa najmniejszej ilości materiału rozszczepialnego, w której może przebiec jądrowa reakcja łańcuchowa

reakcja łańcuchowa

reakcja, która po zainicjowaniu przebiega tylko w niewielkiej części ośrodka, lecz jej produkty pośrednie inicjują reakcję w kolejnych punktach ośrodka, na skutek czego rozwija się ona lawinowo bez potrzeby udziału dalszego zewnętrznego czynnika inicjującego

neutron

(łac. *neuter* „obojętny”) elektrycznie obojętna cząstka, składnik jąder atomowych (obok protonów)

moderator

(łac. *moderator* „ten kto powściąga”) spowalniacz neutronów; materiał stosowany do spowalniania neutronów, emitowanych w procesach rozszczepiania, w rdzeniach reaktorów jądrowych i specjalnych urządzeniach laboratoryjnych

rozszczepienia jądra atomowego

rozpad promieniotwórczy jądra, polegający na podzieleniu się jądra na dwie lub więcej, porównywalnych co do wielkości, części (fragmentów rozszczepienia)

cząstka alfa, cząstka α

jądro atomu helu o liczbie masowej $A = 4$, tj. ${}^4\text{He}$; składa się z dwóch protonów i dwóch neutronów

implozja

(łac. *im* „w, do, ku” i *explosio* „eksplozja”) wybuch skierowany do wewnątrz; gwałtowne zgniecenie naczynia wskutek działania ciśnienia zewnętrznego, przewyższającego ciśnienie panujące wewnątrz naczynia; występuje np. w kineskopach

masa podkrytyczna

masa materiału rozszczepialnego, w której zainicjowana reakcja jądrowa przestaje zachodzić, ponieważ wydziela się za mało neutronów

Bibliografia

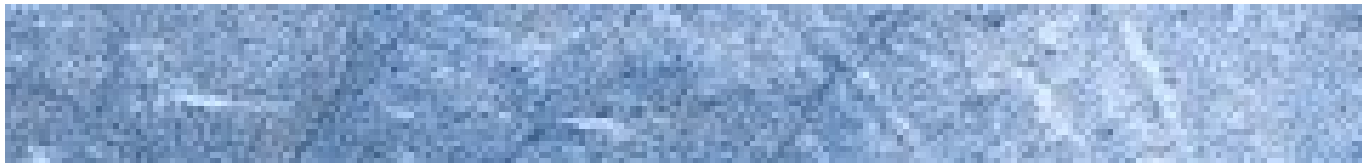
Atkins P., Jones L., *Chemia ogólna. Cząstki, materia, reakcje*, Warszawa 2018.

Bielański A., *Podstawy chemii nieorganicznej*, Warszawa 2007.

Brodzinski R. L., Rancitelli L. A., Cooper J. A., Wogman N. A., *High-Energy Proton Spallation of Iron*, „Physical Review C” 1971, 4.

Encyklopedia PWN

Gra edukacyjna



Test

Reakcje jądrowe

Jak dużo wiesz na temat reakcji jądrowych? Sprawdź swoją wiedzę, rozwiązując quiz. Gra składa się z trzech poziomów z limitem czasowym. Aby przejść do następnego etapu, najpierw musisz rozwiązać poprzedni. Powodzenia!

Poziom trudności:

łatwy

Limit czasu:

4 min

Twój ostatni wynik:

-

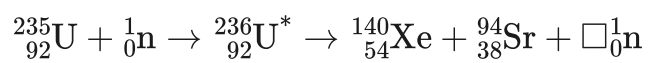
Uruchom

Ćwiczenie 1

Czym różni się reakcja termojądrowa od kruszenia jąder?

Ćwiczenie 2

Ile neutronów powstanie w poniższej reakcji? Uzupełnij równanie.



Równanie reakcji zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Przyporządkuj pojęcia do odpowiednich informacji.

Masa krytyczna

Zachodzi w niej niekontrolowane rozszczepienie atomów.

Reaktor jądrowy

Obiekt przemysłowy zamieniający energię jądrową na energię elektryczną.

Elektrownia jądrowa

Zachodzi w nim kontrolowane rozszczepienie atomów.

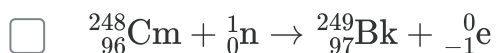
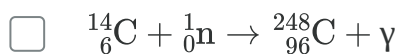
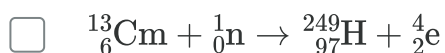
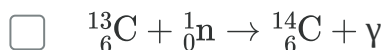
Bomba jądrowa

Masa najmniejszej ilości materiału rozszczepialnego, w której może przebiec jądrowa reakcja łańcuchowa.

Ćwiczenie 2



Zaznacz prawidłowe stwierdzenie. Może być więcej niż jedna poprawna odpowiedź.



Ćwiczenie 3



Odpowiedz, czy poniższe zdanie jest prawdziwe? Uzasadnij odpowiedź.

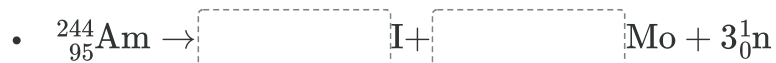
Z 1 kg paliwa uranowego otrzymamy tyle samo energii, co ze spalenia 2500 kg węgla kamiennego.

Odpowiedź:

Ćwiczenie 4



Podane niżej równania przedstawiają reakcje rozszczepienia. Uzupełnij i zbilansuj reakcje.



Ćwiczenie 5



Przy użyciu poniższego układu okresowego uzupełnij informacje.

1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H 1,01 wodor																	He 4,00 hel
2	3	4											5	6	7	8	9	10
	Li 6,94 lit	Be 9,01 beryl											B 10,81 bor	C 12,01 węgiel	N 14,01 azot	O 16,00 tlen	F 19,00 fluor	Ne 20,18 neon
3	11	12											13	14	15	16	17	18
	Na 22,99 sód	Mg 24,31 magnez											Al 26,98 glin	Si 28,09 krzem	P 30,97 fosfor	S 32,07 siarka	Cl 35,45 chlor	Ar 39,95 argon
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	K 39,10 potas	Ca 40,08 wapń	Sc 44,96 skand	Ti 47,87 tytan	V 50,94 wanad	Cr 52,00 chrom	Mn 54,94 mangan	Fe 55,85 żelazo	Co 58,93 kobalt	Ni 58,69 nikiel	Cu 63,55 miedź	Zn 65,38 cynk	Ga 69,72 gal	Ge 72,63 german	As 74,92 arsen	Se 78,97 selen	Br 79,90 brom	Kr 83,80 krypton
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
	Rb 85,47 rubid	Sr 87,62 stront	Y 88,91 itr	Zr 91,22 cyrkon	Nb 92,91 niob	Mo 95,95 molibden	Tc 97,91 technet	Ru 101,07 ruten	Rh 102,91 rod	Pd 106,42 pallad	Ag 107,87 srebro	Cd 112,41 kadm	In 114,82 ind	Sn 118,71 cyna	Sb 121,76 antymon	Te 127,60 tellur	I 126,90 jod	Xe 131,29 ksenon
6	55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
	Cs 132,91 cez	Ba 137,33 bar	La-Lu lantanowce	Hf 178,49 hafn	Ta 180,95 tantal	W 183,84 wolfram	Re 186,21 ren	Os 190,23 osm	Ir 192,22 iryd	Pt 195,08 platyna	Au 196,97 złoto	Hg 200,59 rtęć	Tl 204,38 tal	Pb 207,2 ołow	Bi 208,98 bismut	Po 209 polon	At 209,99 astat	Rn 222,02 radon
7	87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
	Fr 223,02 frans	Ra 226,03 rad	Ac-Lr aktynowce	Rf 261,10 rutherford	Db 268,10 dubn	Sg 271,13 seaborg	Bh 274,14 bohrr	Hs 277,15 has	Mt 288,10 meitner	Ds 289,10 darmstadt	Rg 292,10 roentgen	Cn 297,10 kopernik	Nh 294,10 nihon	Fl 299,10 flerow	Mc 300,10 moskow	Lv 303,10 livermor	Ts 315,10 tenes	Og 349,10 oganeson

lantanowce	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	La 138,91 lantan	Ce 140,12 cer	Pr 140,91 prazeodym	Nd 144,24 neodym	Pm 144,91 promet	Sm 150,36 samar	Eu 151,96 europ	Gd 157,25 gadolin	Tb 158,93 terb	Dy 162,50 dysproz	Ho 164,93 holm	Er 167,26 erb	Tm 168,93 lutet	Yb 173,04 ytterb	Lu 174,97 lutet

aktynowce	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Ac 227,03 aktyn	Th 232,04 tor	Pa 231,04 proaktyn	U 238,03 uran	Np 237,05 neptun	Pu 244,06 pluton	Am 243,06 ameryk	Cm 247,07 kiur	Bk 247,07 berkel	Cf 251,08 kaliforn	Es 252,08 einstein	Fm 257,10 ferm	Md 258,10 mendelew	No 259,10 nobel	Lr 262,11 lorens

metale	niemetale	gazy szlachetne	nieokreślone
--------	-----------	-----------------	--------------

Układ okresowy pierwiastków

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Izotop	Liczba masowa
stront	90
jod	131
cez	137

A. Liczba elektronów w jednym atomie strontu-90 wynosi: .

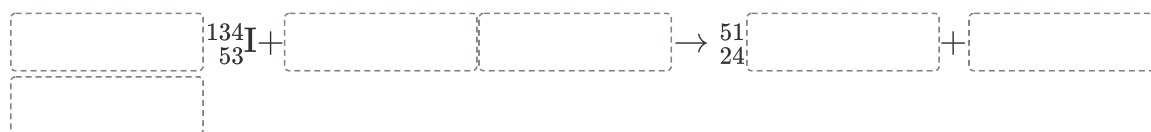
B. Liczba protonów w jednym atomie jodu-131 wynosi: .

C. Liczba neutronów w jednym atomie cezu-137 wynosi: .

Ćwiczenie 6



Uzupełnij poniższe równanie reakcji przemiany jądrowej.



Ćwiczenie 7



Porównaj efektywność spalania paliw kopalnych. W tym celu oblicz także energetykę jądrową – ilu tonom czystego węgla odpowiada energia otrzymana z 500 g?

Przyjmij, że energia pozyskana z 1 g uranu jest równa energii uzyskanej ze spalania 2500 kg czystego węgla.

Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 8



Wiedząc, że jeden gram czystego uranu-235, ulegający rozszczepieniu, dostarcza 82000000 kJ (19570000 kcal), oblicz, ile gramów rudy uranowej jest potrzebne do uzyskania energii 19570000 kcal. Ruda uranowa zawiera tylko 0,7% uranu-235 używanego jako paliwo. Wynik zaokrąglaj do drugiego miejsca po przecinku.

Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Dla nauczyciela

Scenariusz zajęć

Autor: Robert Wróbel, Krzysztof Błaszczak

Przedmiot: chemia

Temat: Rozszczepienie jąder

Grupa docelowa: uczniowie III etapu edukacyjnego, liceum, technikum; zakres rozszerzony

Podstawa programowa:

Zakres rozszerzony

I. Atomy, cząsteczki i stechiometria chemiczna. Uczeń:

4) oblicza zmianę masy promieniotwórczego nuklidu w określonym czasie, znając jego okres półtrwania; pisze równania naturalnych przemian promieniotwórczych (α , β^-) oraz sztucznych reakcji jądrowych.

Kształtowane kompetencje kluczowe:

- 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:

- wymieni typy reakcji jądrowych i przyporządkuje jedną reakcję do odpowiedniego typu reakcji;
- porówna kontrolowane i niekontrolowane reakcje rozszczepiania jąder;
- proponuje produkty rozszczepiania jądra atomowego.

Strategie nauczania:

- asocjacyjna.

Metody i techniki nauczania:

- burza mózgów;

- analiza tekstu źródłowego;
- pogadanka;
- metoda SWOT;
- technika gadająca ściana;
- quiz;
- technika zdań podsumowujących.

Formy pracy:

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca w grupach;
- praca zbiorowa.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami, słuchawkami i z dostępem do Internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda.

Przebieg zajęć

Faza wstępna:

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel wykorzystuje pytania zawarte we wprowadzeniu do e-materiału, np.: Jak myślisz, co trzeba zrobić aby rozszczepić jądro? Czy możemy przewidzieć produkty rozszczepiania danego jądra?
2. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele.
3. Rozpoznawanie wiedzy wyjściowej uczniów. Burza mózgów wokół pojęcia jądro atomowe.

Faza realizacyjna:

1. Nauczyciel dzieli uczniów na cztery grupy zadaniowe:

- I grupa – proste reakcje jądrowe;
- II grupa – kruszenie jąder;
- III grupa – rozszczepienie jąder;
- IV grupa – reakcje termojądrowe.

Uczniowie analizują materiał w dostępnych źródłach informacji, w tym e-materiał. Następnie trwa pogadanka w kontekście definiowania poszczególnych typów reakcji jądrowych, a chętni lub wskazani uczniowie zapisują przykłady poszczególnych typów na tablicy wyjaśniając istotę poszczególnych reakcji, po czym wszyscy uczniowie zapisują przykłady w zeszytach przedmiotowych. Nauczyciel wyjaśnia niezrozumiałe kwestie.

2. Nauczyciel odwołuje uczniów do gry dydaktycznej w e-materiale – praca w parach.
3. Uczniowie analizują materiał dotyczący kontrolowanej i niekontrolowanej reakcji jądrowej w dostępnych źródłach, w tym e-materiale z pomocą nauczyciela, po czym trwa pogadanka wyjaśniająca różnicę między kontrolowaną i niekontrolowaną reakcją jądrową. Uczniowie próbują przypisać zastosowanie powyższych reakcji w przemyśle.
4. Nauczyciel dzieli uczniów na dwie grupy zadaniowe, rozdaje uczniom arkusze papieru i mazaki. Uczniowie pracują metodą SWOT:
 - I grupa – reakcje kontrolowane;
 - II grupa – reakcje niekontrolowane. Po zakończonej pracy liderzy grup omawiają wytwory pracy grup z wykorzystaniem techniki gadająca ściana, przedstawiając mocne i słabe strony oraz szanse i zagrożenia reakcji kontrolowanych i reakcji niekontrolowanych.
5. Nauczyciel, prosi uczniów o podzielenie się na pięć drużyn. Wyjaśnia zasady quizu: każda drużyna wybiera lidera. Nauczyciel zadaje pytanie, drużyny naradzają się, po ustaleniu odpowiedzi lider drużyny zgłasza się do udzielenia odpowiedzi, w przypadku udzielenia błędnej odpowiedzi, pytanie przechodzi na kolejną grupę uczniów. Uczniowie po udzieleniu poprawnej odpowiedzi zapisują na kartce punkty, pod koniec quizu, uczniowie podliczają punkty – grupa która uzyskała najwięcej punktów wygrywa.

Faza podsumowująca:

1. Nauczyciel sprawdza wiedzę uczniów, wykorzystując pytania z e-materiału, np. polecenia do multimedium. Pyta:
 - Jakie są typy reakcji jądrowych?
 - Co to jest masa krytyczna, a co to jest masa nadkrytyczna?
 - Gdzie zachodzi kontrolowane rozszczepienie atomów, a gdzie niekontrolowane?
2. Jako podsumowanie lekcji nauczyciel może wykorzystać zdania do uzupełnienia, które uczniowie również zamieszczają w swoim portfolio:
 - Przypomniałem sobie, że...
 - Co było dla mnie łatwe...
 - Czego się nauczyłam/łem...
 - Co sprawiało mi trudność...

Praca domowa:

Uczniowie indywidualnie sprawdzają swoją wiedzę, wykonując ćwiczenia w zakładce „Sprawdź się” w e-materiale.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:

Gra edukacyjna może być wykorzystana przez uczniów podczas przygotowywania się do zajęć.

Materiały pomocnicze:

1. Quiz:

Plik o rozmiarze 60.32 KB w języku polskim

2. Polecenia podsumowujące (nauczyciel przed lekcją zapisuje je na niewielkich kartkach):

- Jakie są typy reakcji jądrowych?
- Co to jest masa krytyczna, a co to jest masa nadkrytyczna?
- Gdzie zachodzi kontrolowane rozszczepienie atomów, a gdzie niekontrolowane?

3. Arkusze papieru, mazaki, glutaki.