

FIZYKA JĄDROWA

- Budowa jądra atomowego
- Energia wiązania jądra atomowego
- Promieniotwórczość naturalna: α , β , γ
- Szeregi promieniotwórcze
- Działanie promieniowania jonizującego
- Choroba popromienna
- Czas połowicznego rozpadu
- Zastosowanie izotopów

- Reakcje jądrowe
- Reakcja łańcuchowa
- Masa krytyczna
- Energetyka jądrowa
- Reakcja syntezy jądrowej
- Bomba termojądrowa
- Synteza jądrowa w gwiazdach
- Cząstki elementarne

WSTĘP

https://pl.wikipedia.org/wiki/Fizyka_j%C4%85drowa

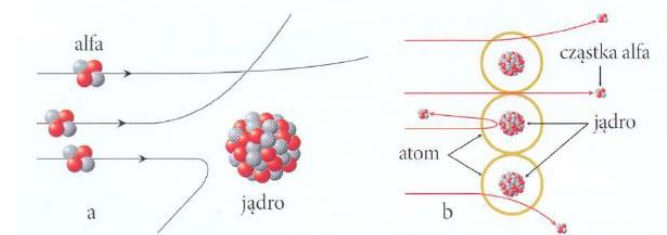
O możliwościach kryjących się w jądrach atomów świat usłyszał po zdetonowaniu pierwszych bomb atomowych. Kilka lat później gigantyczne ilości energii tkwiące w atomie udało się wykorzystać dla dobra ludzkości w elektrowniach. Trudno sobie wyobrazić funkcjonowanie dzisiejszego świata bez energetyki jądrowej. Jednak fizyka jądrowa, to nie tylko broń nuklearna, czy elektrownie atomowe.

Dzięki badaniom zjawisk związanych z tą dziedziną nastąpił tak duży postęp w metodach diagnozowania medycznego, takich jak magnetyczny rezonans jądrowy czy pozytonowa tomografia emisyjna. Poznanie praw i procesów zachodzących w jądrach atomowych pozwoliło wreszcie odpowiedzieć na pytania, dlaczego Słońce i gwiazdy świecą oraz skąd wzięła się taka różnorodność materii na Ziemi.

Prawie do końca XX wieku uważano, że najmniejszą cząstką materii jest atom. Wtedy to **John Thomson** odkrył ujemnie naładowaną cząstkę – **elektron**. Na tej podstawie przyjął, że atom jest kulą materii dodatnio naładowaną, w której pograżone są ujemne elektrony (jak rodzyнки w ciście).

Przełomowe odkrycia nastąpiły na początku XX wieku. Najpierw uczeń Thomsona - **Ernest**

Rutherford wykonał doświadczenie ze złotą folią bombardowaną cząstkami alfa, w którym dowiódł, że prawie cała masa atomu jest skupiona w bardzo **małym jądrze o dodatnim ładunku**, które otacza chmura elektronów.



Kilka lat później **Ernest Marsden** zaobserwował cząstkę mniejszą od cząstki alfa, obdarzoną ładunkiem dodatnim - cząstkę tę nazwano **protonem**.

Neutron został odkryty dość późno, bo dopiero w 1932 roku, kiedy to **James Chadwick** opublikował wynik swoich prac.

Okazuje się, że to nie jest koniec. O ile elektron wydaje się być niepodzielny, to już neutron i proton straciły swoją pozycję najmniejszych. Obecnie znanych jest ponad dwieście różnych cząstek elementarnych.

DOŚWIADCZENIE RUTHEFORDA

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/rutherford-scattering>

FIZYKA ATOMOWA I JĄDROWA

http://e-doswiadczenia.mif.pg.gda.pl/e_doswiadczenia-pl

BUDOWA JĄDRA ATOMOWEGO

https://pl.wikipedia.org/wiki/J%C4%85dro_atomowe

https://pl.wikipedia.org/wiki/Liczba_atomowa

https://pl.wikipedia.org/wiki/Liczba_masowa

https://pl.wikipedia.org/wiki/Jednostka_masy_atomowej

Dzisiaj wiemy, że jądro atomowe ma swoją strukturę i składa się z dodatnio naładowanych protonów i nienaładowanych neutronów. Jądro atomu wodoru, najprostszego pierwiastka znanego nam pierwiastka, składa się z tylko jednego protonu. Atomy kolejnych pierwiastków mają większą liczbę protonów, ale ich masa nie rośnie proporcjonalnie do liczby protonów. Okazało się bowiem, że w jądrach znajdują się dodatkowe cząstki - neutrony. Ponieważ mają niemalże taką samą masę jak protony, dlatego wspólnie protony i neutrony noszą nazwę - **nukleony**.

Omawiając jądro atomowe nie ma sensu rozważać wpływu powłok elektronowych, gdyż grawitacyjne przyciąganie elektronów i nukleonów jest zbyt małe. Poza tym siły utrzymujące nukleony w jednej całości muszą być znacznie silniejsze niż odpychanie elektrostatyczne dodatnio naładowanych protonów. **Nukleony w jądrze przyciągają się nawzajem siłami jądrowymi.**

Skład jądra każdego pierwiastka można ustalić dzięki analizie układu okresowego.

Liczba atomowa Z wskazuje liczbę protonów. Liczba masowa A – liczbę wszystkich nukleonów. Stąd wniosek, że liczbę neutronów można wyliczyć z wzoru:

$$N = A - Z$$

W układzie okresowym znajduje się również liczba opisująca masę atomu wyrażoną w **jednostkach masy atomowej (u)**.

1u jest to przybliżona masa jednego neutronu $1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Okazuje się, że masy atomowe nie są liczbami całkowitymi, a powinny być, skoro jest to liczba nukleonów w jądrze. Na przykład dla miedzi masa atomowa wynosi 63,546u. Jest to spowodowane tym, że miedź (i inne pierwiastki w skorupie ziemskiej) występuje w przyrodzie kilku odmianach, różniących się liczbą neutronów. Liczba protonów musi być jednakowa.

Różne odmiany tego samego pierwiastka nazywamy **izotopami**. Ponieważ jest je bardzo trudno rozdzielić na drodze chemicznej, dlatego są wymieszane, a masa atomowa jest ułamkiem.

Własności chemiczne różnych izotopów są identyczne (taka sama liczba elektronów walencyjnych i taka sama liczba protonów), natomiast własności fizyczne mogą być bardzo różne, co wykorzystuje się w przemyśle, medycynie i badaniach naukowych.

BUDOWA IZOTOPÓW

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/isotopes-and-atomic-mass>

Zadanie

Oblicz liczbę neutronów i protonów w jądrze Berylu ${}^8_4\text{Be}$

liczba atomowa $Z = 4$ oraz liczba masowa $A = 8$

Odp. Protony – 8. Neutrony - 4 ($A-Z$)

Podsumowanie

- Jądro atomowe zbudowane jest z nukleonów, czyli z protonów i neutronów.
- Nukleony przyciągają się siłami jądrowymi, które działają na małych odległościach.
- Atomy tego samego pierwiastka mogą się różnić liczbą neutronów w jądrze - są to różne izotopy.
- Liczba atomowa określa liczbę protonów w jądrze, liczba masowa - liczbę nukleonów w jądrze danego izotopu.
- Przykładowy zapis ${}^{27}_{13}\text{Al}$ jednoznacznie wskazuje na skład jądra atomowego glinu: 13 protonów i 14 neutronów.

ENERGIA WIĄZANIA JĄDRA

https://pl.wikipedia.org/wiki/Energia_wi%C4%85zania

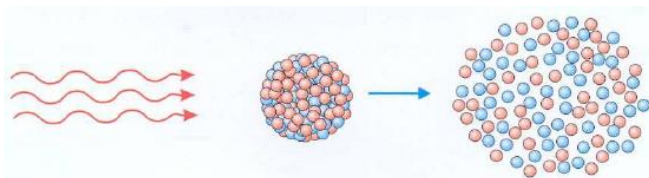
https://pl.wikipedia.org/wiki/Deficyt_masy

Jądro zbudowane jest z nukleonów, czyli protonów i neutronów. Wydaje się zatem, że masa jądra powinna być wielokrotnością masy nukleonu ($1,67 \cdot 10^{-27}$ kg) – ale tak nie jest! **Jądro atomowe ma mniejszą masę niż suma mas jej składników.**

Wydaje się to dziwne, gdyż w normalnym świecie obowiązuje prawo zachowania masy. Tę nietypową własność jąder atomowych nazywamy **deficytem masy**.

Jeżeli nukleony rozpatrujemy osobno, nic się nie dzieje. Jeśli natomiast postaramy połączyć się je w jądro, potrzebna będzie energia, na pokonanie sił odpychających nukleony.

Ta **nadwyżka energii wytworzona podczas połączenia nukleonów emitowana jest w postaci promieniowania, a cała masa układu nukleonów maleje**. Ta zasada obowiązuje również w drugą stronę. Jeśli chcemy rozbić jądro, to musimy dostarczyć energii, która zamienia się na masę.

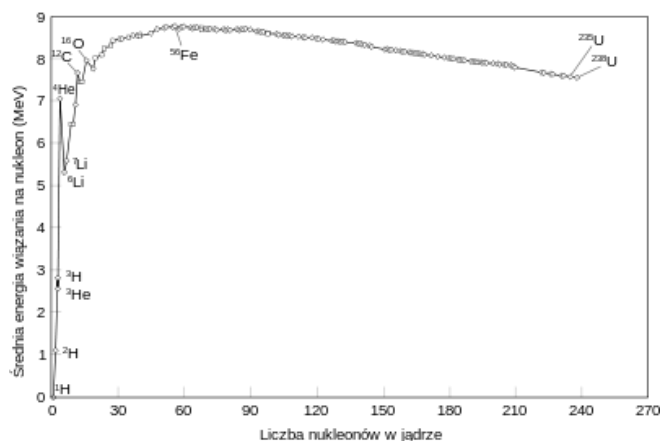


Podsumowanie

- Masa jądra atomowego jest o mniej więcej 1% mniejsza od sumy mas jego składników. Ta różnica mas jest nazywana deficytem masy.
- Każde ciało posiada energię spoczynkową, która wyraża się wzorem $E=mc^2$
- Masa jest miarą całkowitej energii układu.
- Aby rozdzielić jądro na poszczególne składniki trzeba dostarczyć energię potrzebną na rozerwanie wiązań jądrowych.
- Energię wiązania całego jądra obliczamy ze wzoru: $E = \Delta m \cdot c^2$ gdzie Δm oznacza deficyt masy.

Do obliczenia energii niedoboru masy pomocny stanie się wzór Einsteina opisujący związek pomiędzy masą a energią. Ta brakująca masa (i energia, która z niej jest wyzwolana) idzie na utrzymanie nukleonów w jądrze. Energię tę nazywamy **energią wiązania** jądra atomowego.

Po obliczeniu energii wiązania wszystkich pierwiastków, okazało się, że jest ona w przedziale 7-8 MeV, co pokazuje poniższy rysunek.



- Podczas przyłączania nukleonu do jądra jest emitowana energia równa energii wiązania nukleonu w jądrze.
- Jądro ma mniejszą masę niż suma jego składników, gdyż „brakująca” część zawarta jest w energii utrzymującej nukleony w „jednym kawałku”.
- Jeżeli będziemy łączyli ze sobą nukleony, to „znika” masa, ale wyzwala się znaczna ilość energii, która przekazywana jest otoczeniu.

ODDZIAŁYWANIA

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/atomic-interactions>

ZADANIE

Oblicz niedobór masy jądra helu, które składa się z 2 protonów i 2 neutronów.

Masa jądra helu wyznaczona doświadczalnie jest równa $M_d = 6,645 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Masy poszczególnych składników wynoszą: $M_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ i $M_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Jaka energia jest związana z tym niedoborem masy?

Masa składników jądra helu (oddzielnie)

$$M = 2 \cdot M_p + 2 \cdot M_n = 6,695 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Niedobór masy

$$\Delta M = M - M_d = 0,05 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Wartość energii wiązania

$$E = m \cdot c^2 \Rightarrow E = \Delta M \cdot c^2 \Rightarrow E = 4,5 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

Energia przypadająca na jeden nukleon

$$E_N = 1,25 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

Energia wiązania wyrażona w elektronowoltach

$$E_N = \frac{1,25 \cdot 10^{-12} \text{ J}}{1,6 \cdot 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{eV}}} = 7,03 \cdot 10^6 \text{ eV} = 7,03 \text{ MeV}$$

PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ NATURALNA

https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniotw%C3%B3rczo%C5%9B%C4%87_naturalna

<https://pl.wikipedia.org/wiki/Radioaktywno%C5%9B%C4%87>

https://pl.wikipedia.org/wiki/Henri_Becquerel

https://pl.wikipedia.org/wiki/Maria_Sk%C5%82odowska-Curie

<https://pl.wikipedia.org/wiki/Izotopy>

W 1896 roku francuski fizyk **Henri Becquerel**, prowadzący badania nad właściwościami światła, zauważył, że ruda uranowa położona na kliszy fotograficznej spowodowała jej zaciemnienie, mimo że klisza była osłonięta od światła. W ten sposób zostało odkryte zjawisko **promieniotwórczości** i jednocześnie poznano jedną z metod jego badania.

Zjawiskiem tym zainteresowała się **Maria Skłodowska-Curie**, późniejsza dwukrotna laureatka Nagrody Nobla. Odkryła, że natężenie tego niewidzialnego promieniowania, które zaciemnia kliszę fotograficzną, jest związane z liczbą atomów pierwiastka promieniotwórczego zawartych w próbce.

Gdy poznana została budowa atomu, stało się jasne, że odkryte promieniowanie pochodzi z jądra atomowego.

Pierwiastki (lub ich izotopy) emitujące promieniowanie nazywamy **pierwiastkami (izotopami) promieniotwórczymi**. Jądra atomów promieniotwórczych nazywamy **niestabilnymi**, w odróżnieniu od tych trwałych, stabilnych.

Dalsze badania wykazały, że istnieją trzy typy takiego naturalnego promieniowania: α , β , γ . Mimo dużych sił utrzymujących nukleony w jądrze okazało się, że niektóre pierwiastki oraz wszystkie cięższe od bizmutu są nietrwałe. Rozpadają się w sposób spontaniczny, zmieniając swój chemiczny skład. Zjawisko to nazywamy **rozpadem promieniotwórczym**.

Obecnie wiemy też, że w skorupie ziemskiej znajduje się około 60 różnych pierwiastków promieniotwórczych.

ROZPAD PROMIENIOTWÓRCZY

http://fizyka.zamkor.pl/aplety/programy_fizyka_gimnazjum/RozpadProm/RozpadProm.htm

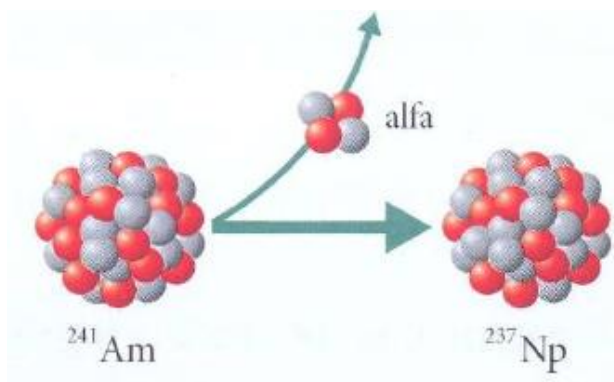
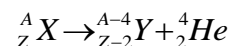
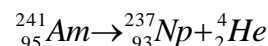
PROMIENIOWANIE ALFA

https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniowanie_alfa

Związane jest z emisją **cząstek alfa**. Można obserwować je w wyniku rozpadu jąder, których liczba masowa jest większa niż 83. Jest prawie nieprzenikliwe - w powietrzu cząstki alfa pokonują zaledwie kilka centymetrów. Jest bardzo **jonizujące**, to znaczy, że gdy przechodzi przez materię, odrywa elektrony od atomów i powoduje rozbijanie związków chemicznych. Ta jej właściwość wykorzystywana jest w laboratoriach, gdyż jak pocisk potrafi rozbijać inne cząstki.

Ogólnie można stwierdzić, że podczas promieniowania alfa, **jądro X przechodzi w nowe jądro Y, które ma dwa mniej protony i dwa mniej neutrony**. Wypromieniowywana cząstka alfa, to hel (He), który ma cztery nukleony: dwa protony i dwa neutrony.

Dla rozpadu uranu reakcja będzie miała postać:



ROZPAD ALFA

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/alpha-decay>

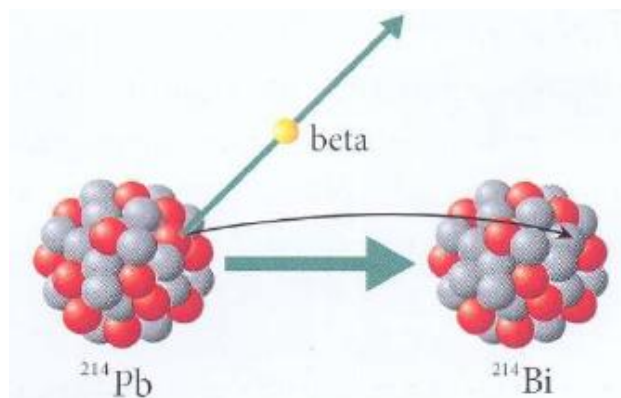
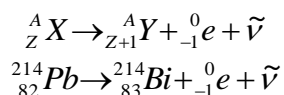
PROMIENIOWANIE BETA

https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniowanie_beta

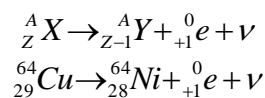
Związane jest z elektronami i kilkoma nowymi cząstkami, które zostały odkryte znacznie później. Jest również jonizujące i cechuje się większą przenikliwością niż promieniowanie alfa. W powietrzu jego zasięg to kilkaset metrów, w ciałach stałych kilka milimetrów.

Ale jak to się dzieje, że elektrony emitowane są z jądra atomowego! Ale skąd się tam wzięły, skoro w jądrze znajdują się tylko nukleony! Otóż okazuje się, że **neutron może zamieniać się w proton, co dodatkowo skutkuje powstaniem elektronu i nowych cząstek**. Rozpad beta może przebiegać na trzy sposoby:

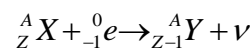
* **beta minus β^-** - powstaje nowy pierwiastek (jeden proton więcej), elektron i nowa cząstka antyneutrino.



* **beta plus β^+** - powstaje nowy pierwiastek (jeden mniej proton), nowe cząstki **pozyton** (elektron z ładunkiem dodatnim) oraz **neutrino**.



* **wychwył elektronu** - jądro atomowe wychwytyje elektron poruszający się na orbicie, powstaje nowy pierwiastek (jeden mniej proton) i następuje emisja neutrino.



ROZPAD BETA

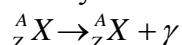
<http://phet.colorado.edu/en/simulation/beta-decay>

PROMIENIOWANIE GAMMA

https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniowanie_gamma

Przypomina promieniowanie rentgenowskie, ale energia fotonów jest większa. Jest bardzo przenikliwe; potrzeba bardzo grubej blachy ołowianej, aby je zatrzymać. Taka duża przenikliwość świadczy o tym, że nie oddziałuje z materią, którą przenika (nie jonizuje jej). Zwykle towarzysze rozpadom alfa i beta, jako nadwyżka energii.

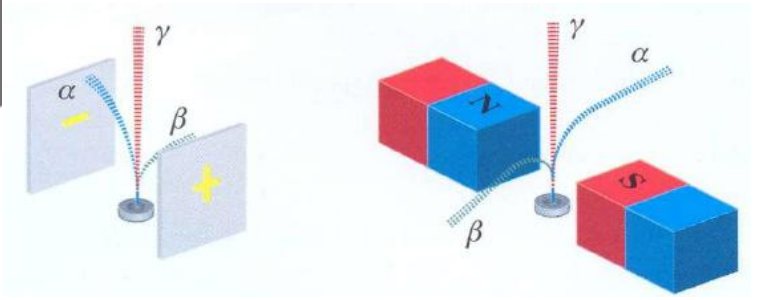
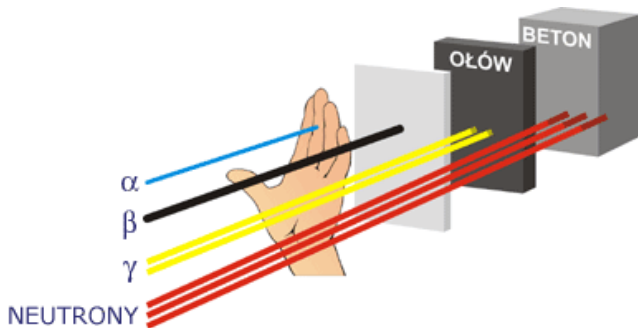
Jądro nie ulega przekształceniu w inny pierwiastek, emitowana jest jedynie energia, a jądro przechodzi na niższy stan energetyczny



PROMIENIOWANIE NEUTRONOWE

https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniowanie_neutronowe

Do tych trzech podstawowych dołączyć należy jeszcze promieniowanie n – którego składnikami są neutrony. Jest ono częścią promieniowania przenikliwego, które powstaje podczas wybuchu jądrowego. Jest najbardziej przenikliwe. Zatrzymuje dopiero gruba płyta ołowiu lub kilkumetrowa warstwa betonu.



CZĄSTKA W POLU MAGNETYCZNYM
<http://open.agh.edu.pl/course/view.php?id=100>
 animacja 13

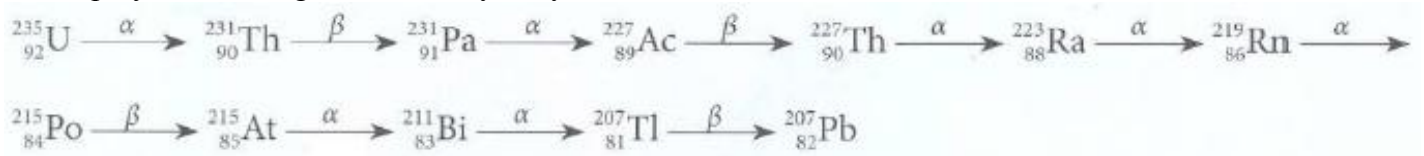
SZEREGI PROMIENIOTWÓRCZE

https://pl.wikipedia.org/wiki/Szereg_promieniotw%C3%B3rczy

Pierwiastki ciężkie, które występują w przyrodzie, tworzą tzw. szeregi promieniotwórcze. Polega to na tym, że atom, który powstał z rozpadu atomu danego pierwiastka, jest również

niestabilny i ulega rozpadowi. Powstaje z niego inny atom również promieniotwórczy itd., aż na końcu powstaje trwały izotop ołowiu.

Dla przykładu szereg uranowo-aktynowy:

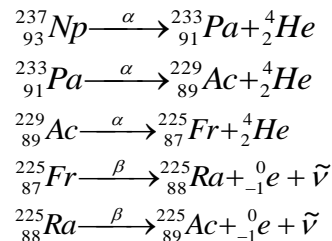


SZEREGI PROMIENIOTWÓRCZE

<http://cmf.p.lodz.pl/efizyka/mod/resource/view.php?id=144>

ZADANIE

Jądro izotopu neptunu ${}^{237}_{93}\text{Np}$ ulega kolejno trzem rozpadom alfa i dwóm rozpadom beta minus. Określ, jakie jądro powstanie w wyniku tych rozpadów?



Podsumowanie

- Promieniotwórczość to zjawisko emisji promieniowania jonizującego przez niektóre izotopy nazywane promieniotwórczymi.
- Rozpadem promieniotwórczym nazywamy przemiany zachodzące w jądrze atomowym, prowadzące do emisji promieniowania jonizującego.
- Promieniowanie jądrowe jest przenikliwe i jonizujące.

- Promieniowania α i β mają naturę cząsteczkową. Po emisji promieniowania zmienia się skład jądra atomowego.
- Promieniowanie γ jest najbardziej przenikliwe ze wszystkich rodzajów promieniowania jądrowego. Towarzyszy ono rozpadowi α i β . Po emisji kwantu γ skład jądra nie ulega zmianie.

DZIAŁANIE PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO

<https://pl.wikipedia.org/wiki/Jonizacja>

https://pl.wikipedia.org/wiki/Mikrofalowe_promieniowanie_t%C5%82a

https://pl.wikipedia.org/wiki/Detekcja_promieniowania_j%C4%85drowego

https://pl.wikipedia.org/wiki/Licznik_Geigera

https://pl.wikipedia.org/wiki/Licznik_scyntylacyjny

https://pl.wikipedia.org/wiki/Komora_p%C4%99cherzykowa

<https://pl.wikipedia.org/wiki/Radon>

Promieniowanie jądrowe jest jonizujące, to znaczy przenikając przez materię (i organizmy żywe) zostawia za sobą ślad w postaci zjonizowanych (uszkodzonych) atomów. Niesie to ze sobą określone zagrożenia dla organizmów żywych. Jedna jonizująca cząstka jest w stanie uszkodzić tyle struktur komórkowych, że ta umiera. Jednak organizmy składające się z miliardów komórek wykształciły w drodze ewolucji wiele mechanizmów obronnych – broniąc się choćby cały czas przed tzw. **promieniowaniem tła**, na które wystawieni jesteśmy cały czas (kosmiczne, ziemskie).

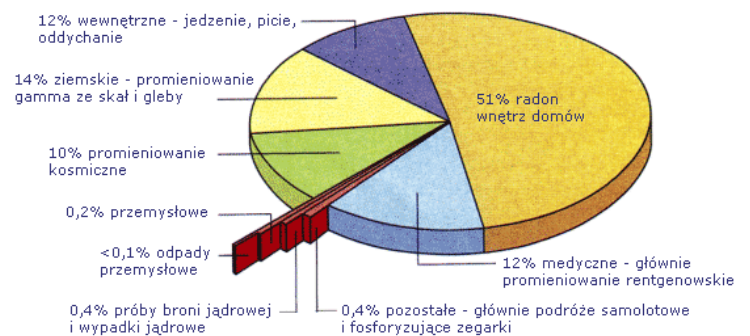
Umiejętne korzystanie z promieniotwórczości ma też zastosowanie korzystne dla ludzi: medycyna (naświetlanie komórek rakowych), sterylizacja żywności i lekarstw, ocena wieku skał i wykopalisk, wykrywanie utajonych wad materiałowych, przyspieszanie procesów chemicznych, przemysł energetyczny.

Detekcja promieniowania

Najprostszym detektorem promieniowania jest klisza fotograficzna. Najbardziej znanym urządzeniem do wykrywania jest **licznik Geigera-Müllera**, w którym promieniotwórcze cząstki

powodują przepływ prądu w liczniku. Stosuje się również **liczniki scyntylacyjne**, w których promieniotwórcze cząstki wywołują scyntyłacje (błyski świetlne) po przejściu cząstki przez specjalną substancję. W badaniach naukowych natomiast stosuje się **komory pęcherzykowe i komory mgłowe**.

Promieniotwórczość naturalną przedstawia diagram. Największy udział w rocznej dawce ma radon, gaz promieniotwórczy pochodzący z rozpadu uranu znajdującego się w skałach, glebie materiałach budowlanych. **Radon** gromadzi się głównie w pomieszczeniach zamkniętych, zbudowanych z kamienia, dlatego należy często wietrzyć zamknięte pomieszczenia.



CHOROBA POPROMIENNA

https://pl.wikipedia.org/wiki/Choroba_popromienna

https://pl.wikipedia.org/wiki/Dawka_promieniowania

Ekspozycja człowieka na promieniowanie setki razy silniejsze niż promieniowanie tła powoduje, że ilość jonów oraz uszkodzonych cząsteczek w naszych komórkach jest na tyle duża, że organizm musi uruchomić specjalne mechanizmy obronne. Pojawiają się gorączka, osłabienie, bóle głowy, nudności. Zaczyna się choroba popromienna.

Przebieg i leczenie tej choroby są podobne do przebiegu i leczenia infekcji wirusowych (np. grypy), dlatego że uszkodzone cząsteczki białek czy enzymów traktowane są przez nasz organizm jak toksyny wytwarzane przez wirusy.

Miarą pochłoniętej przez organizm żywej energii jest **dawka promieniowania**, określana jako stosunek pochłoniętej energii do masy organizmu. Przy określaniu maksymalnej dopuszczalnej dawki promieniowania uwzględnia

się nie tylko masę organizmu, ale i rodzaj promieniowania, czas ekspozycji (jak długo organizm wystawiony był na promieniowanie).

Pochłonięcie dawki tysiące razy większej niż promieniowanie tła powoduje ciężką chorobę popromienną, w której pojawiają się oparzeliny, trudno gojące się rany, oparzenia i krwotoki wewnętrzne, mogące prowadzić do śmierci.

Czasem dochodzi do uszkodzenia materiału genetycznego i jeżeli organizm w porę nie rozpozna uszkodzonej komórki, może rozwinąć się choroba nowotworowa.

Nie ma danych potwierdzających, że występowanie nowotworów jest zależne od pochłoniętej dawki, dla małych dawek promieniowania.

Podsumowanie

- W detekcji promieniowania jądrowego wykorzystuje się jego właściwości jonizujące.
- Promieniowanie jądrowe niszczy bakterie.
- Źródłem tła promieniowania są izotopy promieniotwórcze zawarte w skorupie ziemskiej i w atmosferze.

- Przyjęcie przez człowieka dawki kilkaset razy większej niż tło prowadzi do choroby popromiennej, która jest uleczalna.
- Szkodliwość promieniowania zależy od dawki pochłoniętego promieniowania. Jednostką dawki pochłoniętej jest siwert (Sv)

CZAS POŁOWICZNEGO ROZPADU

https://pl.wikipedia.org/wiki/Czas_po%C5%82owicznego_rozpadu

W wyniku rozpadu promieniotwórczego zachodzi zmiana składu jądra. Powstaje nowe jądro, a po dopasowaniu powłok elektronowych – nowy atom. Moment emisji promieniowania z pojedynczego jądra jest nieprzewidywalny, ale można matematycznymi metodami badać duże próbki promieniotwórczego materiału.

Okazało się, że różne izotopy mają różną szybkość rozpadu, oraz że wraz z upływem czasu ta szybkość maleje. Im większa masa materiału, tym więcej jąder się rozpada. Im dłuższy upływ czasu, tym rozpada się mniejsza ilość jąder.

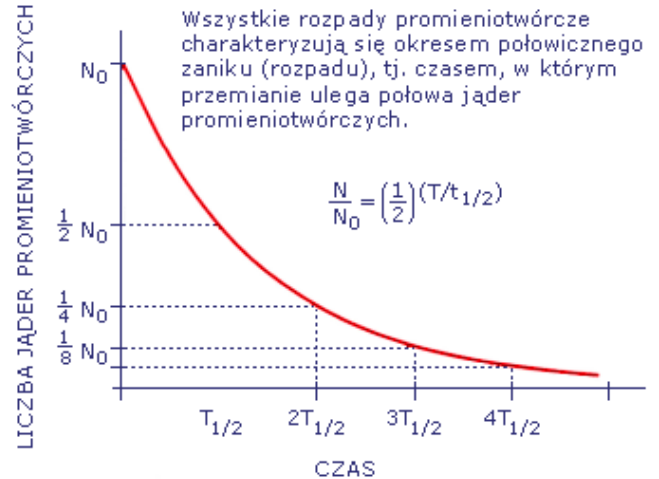
W wyniku pomiarów okazało się, że w **określonej jednostce czasu, tzw. czas połowicznego rozpadu, przemianie ulega zawsze połowa pozostałych jąder. Prawo rozpadu promieniotwórczego** można zapisać wzorem:

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}},$$

gdzie:

N – liczba jąder izotopu po czasie t ,
 N_0 – początkowa liczba jąder izotopu,
 t – czas trwania rozpadu,
 $T_{1/2}$ – czas połowicznego rozpadu

Co to w praktyce oznacza? Jeśli na początku w badanym materiale jest 100% nieprzemienionych jąder, to po określonym czasie (np. czterech dniach) będzie ich tylko 50%. Po kolejnych czterech dniach będzie już tylko 25%, po kolejnych czterech – 12,5% początkowej zawartości, itd.



Jeszcze jedną wartością opisującą promieniotwórczość jest **stała rozpadu** λ , która informuje jaka część jąder ulega rozpadowi w jednostce czasu:

$$\lambda = \frac{\Delta N}{N \cdot \Delta t}$$

gdzie:

ΔN – liczba jąder, które uległy rozpadowi,
 Δt – czas, w którym nastąpił rozpad,
 N - ilość jąder przed rozpadowem.

Samą zaś **aktywność źródła** A określamy równaniem:

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

Jednostką aktywności jest bekerel – 1Bq (rozpad jednego jądra w czasie 1s). Po przekształceniach wybiegających poza zakres szkoły średniej można otrzymać zależność pomiędzy okresem połowicznego rozpadu, a stałą rozpadu oraz pomiędzy ilościami jąder, a aktywnością:

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \text{ oraz } \frac{N}{N_0} = \frac{A}{A_0}$$

ROZPAD PROMIENIOTWÓRCZY

<http://open.agh.edu.pl/course/view.php?id=100>
animacja 21

PRAWO ROZPADU

<http://cmf.p.lodz.pl/efizyka/mod/resource/view.php?id=143>

Podsumowanie

- Zawartość procentowa izotopu promieniotwórczego w próbce (również jego masa i liczba atomów) maleje o połowę po upływie czasu połowicznego rozpadu.
- Prawo rozpadu promieniotwórczego pozwala obliczyć liczbę jąder promieniotwórczych w

próbce (lub masę izotopu) po upływie dowolnego czasu.

- Im mniejsza próbka, a dłuższy czas połowicznego rozpadu, tym mniejsza jest jej aktywność.
- Liczba wyemitowanych cząstek jonizujących jest zwykle mniejsza od aktywności próbki.

ZADANIA

Oblicz aktywność preparatu (stosunek aktywności końcowej do początkowej) po 16 dniach, jeśli wiadomo, że czas połowicznego rozpadu wynosi 8 dni.

$$\frac{N}{N_0} = \frac{A}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{16}{8}} = \frac{1}{4}$$

Odp. Po 16 dniach próbka będzie miała 25% aktywności początkowej

Stała rozpadu dla radonu ma wartość $2,1 \cdot 10^{-6}$ 1/s. Oblicz czas połowicznego rozpadu.

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} = \frac{0,693}{2,1 \cdot 10^{-6}} = 3,29 \text{ dni}$$

Odp. Czas połowicznego rozpadu dla radonu wynosi 3,29 dnia.

Archeolog odkrył pozostałość osady. Aktywność 1 kg węgla zawartego w jej elementach wynosiła 57 Bq. Ustal, kiedy powstała ta osada. Aktywność początkowa próbki wynosi 228 Bq, a czas połowicznego rozpadu węgla wynosi 5715 lat.

$$\frac{N}{N_0} = \frac{A}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

$$\frac{57}{228} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5715}}$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5715}}$$

$$\frac{2}{1} = \frac{t}{5715}$$
$$t = 11430$$

Odp. Osada powstała około 11430 lat temu

ZASTOSOWANIE IZOTOPÓW

https://pl.wikipedia.org/wiki/Datowanie_izotopowe

https://pl.wikipedia.org/wiki/Datowanie_radiow%C4%99glowe

https://pl.wikipedia.org/wiki/Medycyna_nuklearna

https://pl.wikipedia.org/wiki/Spektroskopia_magnetycznego_rezonansu_j%C4%85drowego

https://pl.wikipedia.org/wiki/Pozytonowa_tomografia_emisyjna

Datowanie. Wszystkie organizmy żywe zawierają w sobie węgiel $^{14}_6\text{C}$, który pochodzi od zjadanych przez nie roślin i pobierany jest w wyniku oddychania dwutlenkiem węgla. Tak długo, jak organizm żyje proporcje węgla radioaktywnego i zwykłego są takie same jak w atmosferze. Jeżeli zwierzę ginie, przestaje pobierać węgiel z otoczenia, a w jego szczątkach węgiel radioaktywny będzie ulegał przemianie – co 5740 lat jego udział spada o połowę według reakcji (rozpad beta): $^{14}_6\text{C} = ^{14}_7\text{N} + ^0_{-1}\text{e}$. Mierząc proporcje węgla radioaktywnego do zwykłego można określić wiek znaleziska, aż do 70 tys. lat wstecz. Ten proces nazywamy **datowaniem węglowym**. Datowanie węglem $^{14}_6\text{C}$ stosuje się do określania wieku organizmów żywych, natomiast datowanie innymi izotopami do określania wieku przyrody nieożywionej, np. skał, meteorytów, Słońca.

Medycyna. W medycynie wykorzystuje się izotopy o krótkim czasie połowicznego rozpadu. Specjalny związek chemiczny, zwany **znacznikiem**, wprowadza się do organizmu i śledzi jego drogę lub miejsce gromadzenia (stan zapalny). Opierając się na analizie ilości znacznika w różnych miejscach organizmu można wykryć nowotwory na bardzo wczesnym stadium rozwoju. Silne źródła promieniowania stosuje się w radioterapii, do niszczenia nowotworów.

Od ponad 100 lat znana jest metoda prześwietlania organizmu promieniami Rentgena.

Podsumowanie

- Prawo rozpadu promieniotwórczego wykorzystuje się w datowaniu radioizotopowym.
- Znaczniki wykorzystuje się zarówno w medycynie, jak i w badaniach środowiska, do śledzenia rozchodzenia się określonych substancji.

Obecnie do tego wynalazku dołączyły techniki korzystające z własności jąder atomowych. Są nimi: magnetyczny rezonans jądrowy NMR, pozytonowa tomografia emisyjna PET, i scyntygrafia.

Gospodarka. Podobnie jak w medycynie, wprowadzenie znaczników pozwala śledzić rozprzestrzenianie się substancji w procesach produkcyjnych, atmosferze, zbiornikach wodnych, itp. Tym sposobem jest możliwe śledzenie zużycia części maszyn (np. silników spalinowych), wykrywanie wad konstrukcyjnych, grubości blach.

Promieniowanie rentgenowskie wykorzystuje się na lotniskach – doskonale widoczne są metalowe przedmioty w bagażach podręcznych.

Jonizujące własności promieniowania jądrowego wykorzystuje się podczas produkcji i przetwarzania żywności. W napromieniowanych produktach spada zawartość mikroorganizmów i drobnoustrojów, przedłuża się trwałość ich spożycia, hamuje się dojrzewanie i kiełkowanie. Żywność poddana promieniowaniu nie staje się radioaktywna.

Warto też wspomnieć o czujnikach dymu powszechnie wykorzystywanych w naszych mieszkaniach oraz o farbach fluorescencyjnych.

Osobną grupę zastosowań stanowi wojsko, badania naukowe i energetyka jądrowa.

- Szkodliwość promieniowania jądrowego wykorzystuje się w onkologii do niszczenia komórek nowotworowych oraz do sterylizacji materiałów medycznych i żywności.
- Poziom promieniowania emitowanego przez radioizotopy wykorzystywane w gospodarce jest porównywalny z tłem promieniowania, więc nie stanowi dla ludzi żadnego zagrożenia.

DATOWANIE RADIOAKTYWNE

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/radioactive-dating-game>

REAKCJE JĄDROWE

https://pl.wikipedia.org/wiki/Reakcja_j%C4%85drowa

https://pl.wikipedia.org/wiki/Akcelerator_cz%C4%85stek

Jądra atomowe wszystkich atomów składają się z jednakowych składników, wydaje się zatem naturalne, że dany atom można teoretycznie zamienić w inny, jeżeli zmieni się skład jego jądra.

Gdyby np. udało się od jądra atomu rtęci $^{198}_{80}\text{Hg}$ oderwać jeden proton, uzyskalibyśmy jądro atomu złota $^{197}_{79}\text{Au}$. Albo inaczej: łączymy ze sobą dwa jądra powszechnie występującego sodu i uzyskujemy jądro rzadkiego tytanu. Wydaje się to proste, ale w praktyce bardzo trudno to zrealizować.

Charakter sił jądrowych wymaga, aby nukleony uczestniczące w reakcji znalazły się

bardzo blisko siebie, a ponieważ jądra otoczone są chmurą elektronów, więc dotarcie do wnętrza jądra jest utrudnione. Z tego powodu pierwsze reakcje jądrowe wykonywano z wykorzystaniem cząstek alfa, które wstrzeliwano do środka atomu. Jeśli którejś z cząstek alfa udało się dotrzeć do jądra, mogła zostać wywołana reakcja jądrowa.

Współcześnie tego typu reakcje przeprowadza się w **akceleratorach**. Jądra atomowe rozpędza się do bardzo dużych prędkości i prowadzi do zderzenia. W wyniku analizy przebiegu reakcji odkrywano prawa, którym podlegają nukleony i powstają nowe cząstki.

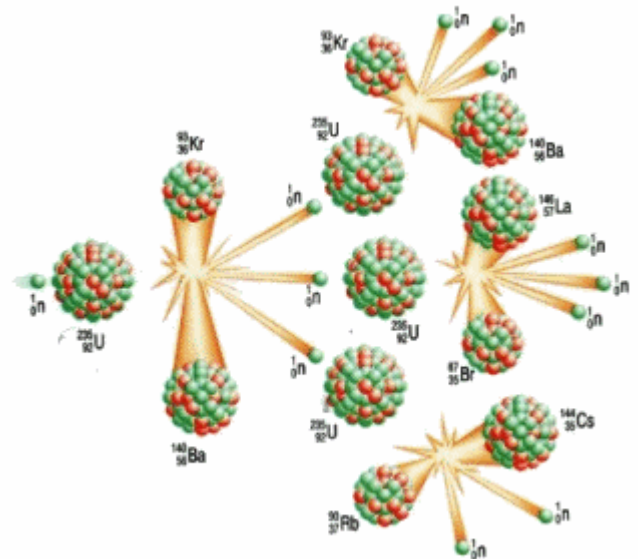
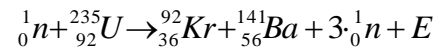
REAKCJA ŁAŃCUCHOWA – ROZSZCZEPIANIA

https://pl.wikipedia.org/wiki/Reakcja_%C5%82a%C5%84cuchowa

Neutrony ze względu na to, że nie posiadają ładunku elektrycznego, bardzo łatwo przenikają przez powłoki elektronowe i są wchłaniane przez jądro. Jądra niektórych ciężkich izotopów rozszczepiają się wtedy najczęściej na dwie części, uwalniana jest ogromna ilość energii i pojawiają się dwa lub trzy nowe neutrony, które mogą zapoczątkować kolejne rozszczepienie. To jest właśnie **reakcja rozszczepiania** lub **reakcja łańcuchowa** i najczęściej wykorzystuje się w niej uran ^{235}U występujący w przyrodzie w niewielkich ilościach.

Po kilkudziesięciu rozszczepieniach liczba neutronów będzie niewyobrażalna duża. Pamiętać należy, że każde rozszczepienie wyzwala dużą dawkę energii i trwa bardzo krótko, ok. 10^{-8}s , więc w ułamku sekundy można uwolnić ogromną energię. Na tym polega **mechanizm wybuchu jądrowego**.

Przykład reakcji łańcuchowej:



MASA KRYTYCZNA

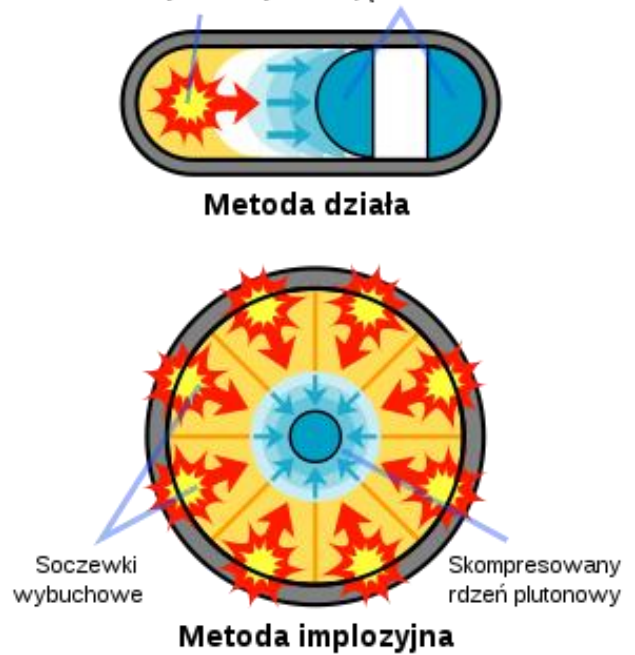
https://pl.wikipedia.org/wiki/Masa_krytyczna

Opisany scenariusz reakcji łańcuchowej może się zdarzyć, tylko wtedy, gdy powstałe neutrony będą trafiać w nowe jądra. Ważna przy tym jest ilość materiału, jak i jego kształt. Dla uranu ^{235}U taką **masą krytyczną** przy której reakcja rozszczepiania będzie mogła być samorzutnie kontynuowana jest około 60 kg (mniej więcej objętość piłki do siatkówki).

Bomba atomowa, to nic innego, jak materiał rozszczepialny i masie większej niż masa krytyczna. Dlatego podczas przechowywania i transportu bomby fragmenty materiału rozszczepialnego są rozdzielone na kilka części.

Dopiero, gdy wybuch ma nastąpić łączy się je w jedną całość. **Aby doprowadzić do wybuchu należy bardzo szybko połączyć ze sobą dwie lub więcej części o masach podkrytycznych.**

Konwencjonalny ładunek wybuchowy Podkrytyczne masy U-235
zostają złożone w całość



Po raz pierwszy możliwość produkcji takiej bomby zauważył w latach trzydziestych XX wieku węgierski fizyk Leo Szilard.

Pierwszej eksplozji dokonali Amerykanie w lipcu 1945 roku, choć pierwszych prób dokonywali Niemcy już podczas II wojny światowej. Pierwszym celem prawdziwego ataku miał być Berlin. Jednak nie udało się „ukończyć bomby na czas” i celem ataku (jedynym do tej pory) stały się miasta Hiroszima i Nagasaki w sierpniu 1945 roku.

REAKCJA ROZSZCZEPIENIA

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/nuclear-fission>

Podsumowanie

- Łańcuchowa reakcja rozszczepienia, czyli powielanie aktów rozszczepienia, może zachodzić tylko w dostatecznie dużej próbce zawierającej izotop rozszczepialny.
- Masa krytyczna to minimalna masa izotopu rozszczepialnego w kształcie kuli, w której raz zainicjowana reakcja rozszczepienia będzie się powielać.

- Pozyskiwanie materiału rozszczepialnego jest kosztowne i trudne technologicznie.
- Wybuch jądrowy powoduje ogromne zniszczenia w pobliżu swego centrum i skażenie promieniotwórcze w większej odległości.
- W wyniku reakcji jądrowych z udziałem neutronów uzyskuje się radioizotopy

ENERGETYKA JĄDROWA

https://pl.wikipedia.org/wiki/Energetyka_j%C4%85drowa

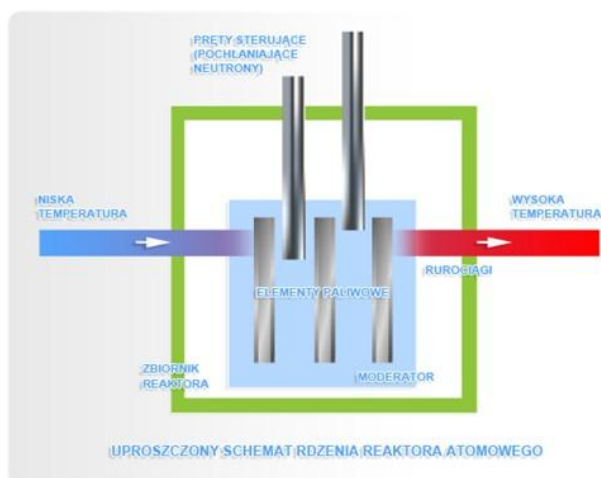
Kontrolowana reakcja rozszczepiania.

Ogromne ilości energii, które można uzyskać w wyniku rozszczepienia niewielkiej masy uranu, wykorzystywano początkowo do celów militarnych. Ale już w latach pięćdziesiątych XX wieku powstały reaktory jądrowe.

Warto uświadomić sobie, że energia jądrowa jest jedynym źródłem energii wykorzystywanej przez ludzi, która nie pochodzi od Słońca. Paliwa kopalne, jak węgiel czy gaz, powstały w wyniku fotosyntezy z wykorzystaniem energii słonecznej.

Jak z reakcji rozszczepienia otrzymać prąd elektryczny? Wbrew pozorom nie jest to aż tak skomplikowane i wykorzystano zasadę działania typowej elektrowni węglowej. W elektrowni węglowej woda ogrzewana jest poprzez spalanie węgla, a w elektrowni atomowej **ciepło pochodzi z reakcji rozszczepiania jąder uranu 235 w rdzeniu reaktora.**

W warunkach naturalnych wydobywa się uran zawierający bardzo niewielką domieszkę uranu 235, dlatego też jest on wzbogacany w ten izotop. Po wzbogaceniu, **paliwo jądrowe** w postaci prętów uranowych (95-97% izotopu ^{238}U i resztę (3-5%) ^{235}U) umieszcza się w rdzeniu reaktora. Dodatkowo w rdzeniu znajduje się też **substancja spowalniająca neutrony**, tzw. **moderator** (woda lub grafit) oraz **pręty kontrolne** (bor lub kadm), których zadaniem jest wychwytywanie nadmiernej ilości neutronów (aby reakcja nie wymknęła się spod kontroli).



Sterowanie reakcją rozszczepiania zachodzi przez wsuwanie i wysuwanie prętów kontrolnych, a tym samym zmniejszana jest lub zwiększana ilość neutronów biorących udział w reakcji.

Ciepło wydzielane w procesie podgrzewa wodę reaktora, które w **wymienniku ciepła** zostaje przekazane wodzie tzw. **obiegu wtórnego**. Ta po zamienieniu na parę wodną napędza turbiny i prądnice.

Prócz niewątpliwych zalet wynikających z zastosowania uranu, jako źródła energii (wysoka wydajność energetyczna, mała degradacja środowiska, brak emisji dwutlenku węgla do atmosfery) mamy do czynienia z różnymi problemami: promieniowanie, możliwość przegrzania, stopienia osłon i wycieku paliwa na zewnątrz, problemy z utylizacją i składowanie zużytego paliwa, duże zużycie wody, duże koszty budowy, trudności z wzbogacaniem uranu, możliwość handlu zużytym paliwem i zagrożenie atakiem terrorystycznym.

Warto uświadomić sobie, że materiał rozszczepialny stosowany w elektrowniach jądrowych **nie może wybuchnąć**. Jest go po prostu zbyt mało. Oczywiście zawsze istnieje ryzyko awarii i związanego z nią przetopienia reaktora i skażenia środowiska.

W ciągu kilkudziesięcioletniej historii elektrowni jądrowych było kilka awarii, w których ucierpieli ludzie, ale liczba ofiar jest nieporównywalnie mniejsza od liczby poszkodowanych w typowych kopalniach. Podczas najbardziej znanej awarii elektrowni jądrowej w Czarnobylu ucierpieli tylko żołnierze i strażacy pracujący bezpośrednio przy usuwaniu skutków wybuchu jeszcze palącego się reaktora. W wyniku awarii elektrowni jądrowej (starego typu) w Fukushima, spowodowanej tsunami, nikt nie zginął.

Jednak pamiętać należy o tym, że skutki awarii elektrowni atomowej mogą być odczuwane przez wiele dziesiątków lat.

REAKTOR ATOMOWY

<http://cmf.p.lodz.pl/efizyka/mod/resource/view.php?id=147>

Podsumowanie

- W reaktorach jądrowych zachodzi kontrolowana reakcja rozszczepienia.
- Paliwem do reaktorów jest wzbogacony uran.
- Stabilną pracę reaktora zapewniają spowolnione przez moderator neutrony.
- Energia z rozszczepienia jąder atomowych przekształca się w ciepło.
- Pręty sterujące regulują moc reaktora podczas jego stabilnej pracy.
- Reaktory o dużej mocy są źródłem energii w elektrowniach jądrowych.
- Pręty paliwowe podlegają recyklingowi.
- Reaktory o mniejszej mocy są źródłem neutronów służących do badań jądrowych, wytwarzania izotopów promieniotwórczych i napędzania statków.

REAKCJA SYNTEZY JĄDROWEJ

https://pl.wikipedia.org/wiki/Reakcja_termoj%C4%85drowa

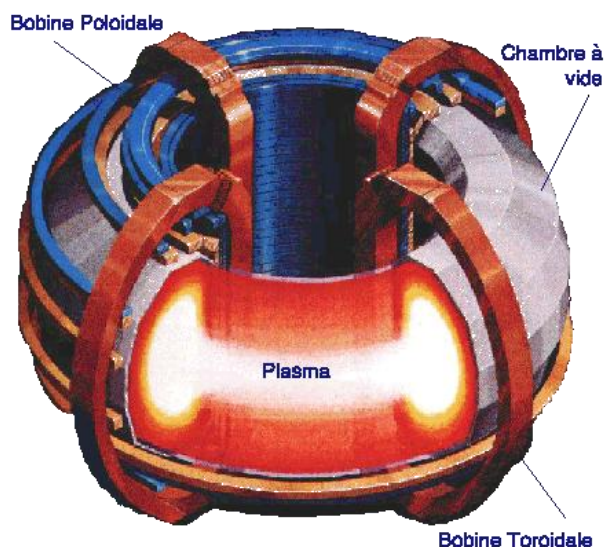
<https://pl.wikipedia.org/wiki/Tokamak>

Synteza jądrowa na Ziemi. Łączenie nukleonów w jądra jest oczywiście możliwe, ale jak na razie nie udało się pozyskać wyzwalanej w ten sposób energii w sposób kontrolowany. W wyniku syntezy jądrowej otrzymujemy cięższe jądro niż suma mas składników użytych w reakcji. Różnica tych mas zamieniana jest na energię, która uwalnia się podczas reakcji.

Największy problem, z jakim borykają się uczeni, to osiągnięcie i utrzymanie odpowiednio wysokiej temperatury i ciśnienia. Zainicjowanie procesu jest również kłopotliwe, gdyż trzeba zmusić jądra, aby zbliżyły się na odległość na tyle małą, aby zaczęły działać siły jądrowe. Obecnie rolę zapalnika odgrywa np. bomba atomowa, w której następuje rozszczepienie uranu.

Utrzymanie odpowiedniej temperatury być może będzie możliwe po zbudowaniu urządzenia o nazwie **tokamak** – pierwszy taki powstaje we Francji. Gorąca plazma będzie zostać otoczona polem magnetycznym, dzięki ogromnym soczewkom magnetycznym. W temperaturze

plazmy jądra izotopów wodoru będą mogły pokonać siły elektrostatyczne i połączyć się w hel, oddając otoczeniu część energii. Dalszy proces jest podobny, jak w innych elektrowniach: para, turbiny. itd.

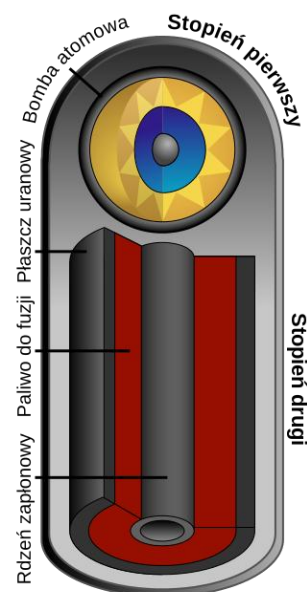


BOMBA TERMOJĄDROWA

https://pl.wikipedia.org/wiki/%C5%81adunek_termoj%C4%85drowy

Plazmę wodorową można otrzymać także dużo prościej. Najpierw detonuje się niewielki ładunek atomowy wewnątrz pojemnika o odpowiednio ukształtowanych ściankach. W pojemniku powstają warunki do umożliwienia reakcji syntezy jądrowej. Ponieważ trwa to ułamek sekundy, a wyzwolone energie są jeszcze większe niż w zwykłym wybuchu jądrowym, dlatego ten pomysł zastosowano do wyprodukowania **bomby termojądrowej**.

Pierwszy raz udało się zdetonować bombę termojądrową (wodorową) Stanom Zjednoczonym w 1952 roku.



SYNTEZA JĄDROWA

<http://efiz.pl/fuzja/fuzja2.html>

Podsumowanie

- Reakcja syntezy jądrowej to łączenie się lekkich jąder atomowych w jądra cięższe.
- Dzięki reakcji syntezy jądrowej Słońce i inne gwiazdy utrzymują wysoką temperaturę, która umożliwia emisję światła.
- Plazma to stan materii wysoko zjonizowanej.
- Warunkiem zajścia syntezy jądrowej jest uzyskanie plazmy o odpowiednio wysokich temperaturze i ciśnieniu.

SYNTEZA JĄDROWA W GWIAZDACH

Dlaczego Słońce świeci? A dlaczego świecą gwiazdy? Te pytania ludzie stawiali sobie już od dawna, ale dopiero fizyka współczesna przyniosła na nie odpowiedzi. Przyczyn świecenia Słońca i gwiazd szukano w reakcjach spalania węgla lub wodoru. Gdyby jednak Słońce zbudowane było z węgla i tlenu, tego paliwa wystarczyłoby zaledwie na kilkanaście tysięcy lat. Gwiazdy muszą mieć znacznie wydajniejsze źródło energii. Dziś wiemy, że są nimi procesy jądrowe.

Gwiazdy, które widzimy na niebie, to ogromne gorące kule, zbudowane głównie z wodoru i helu. Mają one tak wysoką temperaturę, że atomy są zjonizowane. Taki stan materii nazywamy **plazmą**.

We wnętrzu gwiazdy materia ściśnięta siłami grawitacji ma bardzo dużą gęstość i temperaturę. Jądra atomów poruszające się z dużymi prędkościami zderzają się i są w stanie połączyć się siłami jądrowymi. W procesie tym wyzwolana jest energia w postaci kwantów γ i emitowana w postaci światła, gdy wydostanie się na zewnątrz gwiazdy.

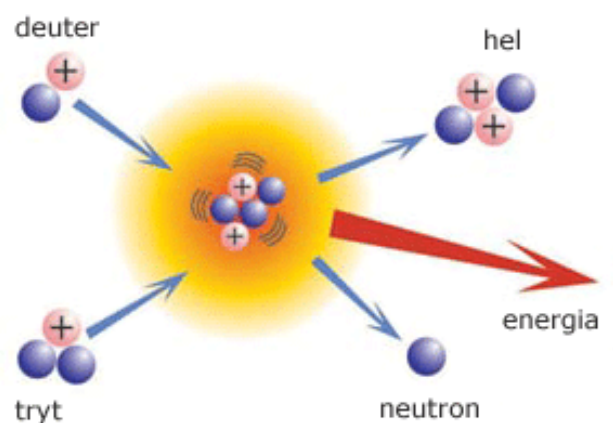
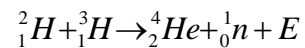
We wnętrzach bardzo masywnych gwiazd, w wyniku reakcji syntezy mogą powstać cięższe pierwiastki niż Hel. Potrzebna jest do tego jeszcze większa temperatura. Zapewnia ją coraz większe ciśnienie grawitacyjne. W ten sposób mogą powstać na przykład tlen, krzem czy jeszcze cięższe pierwiastki.

W momencie, gdy zaczyna wytwarzać się żelazo, reakcje syntezy ustają, spada temperatura i gwiazda gwałtownie zapada się pod wpływem grawitacji. Ściśnięte jądro gwiazdy zapala się, powstają jeszcze cięższe pierwiastki, a cała reszta gwiazdy zostaje w gwałtownym wybuchu

wyrzucona w przestrzeń kosmiczną. Astronomowie nazywają to zjawisko wybuchem **supernowej**. Pozostałości po takim wybuchu, można obserwować na niebie w postaci mgławic.

Reakcje syntezy jądrowej zachodzą m.in. w Słońcu - z jąder wodoru tworzone są jądra helu i ogromna ilość energii. Można wyliczyć, że jeżeli w jednym gramie helu znajduje się około 10^{23} jąder, to podczas reakcji syntezy z tej ilości jąder otrzymamy około $5 \cdot 10^{11}$ J. To mniej więcej tyle samo, gdy spalimy 10 ton benzyny! Jaka wyzwala się energia w Słońcu, jeśli w ciągu sekundy traci ponad $4 \cdot 10^9$ kg swojej masy!

Przykładowa reakcja syntezy, w której biorą udział izotopy helu: deuter i tryt.



Oczywiście izotopy wodoru powstają w wyniku podobnych reakcji syntezy, w czasie których wydziela się energia w postaci promieniowania beta lub gamma

CZĄSTKI ELEMENTARNE

https://pl.wikipedia.org/wiki/Cz%C4%85stka_elementarna

Do lat 60-tych XX wieku **cząstkami elementarnymi** były: **elektron, proton i neutron** oraz **foton** (kwant pola elektromagnetycznego). W czasach obecnych znanych jest ponad 200 takich cząstek i nie ma wśród fizyków jednomyślności w definicji cząstki elementarnej. Najprostsza definicja mówi jednak, że jest to **podstawowy budulec materii, który nie ma wewnętrznej struktury**.

Odkryto do tej pory tyle nowych cząstek, że fizycy potrafią dość dokładnie z ich pomocą opisać budowę i procesy zachodzące w materii. Jest to tzw. **model standardowy**.

FERMIONY	Rodzina I	Rodzina II	Rodzina III	Ładunek elektryczny
LEPTONY	elektron (e) neutrino elektronowe (ν_e)	mion (μ) neutrino mionowe (ν_μ)	taon (τ) neutrino taonowe (ν_τ)	-1 0
KWARKI	kwark górny (u) kwark dolny (d)	kwark powabny (c) kwark dziwny (s)	kwark wysoki (t) kwark niski (b)	+2/3 -1/3

Cząstek przenoszących oddziaływanie jest cztery rodzaje: **silne, słabe, elektromagnetyczne i grawitacyjne**.

Oddziaływania elektromagnetyczne zachodzą w ciałach obdarzonych ładunkiem elektrycznym – polem magnetycznym. Silne i słabe oddziaływania zachodzą w jądrach atomowych. Oddziaływania grawitacyjne zachodzą pomiędzy ciałami obdarzonymi masą. Z każdym rodzajem oddziaływania związane są inne cząstki: **silne – gluony, słabe – bozony, elektromagnetyczne – foton, grawitacyjne – grawiton**. Istnienie wszystkich cząstek potwierdzono doświadczalnie. Jedynie grawiton, jak na razie nie został wykryty.

Podsumowanie

- Obecnie znanych jest ponad 200 cząstek elementarnych
- Cząstki elementarne podzielone są na dwie zasadnicze grupy: fermiony i bozony.
- Fermiony są cząstkami tworzącymi materię – nadają masę materii

Zgodnie z tym modelem istnieją dwa rodzaje cząstek: **tworzące materię – FERMIONY** (12 rodzajów) i **przenoszące oddziaływania – BOZONY** (12 rodzajów). Cząstki tworzące materię odpowiadają za nadanie materii masy, a cząstki przenoszące oddziaływania odpowiadają za utrzymanie tej masy w jednym miejscu.

Fermiony podzielono na trzy rodziny po cztery cząstki. Według tego modelu neutron składa się dwóch kwarków dolnych i jednego górnego, a proton z dwóch górnych i jednego dolnego.

Czy to już koniec? Czy istnieją jeszcze mniejsze cząstki? Trudno to będzie sprawdzić, ale naukowcy mają pomysł, który w zupełnie inny sposób stara się opisać świat cząstek elementarnych, tzw. **teoria strun**. Biorąc pod uwagę kwantowy sposób opisu materii i dualizm korpuskularno-falowy, teoria ta mówi nie o cząstkach, ale raczej o „drgających pętelkach”. Nie została jeszcze potwierdzona doświadczalnie, ale w bardzo prosty sposób łączy opisuje wiele różnych cząstek i zjawisk w jedną zuniifikowaną teorię.

- Bozony są cząstkami przenoszącymi oddziaływania – utrzymują masę w całości
- Znamy cztery rodzaje oddziaływań i związane z nimi cząstki: silne-gluon, słabe-bozon, elektromagnetyczne-foton i grawitacyjne-grawiton
- Grawiton nie został jak do tej pory wykryty