



Wrocław
University
of Science
and Technology

Fizyka

semestr letni

2020/2021

Grupa B: Piątek, 15:00 - 16:30

Grupa A: Piątek, 16:40 - 18:10

sala wirtualna

– zajęcia online

Sylwia Majchrowska

sylwia.majchrowska@pwr.edu.pl

<https://majsylw.netlify.app/teaching/>

pokój 213, budynek L-1

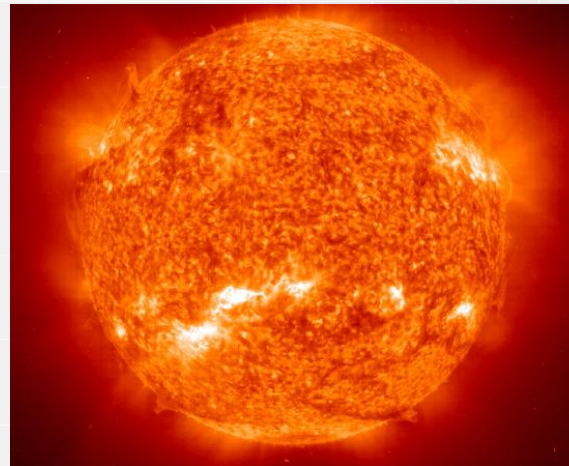
Na podstawie podręcznika Fizyka dla szkół wyższych. Tom 3

<http://www.e-fizyka.info>



Fizyka jądrowa

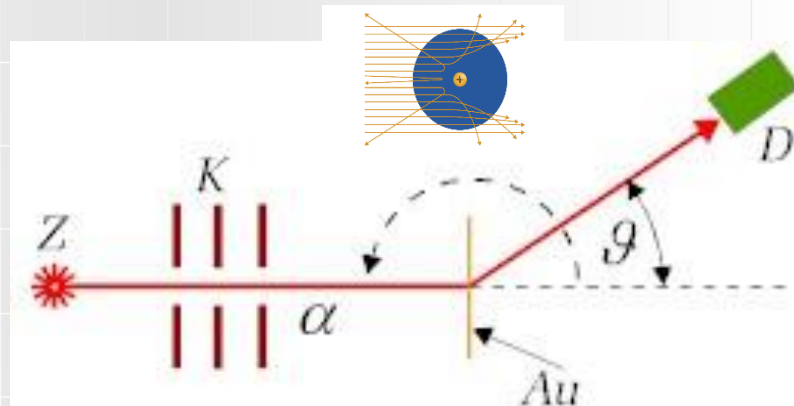
Dziś zajmiemy się składem i właściwościami jądra atomowego. Jądro znajduje się w środku atomu i składa się z protonów i neutronów. Głębokie zrozumienie fizyki jądrowej umożliwia rozwój wielu ważnych technologii, w tym urządzeń do datowania skał, badania topografii galaktyki Drogi Mlecznej i wytwarzania energii elektrycznej. Słońce jest głównym źródłem energii w Układzie Słonecznym. Średnica Słońca równa jest około 10^9 średnicom Ziemi, a jego masa stanowi więcej niż 99% całkowitej masy Układu Słonecznego. Słońce świeci dzięki syntezie helu z jąder wodoru – protonów – zachodzącej głęboko w jego wnętrzu. Po wyczerpaniu tego paliwa Słońce będzie spalać hel, a później inne jądra. Na początek zajmiemy się właściwościami jąder atomowych, które decydują o wszystkich procesach zachodzących w jądrze, w tym o syntezie jądrowej.





Własności jądra atomowego

Ernest Rutherford (ojciec fizyki jądrowej) wysunął hipotezę, że cały dodatni ładunek atomu i prawie cała jego masa skupione są w bardzo małym obszarze zwanym jądrem atomowym. Rozproszenia cząstek wynikają wówczas z odpychania elektrostatycznego cząstki od prawie punktowego jądra, kiedy ta znajduje się w jego pobliżu.



Eksperyment Rutherforda – odkrycie jądra

- Jądrem atomowym nazywamy element znajdujący się w centralnej części atomu.
- Jądro atomowe jest bardzo małe (kilkadziesiąt tysięcy razy mniejszy od atomu)

$$r = r_0 A^{\frac{1}{3}}, \text{ gdzie } r_0 \approx 1.2 \text{ fm} = 1.2 \times 10^{-15} \text{ m}$$

- Jądro atomowe skupia praktycznie całą masę atomu.
- Jądro atomowe obdarzone jest ładunkiem dodatnim.
- Jądro atomowe składa się z protonów i neutronów, czyli nukleonów. Protony obdarzone są ładunkiem dodatnim, a neutrony są elektrycznie obojętne. Masy tych cząstek mają zbliżoną wartość.

Skład jądra atomowego zapisujemy jako:



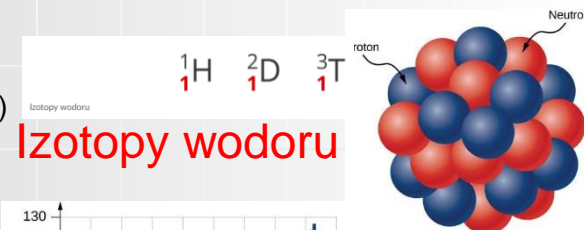
gdzie:

X – symbol chemiczny pierwiastka;

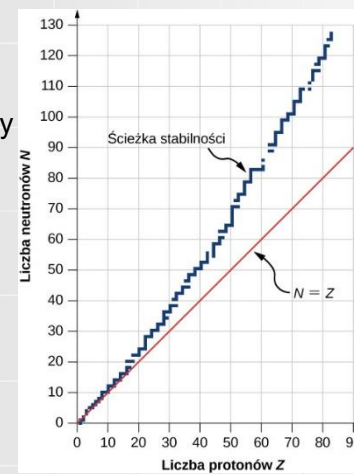
Z – liczba porządkowa zawierająca informację, o liczbie protonów w jądrze;

A – liczba masowa równa liczbie nukleonów w jądrze;

A-Z – liczba neutronów w jądrze.



Izotopy wodoru



Allotropia – zjawisko występowania w tym samym stanie skupienia różnych odmian tego samego pierwiastka chemicznego, różniących się właściwościami fizycznymi i chemicznymi.



Przykład 1.1

Jądro żelaza

Obliczmy

a) promień r ;

b) przybliżoną gęstość ρ

jądra ^{56}Fe . Przyjmijmy, że masa jądra ^{56}Fe wynosi około $56u$.

$$r = r_0 A^{\frac{1}{3}}, \text{ gdzie } r_0 \approx 1.2 \text{ fm} = 1.2 \times 10^{-15} \text{ m}$$

$$r = 1.2 \text{ fm} * 56^{\frac{1}{3}} = 1.2 \text{ fm} * 3.83 = 4.6 \text{ fm}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{\frac{4}{3} * \pi r^3} = \frac{56u}{1.33 * 3.14 * (4.6 \text{ fm})^3}$$

$$= 0.138 \frac{u}{(10^{-15} \text{ m})^3} * 1.66 \times 10^{-27} \frac{\text{kg}}{u} = 2.3 \times 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Wyliczona tutaj wartość gęstości wydaje się nieprawdopodobnie wielka. Jest ona jednak zgodna z wcześniejszym stwierdzeniem, że jądro skupia prawie całą masę atomu w bardzo małej objętości. 1 m^3 materii jądrowej ma taką samą masę jak sześcián wody o krawędzi 61 km .



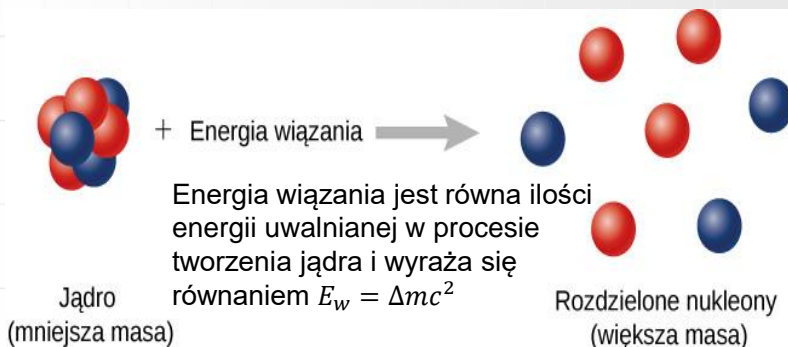
Energia wiązania jądra

Siły wiążące nukleony w jądrze atomowym są znacznie większe niż te, które wiążą elektron w atomie przez przyciąganie elektrostatyczne. Jest to oczywiste, jeśli wziąć pod uwagę względne rozmiary jądra atomowego i całego atomu (odpowiednio 10^{-15}m i 10^{-10}m). Energia konieczna do odłączenia nukleonu od jądra jest zatem znacznie większa niż energia wymagana do usunięcia elektronu z atomu (czyli do jonizacji). Ogólnie rzecz biorąc, każda zmiana stanu jądra wiąże się ze znaczną zmianą energii przypadającą na każdą cząstkę biorącą udział w procesie.

Między nukleonami działają siły jądrowe. Siły te:

- nie zależą od ładunku elektrycznego;
- mają dużą wartość (znacznie większą od sił grawitacyjnych i elektrostatycznych);
- mają krótki zasięg (działają na małych odległościach).

W wyniku działania sił jądrowych nukleony są ze sobą związane. O tym, jak silne jest to wiązanie, mówi nam energia wiązania – jest ona równa pracy, jaką należy wykonać, aby rozłożyć jądro na pojedyncze nukleony.



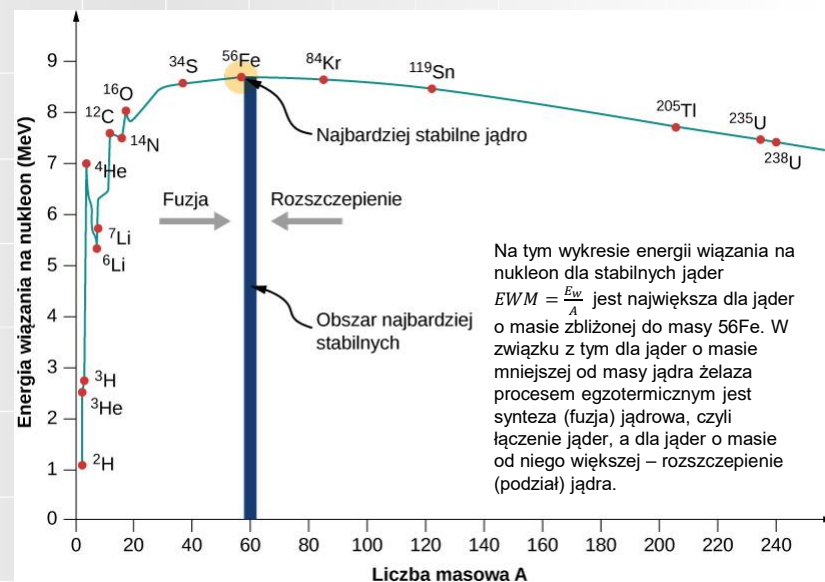
Defektem (deficytem) masy nazywamy różnicę między sumą mas nukleonów (gdy są one poza jądrem) tworzących jądro a masą tego jądra.

M_j oznacza masę jądra o liczbie masowej i liczbie porządkowej. Suma mas jego składników to:

$$Z * m_{\text{protonu}} + (A - Z) * m_{\text{neutronu}}$$

Defekt masy to:

$$\Delta m = [Z * m_{\text{protonu}} + (A - Z) * m_{\text{neutronu}}] - M_j$$





Przykład 1.2

Silnie związane nuklidy alfa

Obliczmy energię wiązania na nukleon dla jądra ${}^4\text{He}$ (cząstki α).

Ustalimy całkowitą energię wiązania (E_w) za pomocą równania $E_w = \Delta mc^2$, gdzie Δm jest defektem masy. Energia wiązania na nukleon (EWN) równa jest E_w podzielonej przez A .

Dla ${}^4\text{He}$ mamy $Z=N=2$. Całkowita energia wiązania wynosi

$$E_w = (2m_p + 2m_n - m_{\text{He}})c^2$$

Te masy wynoszą $m_{\text{He}} = 4,002\,602u$, $m_p = 1,007\,825u$ i $m_n = 1,008\,665u$. Mamy więc $E_w = 0,030\,378u \cdot c^2$.

Zauważywszy, że $1u = 931,5 \text{ MeV}/c^2$, otrzymujemy

$$E_w = 0,030\,378u \cdot c^2 \cdot 931,5 \text{ MeV}/1u \cdot c^2 = 28,3 \text{ MeV}.$$

Ponieważ $A=4$, to $\text{EWN}=7,07 \text{ MeV/nukleon}$.

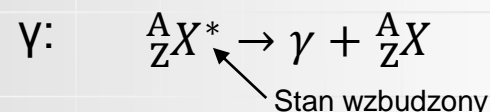
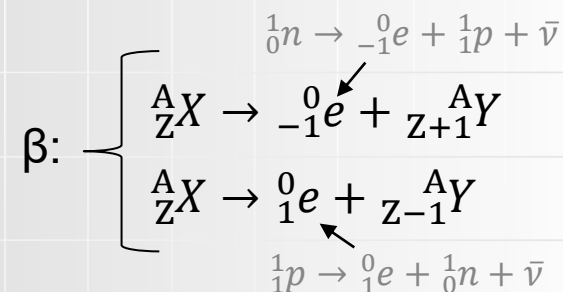
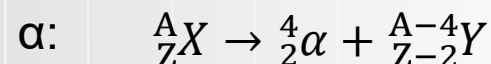
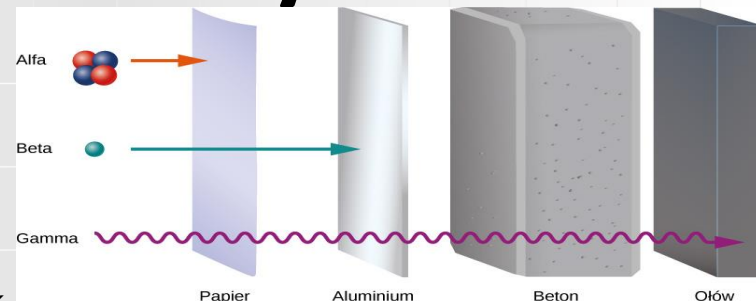
Zauważmy, że energia wiązania na nukleon dla jądra ${}^4\text{He}$ jest znacznie większa niż dla izotopów wodoru (około 3 MeV/nukleon). W związku z tym jądra helu nie da się rozbić na izotopy wodoru bez dostarczenia energii do układu.



Rozpad promieniotwórczy

Promieniowanie emitowane przez substancje zawierające niestabilne jądra izotopów naturalnych podzielono na trzy kategorie: α , β i γ .

- a) Promieniowanie α to strumień cząstek, składających się z dwóch protonów i dwóch neutronów (a więc tak samo jak jądra helu). Ładunek cząstki α wynosi $+2e$ (e – ładunek elementarny). Charakteryzuje się niską przenikliwością – jego zasięg w powietrzu nie przekracza 10 cm. Promieniowanie α ma właściwości jonizujące i jego kontakt z żywą tkanką prowadzi do jej uszkodzeń.
- b) Promieniowanie β to strumień elektronów (rozpad β^- , którego przenikliwość jest większa niż cząstek alfa – rozchodzi się na odległość nawet do kilku metrów. Ma własności jonizujące, podobnie jak promienie α .
- c) Promieniowanie γ jest falą elektromagnetyczną o długości mniejszej lub równej długości fal promieniowania rentgenowskiego. Jest to promieniowanie najbardziej przenikliwe; w powietrzu rozchodzi się na odległość od kilku do kilkunastu metrów, a w wodzie – na ponad 1 metr. Jest promieniowaniem jonizującym.



Ponadto jądra sztucznie wytworzonych izotopów mogą emitować:

1. Cząstki β^+ – pozytony, czyli dodatnie elektrony. Zasięg ich nie jest duży, ale pozytony w wyniku zderzania się z elektronami ulegają anihilacji i powstaje wtedy promieniowanie gamma.
2. Neutrony – przenikliwe, obojętne elektrycznie cząstki. Neutrony łączą się z jądrami atomów i przekształcają je w niestabilne jądra promieniotwórcze.
3. Protony (p) – dodatnio naładowane cząstki o właściwościach zbliżonych do promieniowania, jednak znacznie bardziej od nich przenikliwe.



Prawo rozpadu promieniotwórczego

https://www.youtube.com/watch?v=H4PW0tp_iiE

<https://www.youtube.com/watch?v=NInt6RG8IjA>

<https://www.youtube.com/watch?v=iizu9MIKtUc>

Gdy pojedyncze jądro przekształca się w inne, emitując promieniowanie, mówimy, że ulega ono rozpadowi promieniotwórczemu (ang. radioactive decay). Rozpadowi temu ulegają wszystkie jądra o $Z > 82$, a także niektóre niestabilne izotopy o $Z < 83$. Szybkość rozpadu jest proporcjonalna do liczby N początkowych jąder (które nie uległy jeszcze rozpadowi) w substancji.

Całkowita liczba N jąder promieniotwórczych pozostałych po czasie t wynosi

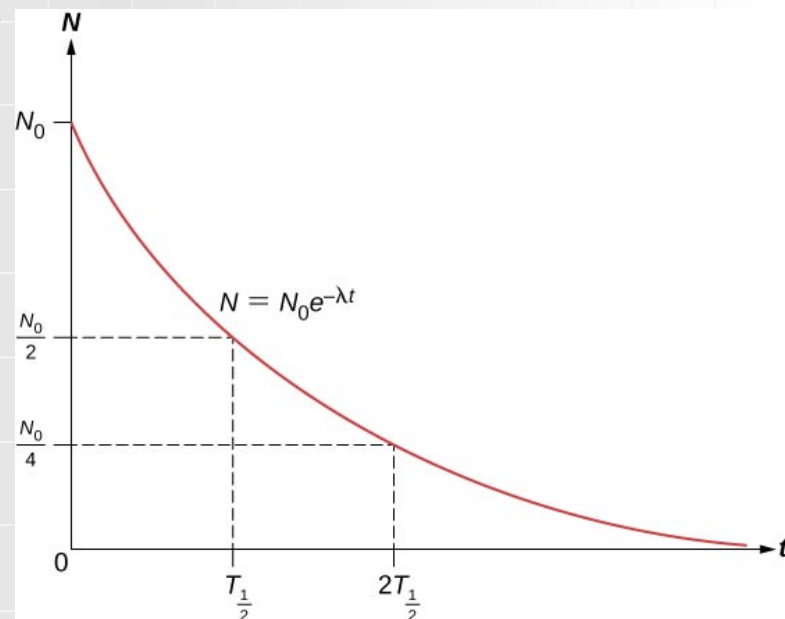
$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \text{ (wzór analityczny)}$$

gdzie parametr λ jest stałą rozpadu danego jądra.

Liczba jąder $-dN$, które ulegają rozpadowi w przedziale czasu dt , jest równa

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N. \text{ (równanie różniczkowe - lista dodatkowa)}$$

Okres połowicznego rozpadu (ang. half-life) $T_{1/2}$ substancji promieniotwórczej jest zdefiniowany jako czas, w którym połowa pierwotnej liczby jąder ulegnie rozpadowi. Liczba jąder promieniotwórczych pozostałych po całkowitej (n) wielokrotności okresu połowicznego rozpadu wynosi $N = \frac{N_0}{2^n}$.



Wykres prawa rozpadu promieniotwórczego pokazuje, że liczba pozostałych w próbce jąder maleje bardzo szybko podczas pierwszych chwil rozpadu.

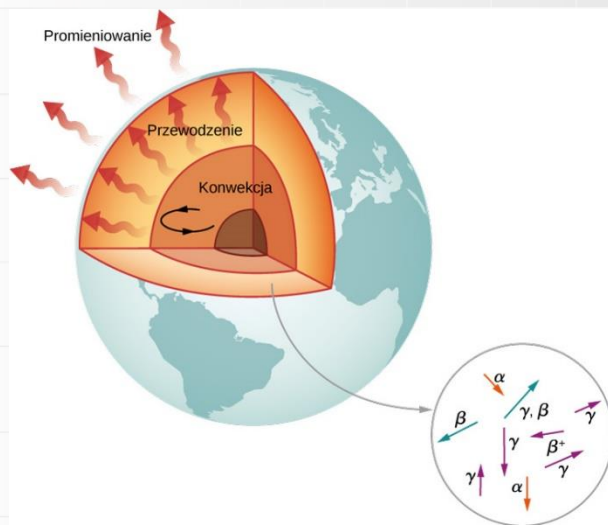
$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = \ln e^{-\lambda T_{1/2}} \rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \approx \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

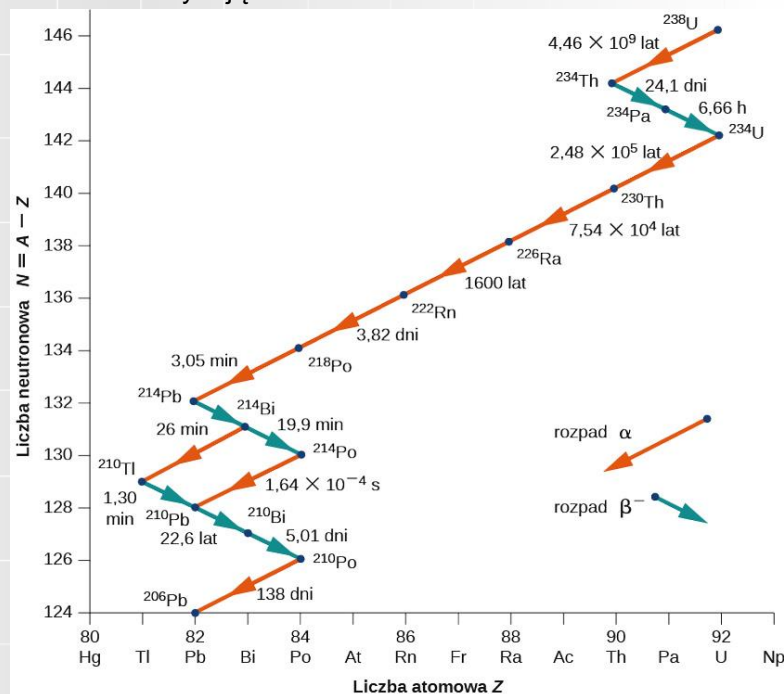


Szereg promieniotwórczy

Według geologów, gdyby Ziemia nie posiadała własnego źródła ciepła, ostygłaby do obecnej temperatury w ciągu nie więcej niż 1 mld lat. Jednak wiek Ziemi wynosi ponad 4 mld lat. Dlaczego Ziemia stygnie tak powoli? Odpowiedzią jest radioaktywność wnętrza Ziemi: wysokoenergetyczne cząstki wytwarzane w rozpadach promieniotwórczych grzeją Ziemię od środka. Kandydatami do tego modelu ogrzewania są jądra ^{238}U i ^{40}K , które mają okresy połowicznego rozpadu podobne do wieku Ziemi lub dłuższe. Energia wytwarzana w wyniku ich rozpadów (przypadająca na sekundę i na metr sześcienny) jest mała, ale nie może łatwo uciec, więc jądro Ziemi ma bardzo wysoką temperaturę. Energia cieplna z jądra Ziemi jest przenoszona na powierzchnię i dalej w zewnętrzną przestrzeń przez procesy konwekcji, przewodnictwa i promieniowania.



Gdy ciężkie jądro rozpada się, tworząc jądro lżejsze, powstałe w rozpadzie jądro potomne może stać się jądrem pierwotnym w kolejnym procesie rozpadu itd. Proces ten może prowadzić do długiej serii rozpadów jądrowych, którą nazywa się szeregiem promieniotwórczym (ang. decay series). Szereg kończy się na stabilnym jądrze.



W szeregu promieniotwórczym uranu-238 rozpady alfa (α) zmniejszają liczbę atomową, jak pokazują czerwone strzałki. Rozpady beta (β^-) zwiększają liczbę atomową, jak wskazują niebieskie strzałki. Szereg kończy się na stabilnym jądrze ^{206}Pb .

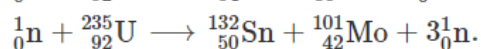
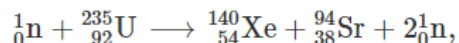
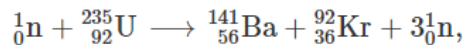


Rozszczepienie jądra atomowego

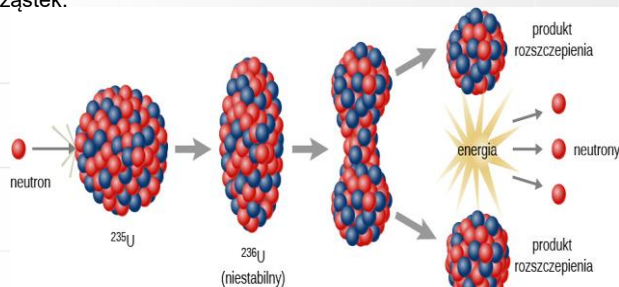
- reakcja łańcuchowa

W 1934 roku Enrico Fermi (1901-1954) bombardował pierwiastki chemiczne neutronami w celu wytworzenia izotopów innych pierwiastków. Spodziewał się, że bombardowanie uranu neutronami spowoduje jego niestabilność i doprowadzi do powstania nowego pierwiastka. Fermi nie był w stanie zidentyfikować produktów tej reakcji. Kilka lat później Otto Hahn (1879-1968) i Fritz Strassmann (1902-1980) powtórzyli te eksperymenty i odkryli, że produktami reakcji były mniejsze jądra. Na tej podstawie stwierdzili, że jądro uranu rozpadło się na dwa mniejsze jądra.

Ten rozpad jądra nazywa się rozszczepieniem (ang. fission). Co ciekawe, ^{235}U nie zawsze rozszczepia się na takie same fragmenty. Przykładowo zajść mogą następujące reakcje



W każdym przypadku suma mas powstałych jąder jest mniejsza niż masa rozszczepianego jądra, więc rozszczepienie uranu jest procesem egzotermicznym (w trakcie którego generowane jest ciepło). Jest to podstawą zastosowania rozszczepienia jąder jako źródła energii w reaktorach jądrowych, a wytwarzana energia odprowadzana jest w postaci energii kinetycznej powstających w reakcji cząstek.

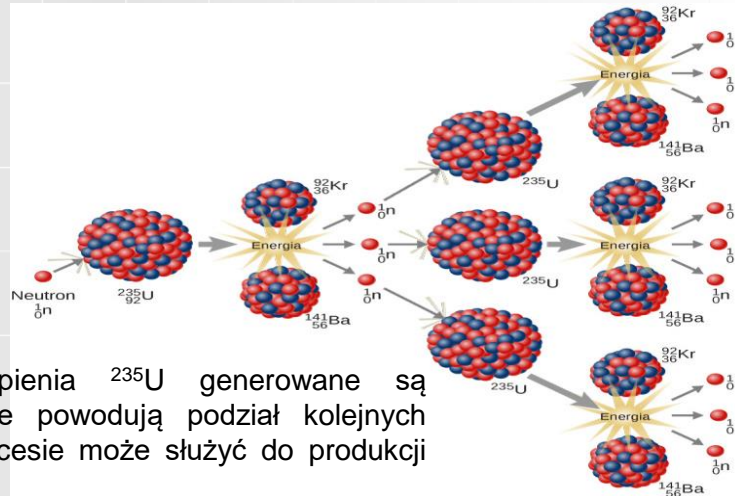


W kropkowym modelu rozszczepienia jądro uranu rozpada się na dwa lżejsze jądra w wyniku dołączenia do jądra neutronu.

W reakcji łańcuchowej rozszczepienia ^{235}U generowane są wysokoenergetyczne neutrony, które powodują podział kolejnych jąder. Energia uwalniana w tym procesie może służyć do produkcji energii elektrycznej.



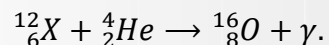
W reaktorach elektrowni jądrowej Philippsburg w Niemczech wytwarzana jest energia elektryczna.





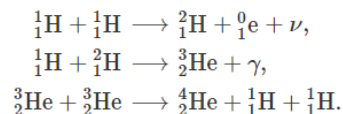
Fuzja jądrowa

Proces łączenia lżejszych jąder w jądra cięższe nazywa się syntezą jądrową lub fuzją jądrową albo reakcją termojądrową (ang. nuclear fusion). Podobnie jak reakcje rozszczepienia synteza jądrowa jest egzotermiczna – w jej wyniku wydzielą się energia. Załóżmy, że łączymy jądra węgla i helu, tworząc tlen

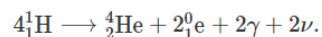


Bilans energii w tej reakcji można zrozumieć, korzystając z wykresu energii wiązania na nukleon. Porównanie energii wiązania na nukleon dla tlenu, węgla i helu prowadzi do wniosku, że jądro tlenu jest znacznie silniej związane niż jądra węgla i helu, a więc reakcja prowadzi do zmniejszenia energii układu. Energia ta jest emitowana w formie promieniowania γ .

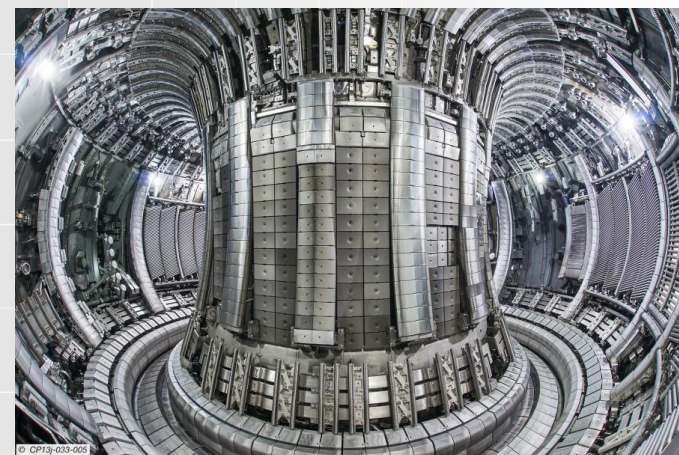
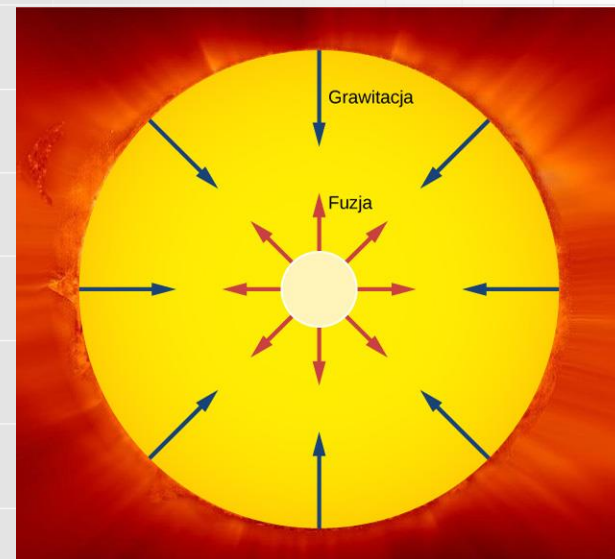
Ważnym przykładem syntezy jądrowej w przyrodzie jest produkcja energii w Słońcu. W 1939 roku Hans Bethe (1906-2005) zaproponował model, w którym Słońce produkuje energię, gdy jądra wodoru (1H) łączą się w stabilne jądra helu (4He) w jądrze Słońca. Ten proces, nazywany cyklem protonowym (ang. proton-proton chain), odpowiada trzem reakcjom



W taki sposób w wyniku syntezy jąder wodoru powstaje stabilne jądro helu. Te trzy reakcje można zapisać w łącznej postaci



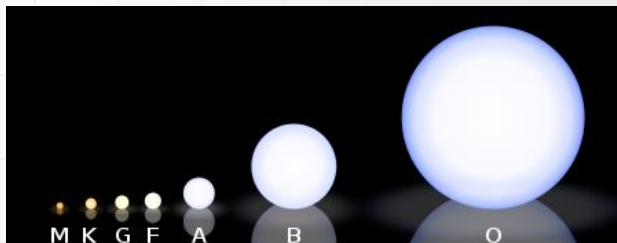
Całkowita energia wydzielona podczas tej reakcji wynosi około 26MeV. Uwolnienie jej wytwarza skierowane na zewnątrz termiczne ciśnienie gazu, które zapobiega grawitacyjnemu zapadnięciu się Słońca. Astrofizycy ustalili, że fuzja wodorowa dostarcza gwiazdom energii niezbędnej do utrzymania równowagi energetycznej przez większość ich życia.



Tokamak w reaktorze termojądrowym Joint European Torus (JET) wykorzystuje pole magnetyczne do utrzymywania jąder deuteru i trytu w czasie fuzji jądrowej. Źródło: EUROfusion



Różne typy gwiazd

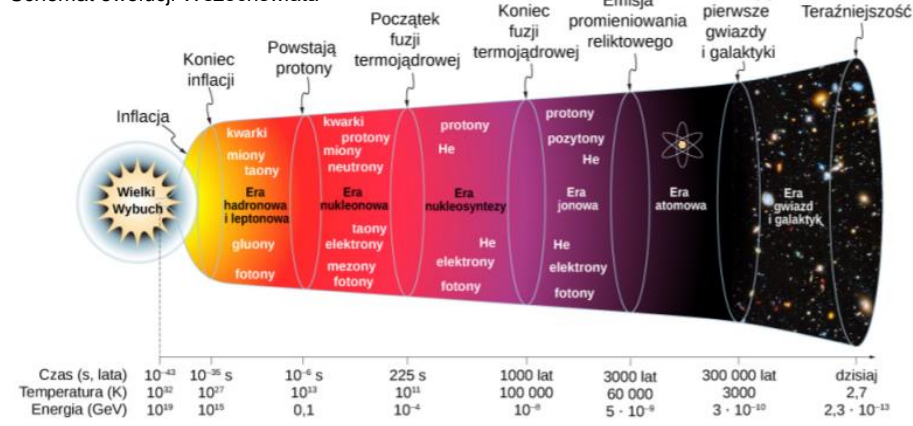


Typ widmowy – klasyfikacja gwiazd oparta na widmie światła wysyłanego przez gwiazdę. Widmo światła emitowanego przez gwiazdę jest określone przez trzy podstawowe parametry atmosfery gwiazdy, a mianowicie:

- temperaturę,
- ciśnienie gazu,
- skład chemiczny.

Z powyższych czynników największy wpływ na postać widma gwiazdowego ma temperatura. Widma gwiazd o niskiej temperaturze powierzchni świadczą o obecności tam prostych związków chemicznych. Wraz ze wzrostem temperatury spada liczba cząstek, a atomy ulegają jonizacji.

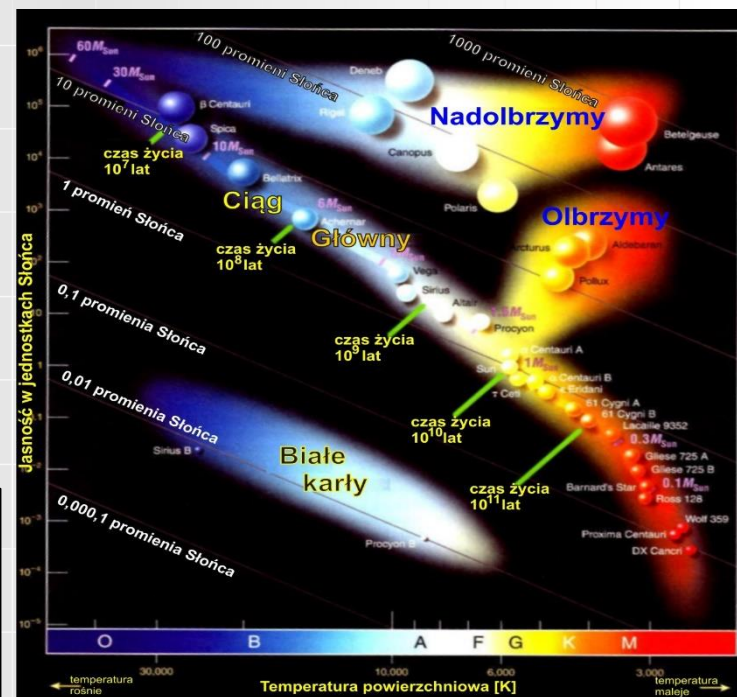
Schemat ewolucji Wszechświata



W 1929 roku amerykański astronom Edwin Hubble (1889–1953) opublikował jedno z największych odkryć współczesnej astronomii. Dokonał on następujących obserwacji: (1) galaktyki wydają się oddalać od Ziemi, (2) prędkość ucieczki galaktyki (v) jest wprost proporcjonalna do jej odległości (d) od Ziemi, czyli $v = H_0 d$. Obie wielkości, v oraz d , można wyznaczyć eksperymentalnie na podstawie widm jasności gwiazdowych, $H_0 = 70 \text{ km/sMpc}$ jest stałą, znaną jako stała Hubble'a (ang. Hubble's constant). ($1 \text{ Mpc} = 10^6 \text{ parseków} = 3.26 \cdot 10^6 \text{ lat świetlnych}$)

<https://www.youtube.com/watch?v=wE8A096LlIg>
<https://www.youtube.com/watch?v=bbSEZZCiMFE>
<https://www.youtube.com/watch?v=k0CIZj2EE1M>

Diagram Hertzsprunga-Russella (H-R) – wykres klasyfikujący gwiazdy (moc promieniowania w funkcji typu widmowego (lub temperatury)).



W czasie swojego życia, gwiazda podlega ewolucji. Na początku, gdy rozpoczyna się synteza wodoru, gwiazda przemieszcza się na diagramie H-R w lewo (rośnie jej temperatura) osiągając ciąg główny. Gdy zasoby wodoru zmniejszają się, a w reakcjach jądrowych coraz większą rolę zaczyna odgrywać hel, zmniejsza się temperatura powierzchni gwiazdy i rośnie jej jasność. W rezultacie gwiazda opuszcza ciąg główny przesuwając się na diagramie H-R w prawą stronę i w górę. To, jak długo gwiazda pozostaje w ciągu głównym, zależy od jej masy:

- Gwiazdy o masie poniżej $10\% M_{\odot}$ (masy Słońca) po bardzo długim czasie stają się od razu białymi karłami.
- Jeżeli masa gwiazdy wynosi od 10% – $25\% M_{\odot}$ to gwiazda po bardzo długim czasie z gwiazdy ciągu głównego stanie się błękitnym karłem a następnie białym karłem.
- Gwiazdy z ciągu głównego o masie od $0,25$ do $3 M_{\odot}$ w końcu swego życia stają się czerwonymi olbrzymami, a ostatecznie po „spaleniu” helu stają się białymi karłami.
- Gdy masa gwiazdy jest większa od $3 M_{\odot}$, to po krótkim pobycie na ciągu głównym gwiazda staje się nadolbrzymem, nową lub supernową, by ostatecznie skończyć jako biały karzeł, gwiazda neutronowa lub czarna dziura.



Słowniczek

cząstka α (ang. α -particle)

– podwójnie zjonizowane jądro helu

aktywność (ang. activity)

– wartość bezwzględna szybkości rozpadu substancji promieniotwórczych

antyelektron (ang. antielectron)

– inne określenie pozytonu

antineutrino (ang. antineutrino)

– antycząstka neutrina elektronowego w rozpadzie β^-

bekerelel (Bq, ang. becquerel)

– jednostka układu SI opisująca szybkość rozpadu materiału promieniotwórczego, równa 1 rozpadowi na sekundę

cykl protonowy (ang. proton-proton chain)

– ciąg reakcji, w których następuje synteza jąder helu z wodoru

defekt masy (ang. mass defect)

– różnica między całkowitą masą tworzących jądro nukleonów a masą tego jądra

datowanie izotopowe (ang. radioactive dating)

– zastosowanie rozpadu promieniotwórczego; w tej metodzie wiek materiału jest określany na podstawie zawartości izotopu promieniotwórczego określonego typu w tym materiale

energia wiązania (ang. binding energy)

– energia niezbędna do rozdzielenia jądra na tworzące je protony i neutrony

energia wiązania na nukleon (EWN, ang. binding energy per nucleon)

– energia potrzebna, by rozbić jądro na nukleony, przypadająca na jeden nukleon

grej (Gy, ang. gray)

– jednostka dawki pochłoniętej promieniowania określona jako 1J energii jonizującej otrzymanej na kilogram tkanki

izotopy (ang. isotopes)

– jądra o tej samej liczbie protonów, ale o różnej liczbie neutronów

jednostka masy atomowej (ang. atomic mass unit)

– jednostka służąca do wyrażania m.in. masy pojedynczego jądra, zdefiniowana jako $1/12$ masy atomu ^{12}C , czyli $1\text{u} = 1,660\,54 \cdot 10^{-27}\text{kg}$



Słownik

jądro atomowe (ang. nucleus)

– gęsto upakowany zbiór nukleonów w środku atomu

jądro potomne (ang. daughter nucleus)

– jądro będące produktem rozpadu jądra pierwotnego

jądro pierwotne (ang. parent nucleus)

– pierwotne jądro przed rozpadem

krytyczność (ang. criticality)

– stan, w którym reakcja łańcuchowa staje się samopodtrzymująca

liczba atomowa (ang. atomic number)

– liczba protonów w jądrze

liczba masowa (ang. mass number)

– liczba nukleonów w jądrze

liczba neutronowa (ang. neutron number)

– liczba neutronów w jądrze

masa molowa (ang. molar mass)

– całkowita masa protonów, neutronów i elektronów w jednym molu substancji

metoda datowania węglem-14 (ang. carbon-14 dating)

– metoda określenia wieku dawniej żywej tkanki za pomocą stosunku liczby atomów C14/C12

masa krytyczna (ang. critical mass)

– minimalna masa materiału rozszczepialnego niezbędna do wystąpienia samopodtrzymującej się reakcji jądrowej

nukleony (ang. nucleons)

– protony i neutrony wewnątrz jądra atomowego

nuklid (ang. nuclide)

– określony rodzaj jąder, o ustalonej liczbie protonów i neutronów

neutrino (ang. neutrino)

– subatomowa cząstka elementarna, która nie ma ładunku elektrycznego

niska dawka (ang. low dose)

– dawka promieniowania mniejsza niż 100mSv

okres połowicznego rozpadu (ang. half-life)

– czas, w jakim rozpada się połowa pierwotnej liczby jąder (czyli połowa jąder pozostaje)



Słownik

promień jądra atomowego (ang. radius of a nucleus)

- promień jądra jest dany wzorem $r=r_0A^{1/3}$

prawo rozpadu promieniotwórczego (ang. radioactive decay law)

- określa wykładniczy spadek liczby pierwotnych jąder w próbce promieniotwórczej

promieniotwórczość (ang. radioactivity)

- spontaniczna emisja promieniowania z jądra

pozyton (ang. positron)

- elektron o dodatnim ładunku

rozpad promieniotwórczy (ang. radioactive decay)

- proces, w którym indywidualne jądro atomowe niestabilnego izotopu traci masę i energię, emitując cząstki promieniowania jonizującego

rozpad alfa (ang. alpha decay)

- proces rozpadu promieniotwórczego jądra, w którym emitowana jest cząstka α

rozpad beta (ang. beta decay)

- proces rozpadu promieniotwórczego jądra, w którym emitowana jest cząstka β

rozpad gamma (ang. gamma decay)

- proces rozpadu promieniotwórczego jądra, w którym emitowana jest cząstka γ

reaktor powielający (ang. breeder reactor)

- reaktor przeznaczony m.in. do produkcji plutonu

rozszczepienie (ang. fission)

- rozpad jądra atomowego na lżejsze jądra

synteza (fuzja) jądrowa, reakcja termojądrowa (ang. nuclear fusion)

- proces łączenia się lżejszych jąder w cięższe

reaktor termojądrowy (ang. fusion reactor)

- reaktor jądrowy, w którym energia wytwarzana jest w procesach syntezy jądrowej

silne oddziaływanie jądrowe (ang. strong nuclear force)

- siły, które wiążą nukleony w jądrze

stała rozpadu (ang. radioactive decay constant)

- wielkość ta jest odwrotnie proporcjonalna do okresu połowicznego rozpadu

szereg promieniotwórczy (ang. decay series)

- ciąg rozpadów jądrowych, kończący się stabilnym jądrem



Słownikzek

siwert (Sv, ang. sievert)

– jednostka dawki pochłoniętej odnosząca się do wpływu na tkanki biologiczne

średni czas życia (ang. lifetime)

– średni czas, po jakim jądro ulega rozpadowi

tabela nuklidów (ang. chart of the nuclides)

– diagram obejmujący stabilne i niestabilne jądra

umiarkowana dawka (ang. moderate dose)

– dawka promieniowania od 0,1Sv do 1Sv

wysoka dawka (ang. high dose)

– dawka promieniowania większa niż 1Sv

względna skuteczność biologiczna promieniowania – WSB (ang. relative biological effectiveness, RBE)

– liczba wyrażająca względną skalę obrażeń powodowanych w tkankach biologicznych przez ustaloną ilość promieniowania jonizującego danego typu

znaczniki radioaktywne (ang. radioactive markers, radioactive tags)

– specjalne leki (radiofarmaceutyki), które pozwalają lekarzom śledzić ruch substancji w organizmie

promieniowanie α (ang. α -ray)

– strumień cząstek α

promieniowanie β (ang. β -ray)

– strumień elektronów

promieniowanie gamma (γ , ang. gamma rays)

– jeden z rodzajów promieniowania emitowanego w procesach jądrowych, składający się z wysokoenergetycznych fotonów

kosmologia (ang. cosmology)

– nauka zajmująca się badaniem początku, ewolucji i przyszłości Wszechświata

mikrofalowe promieniowanie tła (promieniowanie reliktowe) (ang. cosmic microwave background radiation, CMBR)

– promieniowanie cieplne powstałe we wczesnym Wszechświecie, jest świadectwem Wielkiego Wybuchu

prawo Hubble’a (ang. Hubble’s law)

– liniowy związek między prędkością ucieczki a odległością galaktyki

diagram Hertzsprunga-Russella (H-R) (ang. Hertzsprung–Russell diagram)

– wykres klasyfikujący gwiazdy (moc promieniowania w funkcji typu widmowego (lub temperatury)).



Praca domowa

- wytyczne

1. Format: plik pdf lub skan/zdjęcie (upewnij się, że Twoje pismo jest czytelne!)
2. Czytaj uważnie polecenia i wykonuj zawarte w nich zadania.
3. Pamiętaj aby **podpisać** swoją pracę.
4. Do rozwiązania dołącz:
 1. Rysunek – szkic sytuacji przedstawionej w zadaniu lub wykres wraz z danymi z zadania.
 2. Obliczenia – razem z przekształceniami wzorów, jeśli jest to konieczne.
 3. Wnioski sformułowane na podstawie dokonanej analizy.
5. Pamiętaj aby przesłać rozwiązania w terminie na swoją przestrzeń na dysku gogle (lub na adres email prowadzącej).



Wrocław
University
of Science
and Technology

Terminy

	LUTY	MARZEC					KWIECIEŃ					MAJ					CZERWIEC				LIPIEC	
PN	22	1	8	15	22	29	5	12 Pn N	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5		
WT	23	2	9	16	23	30 Pt P	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6		
ŚR	24	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2 Cz P	9	16	23	30	7		
CZ	25	4	11	18 H1	25 H2	1	8 H3	15 H4	22 H5	29 H6	6 H7	13 H8	20 H9	27 H10	3	10	17	24	1	8		
PT	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9		
SO	27	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10		
N	28	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11		
P - PARZYSTY N - NIEPARZYSTY	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P		

Lista dodatkowa nr 3

H10: 28.05.21 godz. 12:00

Email: sylwia.majchrowska@pwr.edu.pl