

**BUDOWA
MATERII**

**JĄDRO
ATOMOWE**



Andrzej
Szymański

Prowadzący przedmiot

dr. hab. inż. Bogdan Wyrwas

dr inż. Andrzej Szymański

Politechnika Poznańska

Wydział Technologii Chemicznej

Kierunek studiów: Technologia Chemiczna

pok. 542 (budynek WBMiZ, „z zegarem świetlnym”)

tel.: (61) 665-2806 lub (61) 665-2706

e-mail: Bogdan.Wyrwas@put.poznan.pl

e-mail: Andrzej.Szymanski@put.poznan.pl

Autorskie prezentacje do wykładów z Chemii nieorganicznej

dostępne są w internecie pod adresem: <http://zchoin.fct.put.poznan.pl/as.html>

Miejsce przedmiotu w programie studiów

Kierunek studiów: Technologia Chemiczna

Semestr I (zimowy)

- Wykład – 45 godzin
- Ćwiczenia – 30 godzin

▲ Wymagania: zaliczenie ćwiczeń na ocenę
i egzamin pisemny z całości przedmiotu

Semestr II (letni) i III (zimowy)

- Laboratorium – 60 godzin (II); 30 godzin (III)
- ▲ Wymagania: zaliczenie laboratorium na ocenę

Zagadnienia do omówienia

- Budowa materii. Jądro atomowe. Atom
- Okresowość właściwości pierwiastków chemicznych.
Układ okresowy pierwiastków
- Podstawy termodynamiki reakcji chemicznych. Wiązania chemiczne.
Kwasy i wodorotlenki (tlenki) – podstawowe związki pierwiastków
- Reakcje kwasowo-zasadowe. Iloczyn jonowy wody.
Skala pH w roztworach wodnych
- Reakcje wytrącania i rozpuszczania osadów. Iloczyn rozpuszczalności.
Rozpuszczalność
- Reakcje kompleksowania. Budowa związków kompleksowych
- Reakcje utleniania i redukcji (redox). Szereg napięciowy pierwiastków.
Wykresy Pourbaix
- Przegląd właściwości pierwiastków i ich związków

Literatura do przedmiotu

- Wykłady z Chemii nieorganicznej (wg planu zajęć)
- F. Domka, J. Jasiczak, Analiza jakościowa, Wydawnictwo AE Poznań, 2004
- J. Minczewski, Z. Marczenko, Chemia analityczna t. I. PWN, Warszawa 1975
- G. Charlot, Analiza nieorganiczna jakościowa, PWN, Warszawa 1976
- L. Jones, P. Atkins, Chemia ogólna, PWN, Warszawa 2007
- A. Bielański, Podstawy chemii nieorganicznej, tom 1-3, PWN, Warszawa 2005,
- A. Ciszewski, M. Baraniak, Aktywność chemiczna i elektrochemiczna pierwiastków w środowisku wody, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2006
- J.D. Lee, Zwięzła chemia nieorganiczna, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999
- L. Kolditz, Chemia nieorganiczna, PWN, 1994
- M. K. Snyder, Chemia, struktura i reakcje, WNT, Warszawa 1970
- W. Trzebiatowski, Chemia nieorganiczna, PWN, Warszawa 1978

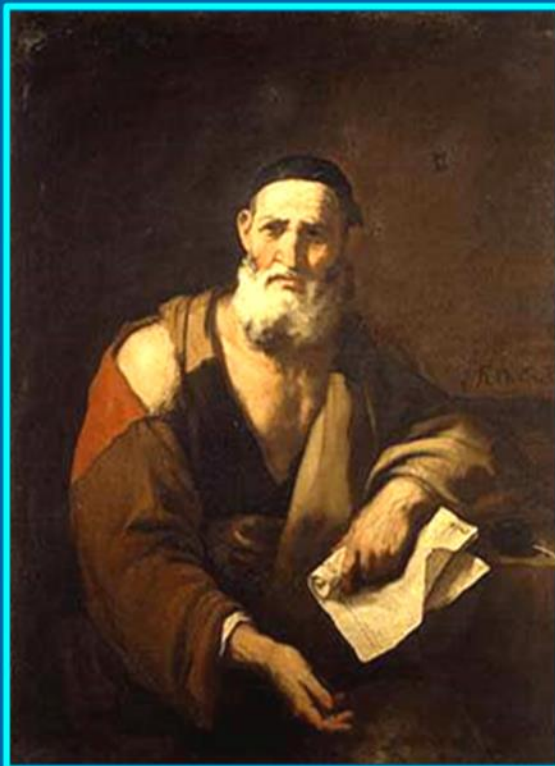


BUDOWA MATERII

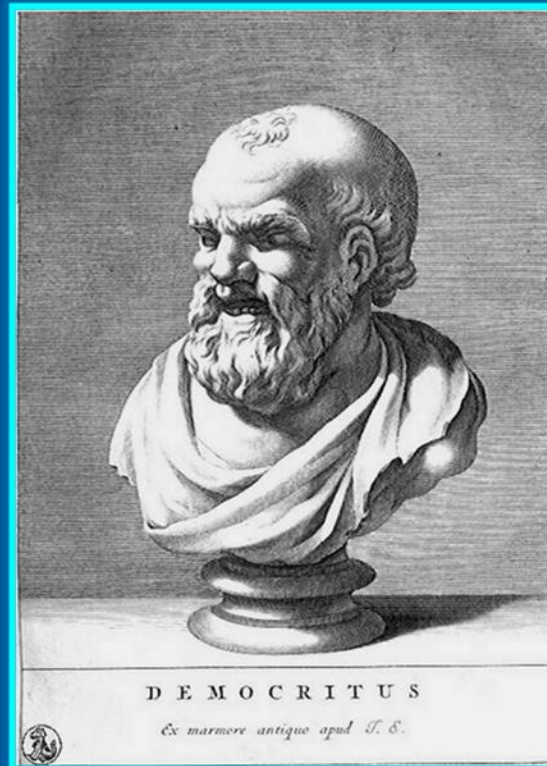
JĄDRO ATOMOWE

**Andrzej
Szymański**

Twórcy atomistycznej teorii budowy materii



Leucyp z Miletu
(V wiek p.n.e.)



Demokryt z Abdery
(ok. 460÷370 rok p.n.e.)

Leucyp z Miletu:

Nic nie dzieje się bez przyczyny, lecz wszystko z jakiejś racji i konieczności.

W odniesieniu do budowy materii można tę myśl przetransponować do postaci:
Znane nam rzeczy nie mogły powstać z niczego, istnieją zatem najmniejsze, niepodzielne cząstki (atomy), które stanowią ich budulec.

Atomistyczna teoria budowy materii

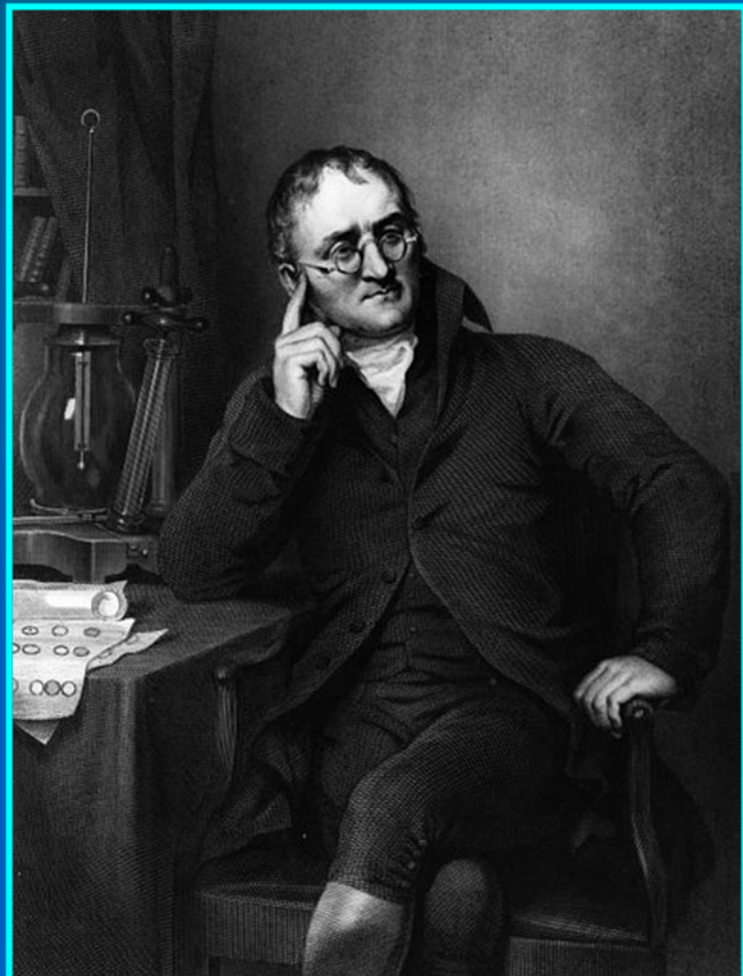
Teoria atomistyczna: Materia zbudowana jest z małych, niepodzielnych cząstek (atomów), otoczonych próżnią i różniących się między sobą kształtem, położeniem oraz uporządkowaniem.

„Atom” - z greckiego ἄτομος (átomos) – „niepodzielny”

Na podstawie ułożenia i rodzaju atomów postrzegano:

- substancje twarde (atomy ułożone gęsto)
- substancje miękkie (atomy ułożone luźno)
- słodki smak (gładkie atomy)
- ostry, kwaśny, gorzki smak (ostre, nierówne atomy)
- kolory (różne, w zależności od sposobu ułożenia atomów).

Kulminacja teorii atomistycznej – John Dalton początek XIX wieku



John Dalton
(1766÷1844)

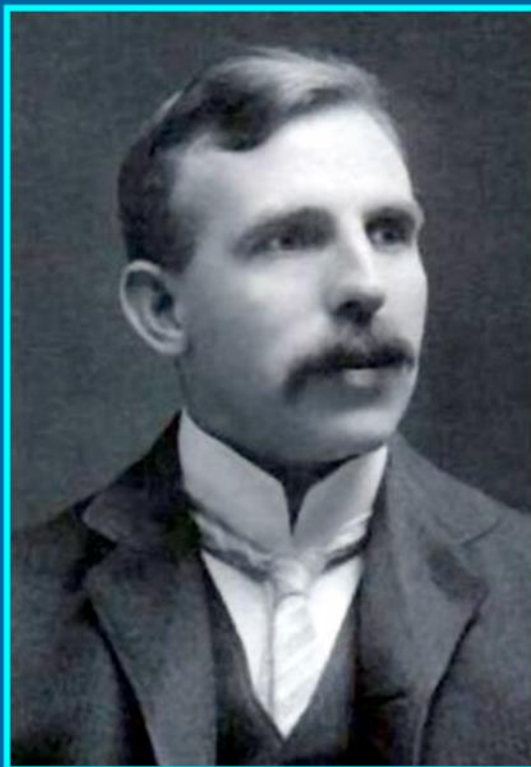
- 1. Wszystkie substancje składają się z niepodzielnych cząstek – atomów – które zachowują swoją indywidualność we wszystkich przemianach chemicznych.**
- 2. Atomy danego pierwiastka są identyczne pod każdym względem, atomy różnych pierwiastków różnią się swoimi właściwościami**
- 3. Związki chemiczne powstają w wyniku łączenia się atomów różnych pierwiastków w określonych i stałych stosunkach liczbowych.**

Twórcy nowożytnej atomistyki

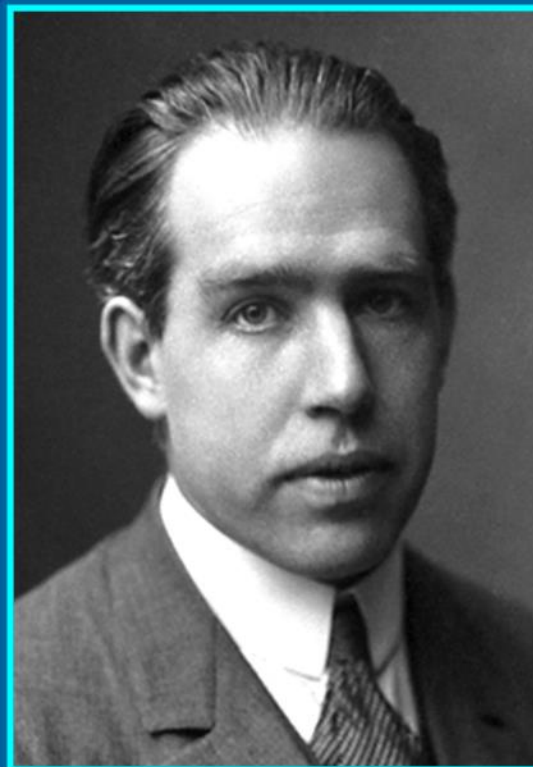
W czasach nowożytnych (około 100 lat po rozwinięciu teorii atomistycznej przez Johna Daltona) obalono pogląd o niepodzielnej budowie atomu.



Joseph J. Thomson
(1856÷1940)

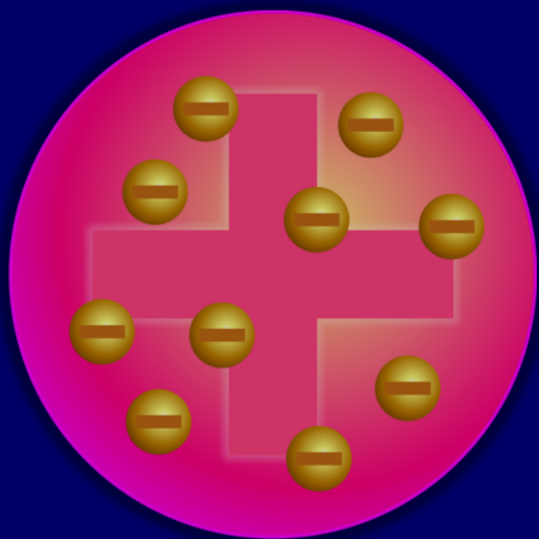


Ernest Rutherford
(1871÷1937)

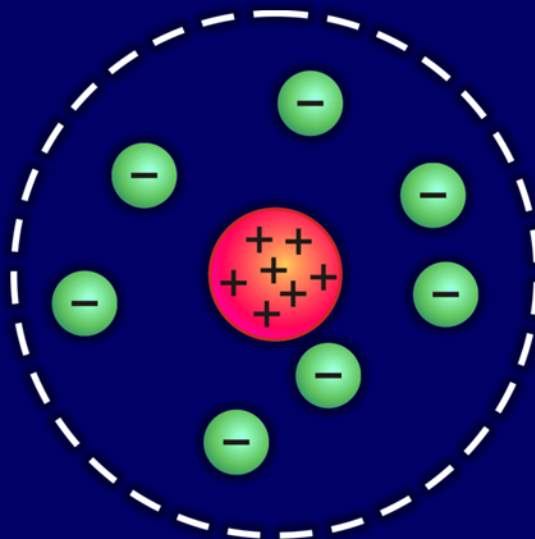


Niels Bohr
(1885÷1962)

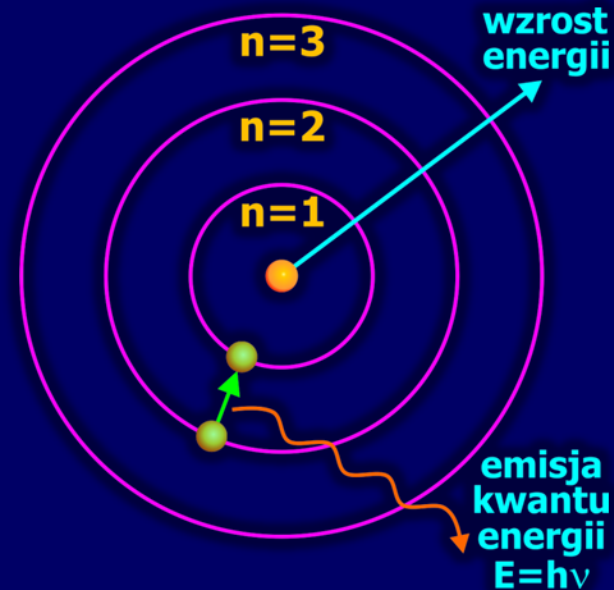
Nowożytne poglądy na budowę atomu



Atom Thomsona
1904 rok
„model ciasta z rodzynkami”



Atom Rutherforda
1911 rok
„klasyczny model planetarny”



Atom Bohra
1913 rok
„kwantowy model planetarny”

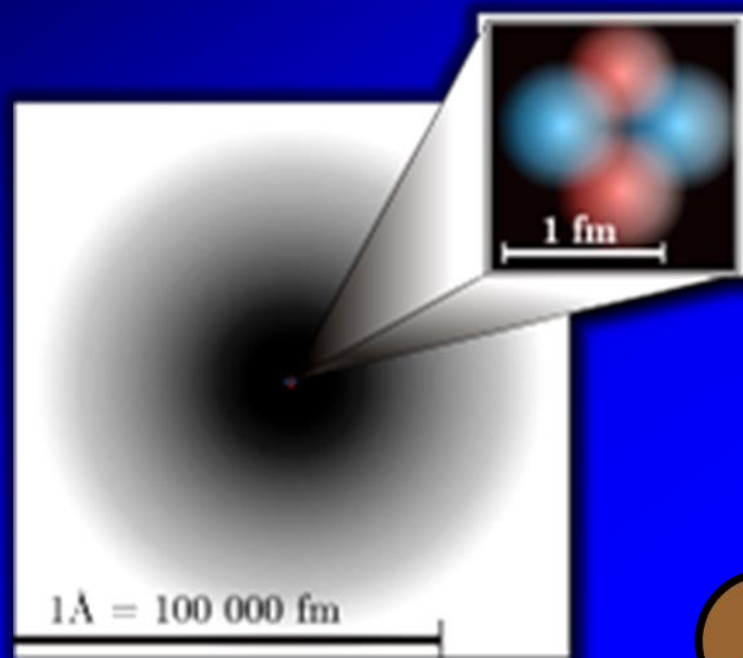
Elementy składowe atomu

Nazwa cząstki	Symbol	Masa	Ładunek
proton	p	$1,6725 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	+
neutron	n	$1,6748 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	0
elektron	e	$9,1093 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	-
neutrino elektronowe	ν_e	~ 0	0
antyneutrino elektronowe	$\bar{\nu}_e$	~ 0	0

Protony i neutrony są składnikami jądra atomowego.

Elektrony krążą po orbitach wokół jądra atomowego.

Rozmiary atomów i jąder atomowych



$$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$$

ziarenko
maku



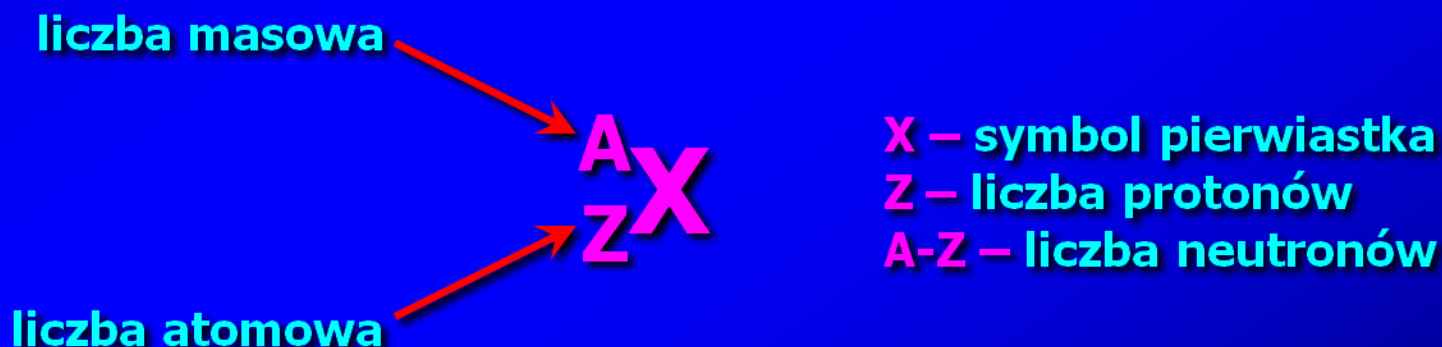
Atom to układ zbudowany z jądra atomowego i elektronów
krążących wokół niego po bardzo odległych orbitach.

Zapis składu jądra atomowego

Masa elektronów jest zanedbywalnie mała, zatem praktycznie cała masa atomu skoncentrowana jest w jądrze atomowym, zbudowanym z protonów i neutronów.

Różnorodność pierwiastków chemicznych determinowana jest różnorodnością jąder atomowych – zarówno naturalnych, jak i tych, które można otrzymać sztucznie, na drodze reakcji jądrowych.

Skład jądra atomowego danego pierwiastka przyjęto zapisywać jego symbolem chemicznym, z jednoczesnym podaniem liczby tworzących je protonów i neutronów:



Przykłady jąder atomowych:



Izotopy

Odmiany tego samego pierwiastka różniące się liczbą masową jąder atomowych nazywane są izotopami. Izotopy tego samego pierwiastka mają równą liczbę protonów i różną liczbę neutronów w jądrze atomowym:



Dla izotopów wodoru przyjęło się stosować różne nazwy (niekiedy także symbole):

${}^1_1\text{H}$ – wodór (prot)

${}^2_1\text{H}$ (${}^2_1\text{D}$) – ciężki wodór (deuter)

${}^3_1\text{H}$ (${}^3_1\text{T}$) – promieniotwórczy wodór (tryt)

Jednostka masy atomowej

Jednostka masy atomowej, unit (u, od ang. unit - 'jednostka', lub dalton (Da)) – jednostka masy używana powszechnie w naukach chemicznych i biologicznych, która w przybliżeniu jest równa masie atomu wodoru, jednak ze względów praktycznych została zdefiniowana jako 1/12 masy atomu węgla ^{12}C .

$$1 \text{ u} = 1,660538 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{masa 1 protonu} = 1,0072 \text{ u}$$

$$\text{masa 1 neutronu} = 1,0087 \text{ u}$$

$$\text{masa 1 elektronu} = 0,0022 \text{ u}$$

Względna masa atomowa – liczba Avogadro



Amedeo Avogadro

Amedeo Avogadro (1776÷1856)

**Pełne nazwisko: Lorenzo Romano
Amedeo Carlo Avogadro di Quaregna
e di Cerreto (włoski arystokrata,
Książę Quaregna i Cerreto)**

Względna masa atomowa – masa atomu względem umownej jednostki, równej $1/12$ masy lżejszego nuklidu atomu węgla ^{12}C . Analogicznie określa się względną masę cząsteczkową.

Masa molowa – masa takiej liczby atomów lub cząsteczek, wyrażona w gramach, aby jej wartość liczbową była równa względnej masie atomowej lub cząsteczkowej. Taka ilość cząstek nazywana jest molem danej substancji.

Względną i bezwzględną masę atomową wiąże **liczba Avogadro** w przybliżeniu wynosząca:

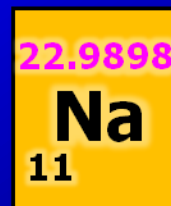
$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Określa ona ilość cząstek w jednym molu substancji. Dzieląc masę molową przez liczbę Avogadro można obliczyć bezwzględną masę atomów lub cząsteczek. Dla atomu wodoru:

$$m_H = 1,0079 : 6,02 \cdot 10^{23} = 1,67 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

Skład izotopowy wybranych pierwiastków naturalnych

Liczba atomowa	Symbol	Liczby masowe izotopów (w nawiasach podano zawartość procentową)
1	H	1 (99,985), 2 (0,015)
2	He	4 (99,99987), 3 (0,00013)
6	C	12 (98,89), 13 (1,11)
7	N	14 (99,63), 15 (0,37)
8	O	16 (99,759), 17 (0,037), 18 (0,204)
11	Na	23 (100)
15	P	31 (100)
17	Cl	35 (75,53), 37 (24,47)
26	Fe	56 (91,6), 54 (5,9), 57 (2,20), 58 (0,33)



Skąd we Wszechświecie wzięły się pierwiastki chemiczne?

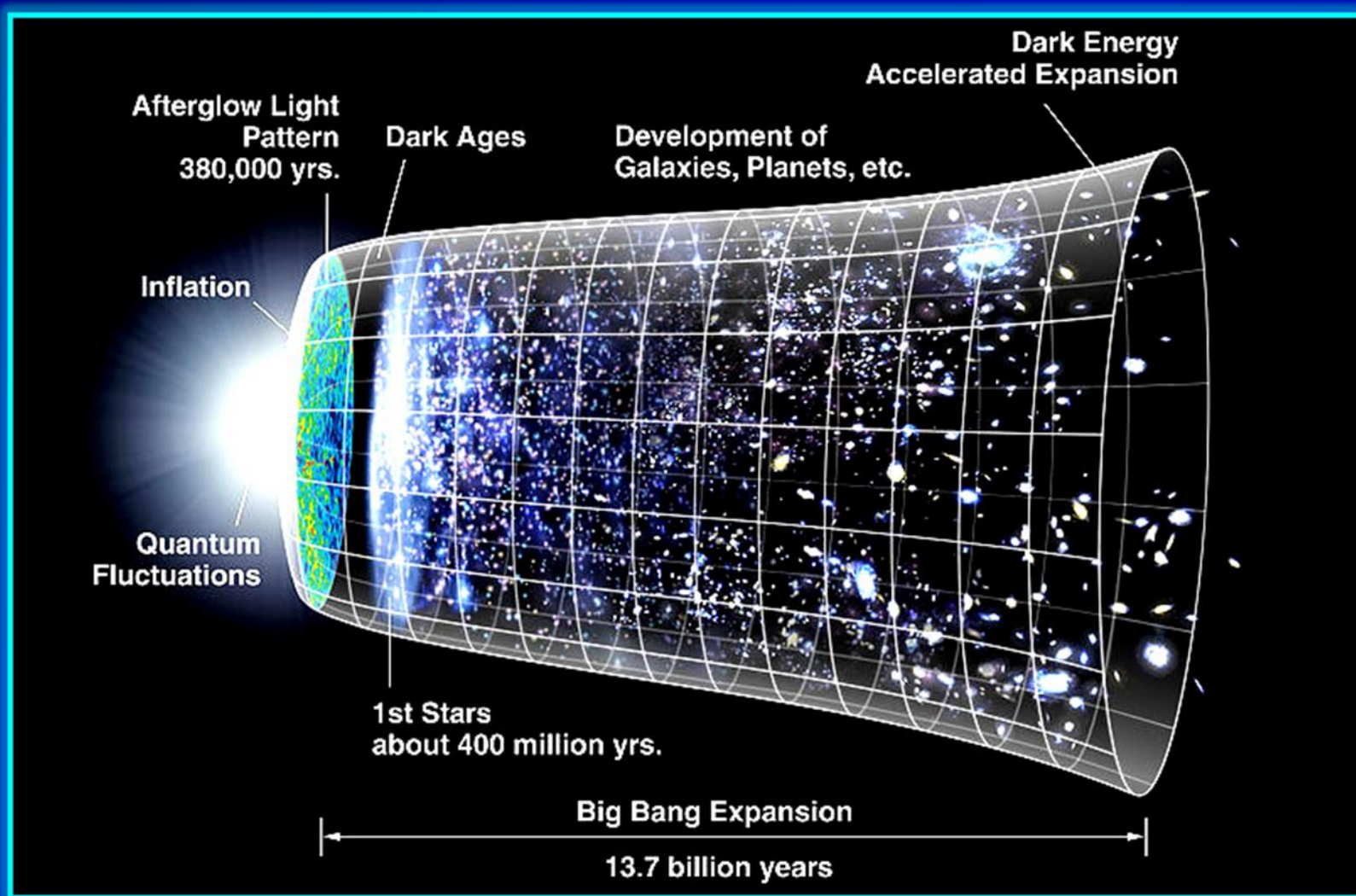
Chronologia procesów prowadzących do powstawania atomów jest następująca:

- w wyniku łączenia się kwarków powstały nukleony (protony i neutrony)
- łączenie nukleonów doprowadziło do powstania jąder atomowych
- po wychwycie elektronów przez jądra atomowe powstały atomy.

Pytanie o pierwiastki chemiczne we Wszechświecie jest więc pytaniem o to, w którym momencie rozwoju Wszechświata pojawiły się nukleony i jądra atomowe, a także o to, kiedy temperatura Wszechświata spadła poniżej temperatury dysocjacji atomów, bo tylko wtedy wychwyt elektronów przez jądra atomowe mógł doprowadzić do powstania trwałych atomów.

Narodziny i rozwój Wszechświata

Scenariusz ewolucji Wszechświata wydaje się być już napisany.
Ciągłe jednak niewiele wiadomo o inicjującym ekspansję Wszechświata
Wielkim Wybuchu (Big Bang), czyli tzw. okresie kosmologii kwantowej.



Ogólny scenariusz ewolucji Wszechświata

Zdarzenie	Czas	Gęstość (g/cm ³)	Temperatura (K)
<u>Wielki Wybuch</u> . Kosmologia kwantowa	?	?	?
Oddzielenie się grawitacji (tzw. era Plancka)	10 ⁻⁴⁴ s	10 ⁹³	10 ³³
Oddzielenie się silnych oddziaływań jądrowych (tzw. inflacja)	10 ⁻³⁵ s	10 ⁷⁰	10 ²⁷
Oddzielenie się słabych oddziaływań jądrowych i elektromagnetycznych	10 ⁻¹² s	10 ²⁵	10 ¹⁵
Powstanie protonów i neutronów	10 ⁻⁶ s	10 ¹⁶	10 ¹³
Nukleosynteza (powstają jądra atomowe)	kilka minut	10 ¹⁰ ÷10 ¹	10 ¹¹ ÷10 ⁹
Koniec ery promienistej (początek ery galaktycznej). Wychwyt elektronów (trwałe atomy wodoru)	35 000 lat	10 ⁻¹⁴	10 ⁴
Koniec dysocjacji atomów (trwałe atomy pierwiastków ciężkich)	100 000 lat	~10 ⁻¹⁶	4·10 ³
Era obecna	15÷20 mld lat	10 ⁻²⁸ ÷10 ⁻³¹	2,735

Wszechświat przed inicjacją pierwotnej nukleosyntezy

Młody Wszechświat, w okresie zaledwie milionowych części sekundy przeszedł błyskawiczną ewolucję poprzez kilka epok, które można nazwać przygotowawczymi do pierwotnej nukleosyntezy.

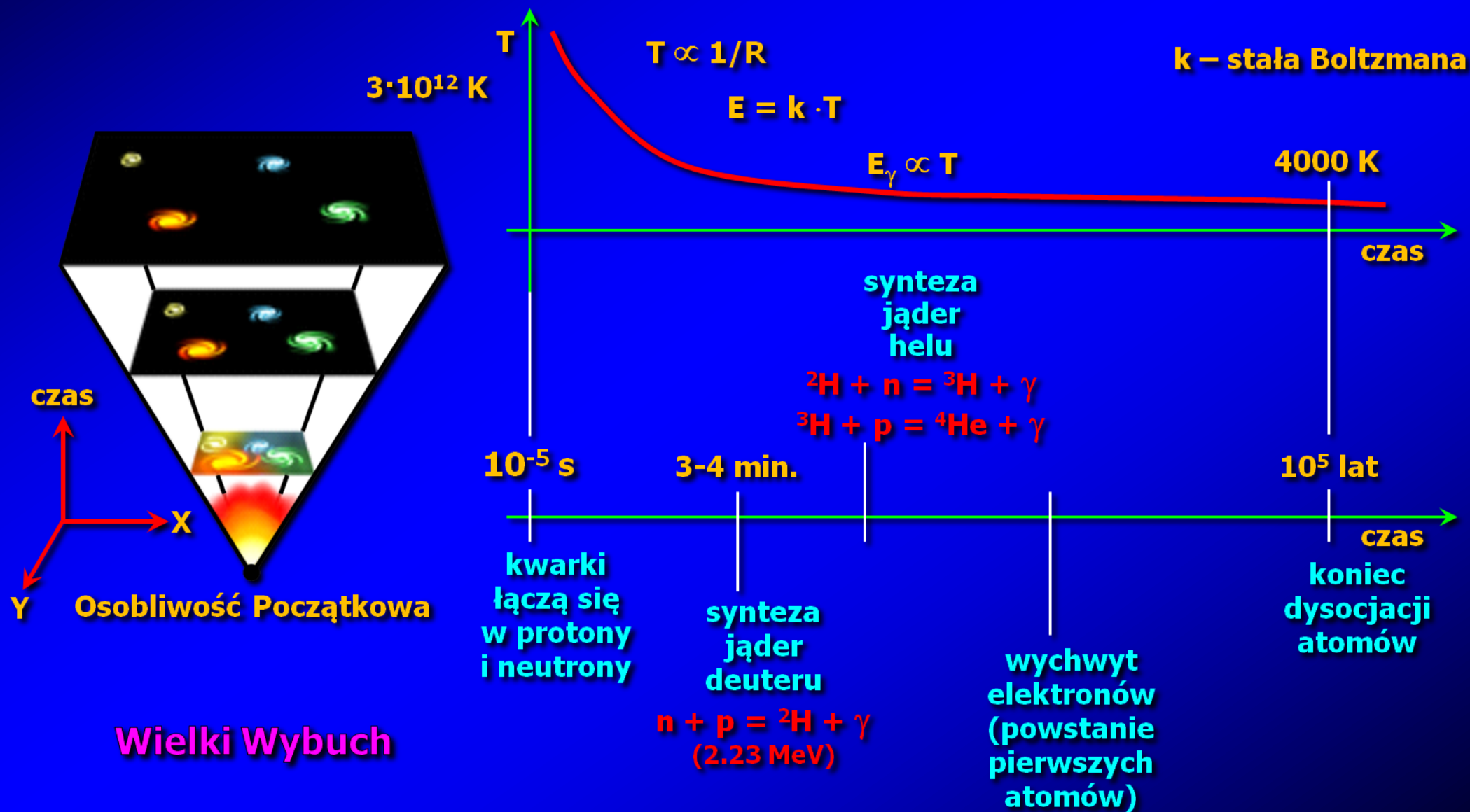


Murray Gell-Mann (ur. 1929)

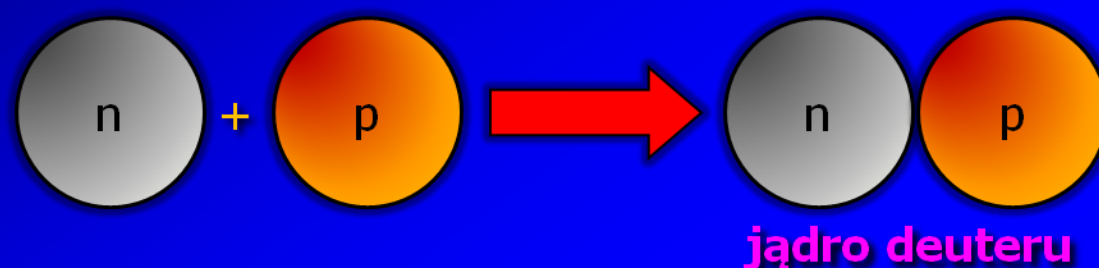
Gell-Mann i George Zwaig są współtwórcami teorii kwarków.

Epoka	Czas trwania
Kwarkowa	$10^{-12} \div 10^{-6} \text{ s}$
Hadronowa	$10^{-6} \div 1 \text{ s}$ (pojawienie się protonów i neutronów)
Leptonowa	$1 \div 10 \text{ s}$
Pierwotna nukleosynteza	$3 \div 20 \text{ minut}$ (synteza deuteru, helu i innych lekkich jąder z protonów i neutronów)
Fotonowa	$10 \text{ s} \div 380\,000 \text{ lat}$

Wszechświat od powstania nukleonów do pojawienia się trwałych atomów



Pierwotna nukleosynteza – powstanie jąder atomowych deuteru



Reakcja egzoenergetyczna – uwolniona zostaje energia

**Masa jądra deuteru jest mniejsza od sumy mas protonu i neutronu.
„Znikająca” masa przyjmuje postać energii kwantów promieniowania γ ,
zgodnie z równaniem Einsteina:**

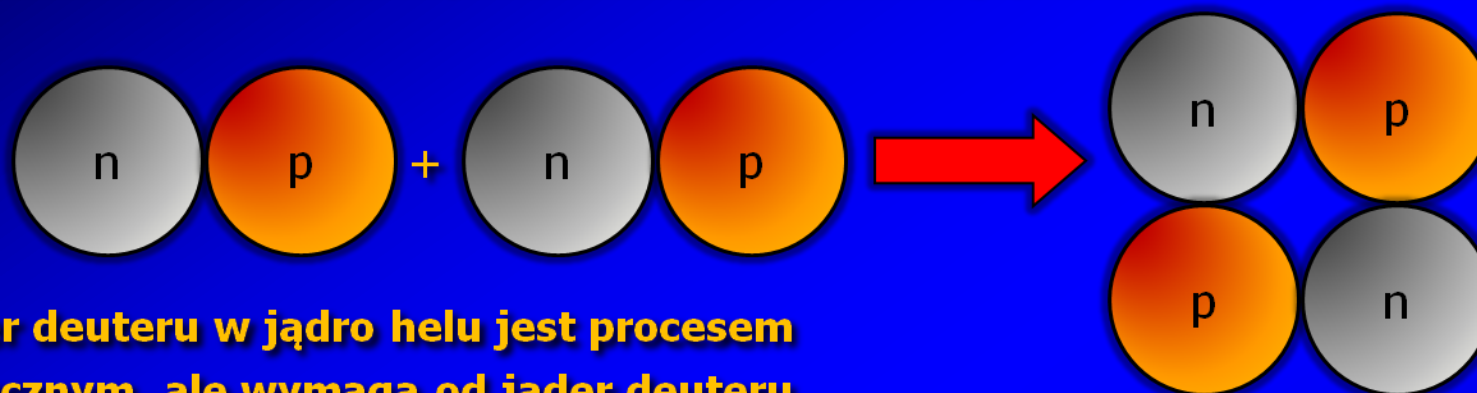
$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

$$\Delta E = [(Zm_p + Nm_n) - m_Z^A] \cdot c^2$$

W symbolicznym zapisie literowym synteza jąder deuteru wygląda następująco:



Pierwotna nukleosynteza – powstanie jąder atomowych helu

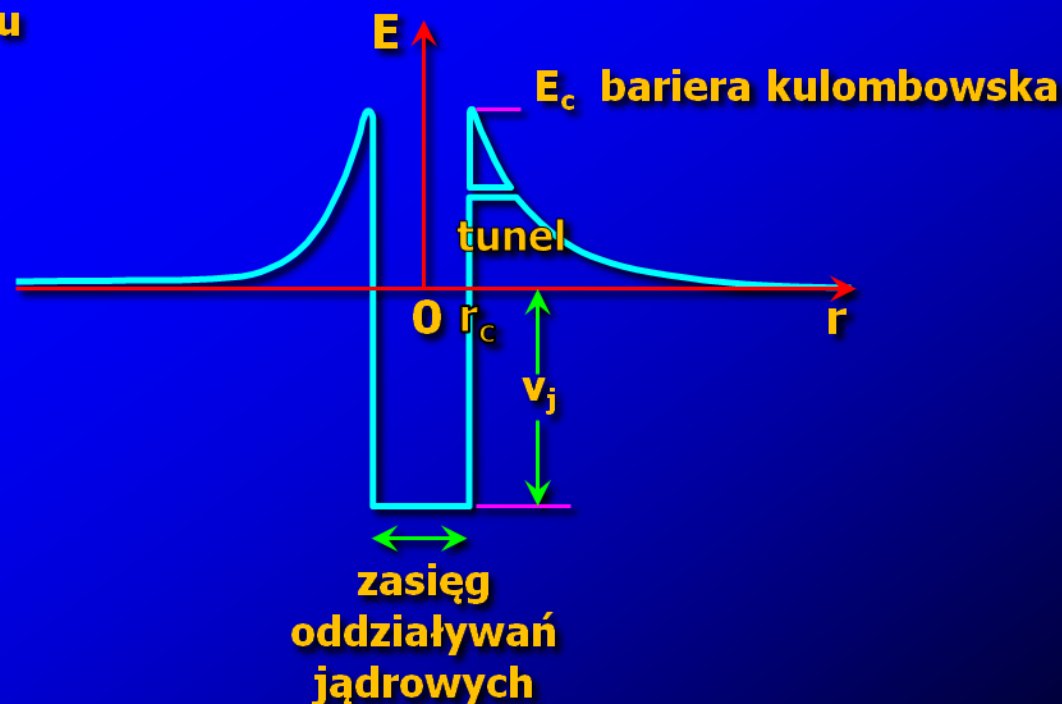


Łączenie jąder deuteru w jądro helu jest procesem egzoenergetycznym, ale wymaga od jąder deuteru odpowiedniej energii w celu pokonania odpychania elektrostatycznego. Po zbliżeniu się jąder deuteru na odległość rzędu 10^{-14} m zaczynają działać siły jądrowe spajające nowe jądro.

W symbolicznym zapisie literowym synteza jąder helu wygląda następująco:



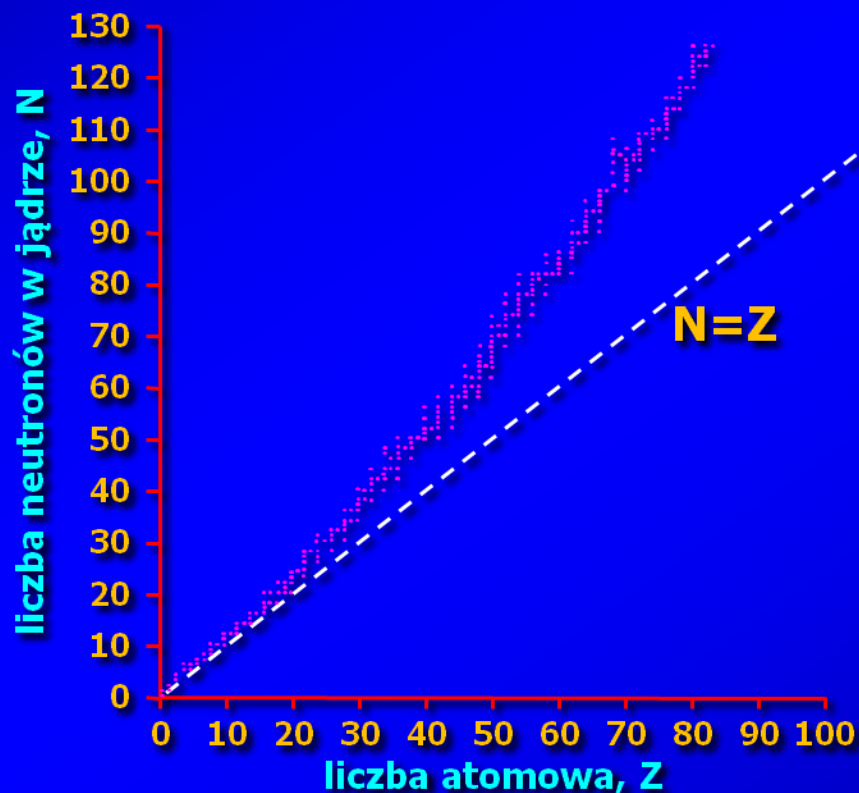
cząsteczka α (jądro helu - ${}^4_2\text{He}$)



Stabilność jąder atomowych

Przez pierwszych kilkadziesiąt tysięcy lat ewolucji Wszechświata jego temperatura była zbyt wysoka aby mógł następować wychwyt elektronów i tworzenie atomów. Głównym elementem materii ówczesnego Wszechświata były więc jądra atomowe.

Jeżeli uwzględnimy, że jądro atomowe zawiera Z protonów i N neutronów (${}^{N+Z}_{Z}\text{X}$), to jest ono tym bardziej stabilne, im bardziej jego skład spełnia zależność $N = Z$.



- O tym, czy powstające jądro będzie stabilne, decyduje stosunek liczby neutronów do liczby protonów w jądrze i jego masa całkowita.
- Jądro niestabilne będzie dążyło do osiągnięcia stabilności w wyniku przemian jądrowych.

Energia wiązania nukleonów w jądrze – część 1

Przykładowo, dla atomu berylu (${}^9_4\text{Be}$) – jądro zawiera 4 protony i 5 neutronów, a wokół jądra krążą 4 elektrony. W stanie wolnym łączna masa tych cząstek wynosiłaby:

$$4 \text{ elektrony} - 4 \cdot 0,0005486 = 0,0021944 \text{ u}$$

$$4 \text{ protony} - 4 \cdot 1,0072764 = 4,0291056 \text{ u}$$

$$5 \text{ neutronów} - 5 \cdot 1,0086650 = 5,0433250 \text{ u}$$

$$\text{razem } 9,0746250 \text{ u}$$

Natomiast oznaczona masa atomowa berylu to 9,01218 u, czyli jest mniejsza o 0,0624 u od obliczonej!

Energia wiązania nukleonów w jądrze – część 2

Z teorii względności Einsteina:

$$E = mc^2$$

gdzie: E – energia, m – masa, c – prędkość światła (około $3 \cdot 10^8$ m/s)

a ponieważ

$$1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

czyli

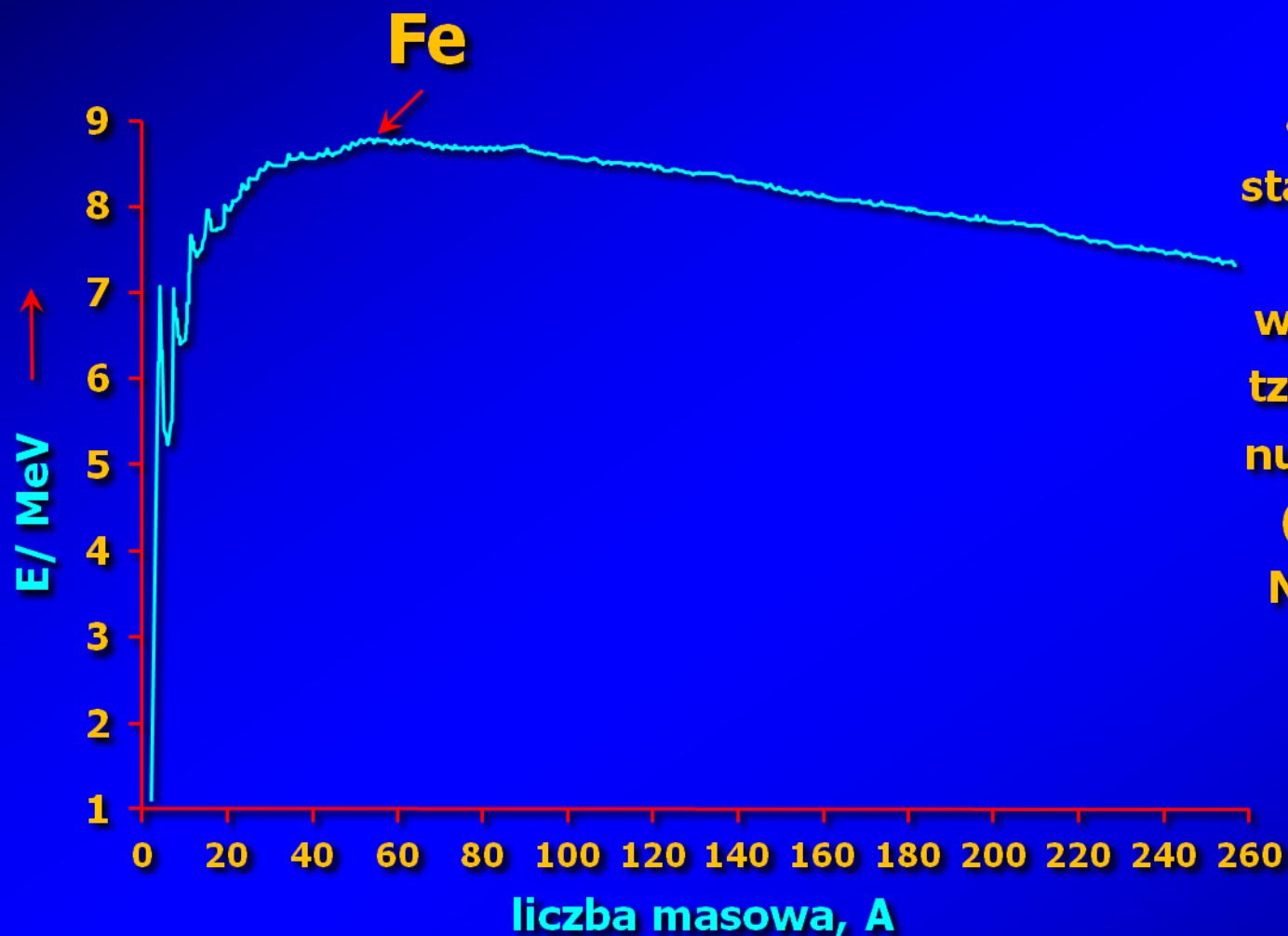
$$E = 931,5 \text{ MeV} = 1,492 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

więc energia wiązania nukleonów w jądrze berylu wynosi:

$$931,5 \text{ MeV} \cdot 0,0624 = 58,13 \text{ MeV}$$

a dla jednego nukleonu w jądrze berylu – 6,46 MeV

Trwałość jąder atomowych



Nukleony w jądrach atomowych wzdłuż ścieżki stabilności nie są równie silnie powiązane ze sobą. Na wykresie pokazano zależność tzw. średniej energii wiązania nukleonu w jądrze atomowym (E) od liczby masowej (A). Najwyższą energię wiązania nukleonów w jądrze atomowym ma żelazo.

Przemiany jądrowe - przemiana α

Przemianami jądrowymi nazywamy procesy prowadzące do zmiany składu jądra atomowego. Przemiany jądrowe przebiegające w sposób naturalny, prowadzą do powstania jąder o większej stabilności i trwałości.

Przemiana α polega na emisji cząstek α , czyli jąder helu (${}^4_2\text{He}^{2+}$), pochodzących z niestabilnych jąder pierwiastków ulegających przemianie. Przemianie tej ulegają głównie pierwiastki ciężkie o liczbach atomowych powyżej 83.



Przemiany jądrowe - przemiana β^-

Przemiana β^- polega na emisji elektronu pochodzącego z rozpadu neutronu w jądrze atomowym pierwiastka, który ulega przemianie.

Przemianie tej ulegają jądra, w których znajduje się więcej neutronów niż protonów.

Podczas przemiany β^- z neutronu powstaje proton, elektron i antyneutrino.



Przemiany jądrowe – przemiana β^+

Przemiana β^+ polega na emisji pozytonu pochodzącego z rozpadu protonu w jądrze atomowym pierwiastka, który ulega przemianie.

Przemianie tej ulegają jądra, w których znajduje się więcej protonów niż neutronów.

Podczas przemiany typu β^+ proton ulega rozpadowi na neutron, pozyton i neutrino:



Przemiany jądrowe – promieniowanie γ

Promieniowanie γ

Ponieważ rozpad α oraz obydwa rozpady β prowadzą do wzbudzonego stanu konfiguracji elektronowej, to aby przejść ze stanu wzbudzonego na mniej wzbudzony lub podstawowy, atom musi pozbyć się nadmiarowej energii. W tym celu emituje on kwant energii w postaci fali elektromagnetycznej ($h\nu$). To zjawisko nazywa się promieniowaniem γ . Jest to taki typ promieniowania jądrowego, który towarzyszy praktycznie wszystkim pozostałym procesom promieniotwórczym.

Promieniowanie γ to wysokoenergetyczna forma promieniowania elektromagnetycznego. Za promieniowanie γ uznaje się promieniowanie o energii kwantu większej od 10 keV, co odpowiada częstotliwości większej od 2,42 EHz ($2,42 \cdot 10^{18}$ Hz), a długości fali mniejszej od 124 pm. Zakres ten częściowo pokrywa się z zakresem promieniowania rentgenowskiego.

Przemiany jądrowe – prawo przesunięć Soddy'ego i Fajansa

W przypadku przemiany α powstaje izotop o liczbie masowej mniejszej o cztery
i liczbie atomowej mniejszej o dwa
(przesunięcie w układzie okresowym o dwa miejsca w lewo)



W przypadku rozpadu β^- powstaje nuklid izobaryczny o takiej samej liczbie masowej,
ale o liczbie atomowej większej o jeden
(przesunięcie w układzie okresowym o jedno miejsce w prawo)



W przypadku przemiany β^+ powstaje nuklid izobaryczny, czyli jądro pierwiastka
o liczbie atomowej mniejszej o jeden oraz tej samej liczbie masowej
(przesunięcie w układzie okresowym o jedno miejsce w lewo)



Różnorodność jąder atomowych we Wszechświecie

Czy różnorodność jąder atomowych we Wszechświecie jest wynikiem jedynie pierwotnej nukleosyntezy (najintensywniejszej w czasie kilku minut po Wielkim Wybuchu) i następujących po niej dalszych przemian jądrowych?

NIE

Ogólny scenariusz ewolucji Wszechświata zakłada, że wraz z zakończeniem tzw. ery promienistej (około 35 000 lat po Wielkim Wybuchu), zaczęła się tzw. era galaktyczna, w której początkach lokuje się narodziny pierwszych gwiazd. Około miliard lat po Wielkim Wybuchu pojawiły się pierwsze galaktyki, a liczba gwiazd ciągle rośnie.

Procesy zachodzące podczas „narodzin” gwiazd (Supernowe) i podczas wypalania się gwiazd już istniejących powiększają różnorodność jąder atomowych, powstających w wysokoenergetycznych procesach, przebiegających w wysokich temperaturach (istnieją jądra atomowe, gdyż atomy w tych warunkach ulegają dysocjacji).

Supernowe – ewolucja gwiazd

Faza	Temperatura	Czas trwania
wodorowa	$6 \cdot 10^7$	10^7 lat
helowa	$2 \cdot 10^8$	10^5 lat
węglowa	10^9	600 lat
neonowa	$1,7 \cdot 10^9$	1 rok
tlenowa	$2,5 \cdot 10^9$	6 miesięcy
krzemowa	$4 \cdot 10^9$	1 dzień

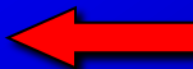
Syntezywane są jądra atomowe
zawierające do 28 protonów (m.in. żelazo)



Supernowa
(duże ilości neutronów
o znacznych energiach)



wychwyt neutronów



Pierwiastki ciężkie
(w tym izotopy
promieniotwórcze)

Powstawanie atomów

W wyniku pierwotnej nukleosyntezy, zachodzącej najintensywniej w okresie kilku minut po Wielkim Wybuchu, we Wszechświecie pojawiły się olbrzymie ilości jąder atomowych wodoru i helu, a także – ale już w dużo mniejszej ilości – jądra atomowe litu, berylu i boru. Cięższe jądra atomowe (w tym także promieniotwórcze) powstają podczas „narodzin” Supernowych i w procesach towarzyszących ewolucji gwiazd.

Gdy temperatura Wszechświata spadła do około 10 000 K, zaistniały warunki, aby jądra atomowe wychwytywały z otoczenia elektrony, tworząc atomy różnych pierwiastków.

Głównym źródłem elektronów we Wszechświecie (szczególnie w okresie tuż po Wielkim Wybuchu, a także w warunkach panujących we wnętrzu gwiazd i w bliskim ich sąsiedztwie), jest rozpad neutronów zgodnie z równaniem:



Rozpowszechnienie pierwiastków we Wszechświecie



Promieniotwórczość

Promieniotwórczość, to zdolność jąder atomowych do rozpadu promieniotwórczego, który najczęściej związany jest z emisją cząstek alfa, cząstek beta, bądź też kwantu promieniowania gamma (α , β , γ).

Szczególnym rodzajem promieniotwórczości jest rozszczepienie jądra atomowego. Rozpadające się na dwa mniejsze fragmenty jądro, emituje między innymi neutrony, które mogą indukować kolejne rozszczepienia. Właśnie takie jądrowe reakcje łańcuchowe są podstawą produkcji energii w elektrowniach jądrowych, ale także źródłem niszczącej mocy bomb jądrowych.

Rozpadowi promieniotwórczemu ulegają izotopy nietrwałe (z dominacją neutronów nad protonami w jądrze atomowym), np.:



Czas połowicznego rozpadu – cz. 1

Stała kinetyczna
rozpadu

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

$$-\ln N = \lambda t + \text{const}$$

$$-\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

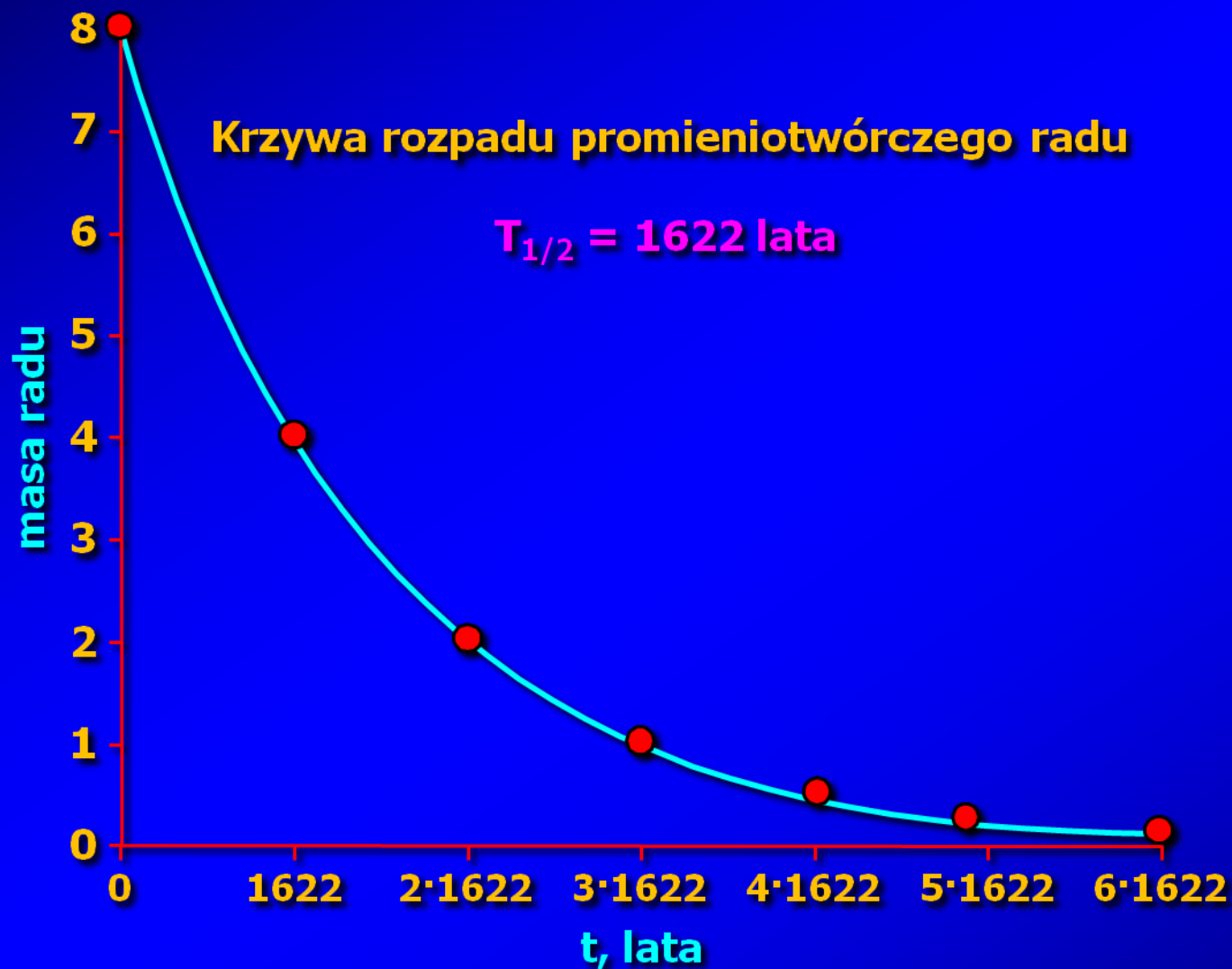
$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Prawo rozpadu
promieniotwórczego

- Nie można przewidzieć w której chwili jądro atomowe ulegnie rozpadowi, ale można określić prawdopodobieństwo tego rozpadu. Rozpady poszczególnych jąder są niezależne od siebie. Liczba jąder, które ulegną rozpadowi w krótkim przedziale czasu, jest proporcjonalna do liczby jąder N i do długości przedziału czasu, dt
- Średni czas życia jądra promieniotwórczego równy jest odwrotności stałej rozpadu $\tau = 1/\lambda$
- Czas, w którym rozpadowi ulega połowa początkowej liczby jąder nazywany jest czasem połowicznego zaniku (rozpadu).

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

Czas połowicznego rozpadu – cz. 2



Izotop	$T_{1/2}$
^{10}C	19,2 s
^{12}C	stabilny
^{14}C	5730 lat
^{20}C	14 ms
^{129}I	1,6 roku
^{90}Sr	29 lat
^{209}Po	102 lata
^{238}U	4,5 mld lat
^{239}Pu	24110 lat

Szeregi promieniotwórcze

Serię sekwencyjnych przemian promieniotwórczych α i β , prowadzących do powstania stabilnego izotopu, nazywamy **szeregiem promieniotwórczym**. Jest to szereg dziedzicznie powiązanych izotopów w którym każdy powstaje w wyniku rozpadu poprzedniego.

Wyróżniamy cztery ważne szeregi promieniotwórcze:

Uranowo – radowy (zaczyna się izotopem uranu - ^{238}U , a kończy trwałym izotopem ołowiu)

Torowy (zaczyna się izotopem toru - ^{232}Th , a kończy trwałym izotopem ołowiu)

Uranowo – aktynowy (zaczyna się izotopem uranu - ^{235}U , a kończy trwałym izotopem ołowiu)

Neptunowy (zaczyna się izotopem neptunu, a kończy trwałym izotopem bizmutu).

Trzy szeregi - **uranowy, torowy i aktynowy** - występują w środowisku naturalnym.

Szereg **neptunowy** uważany jest za wygasły, choć w wyniku zanieczyszczenia środowiska promieniotwórczym izotopem ^{241}Pu , w ostatnich latach obserwuje się w przyrodzie objawy jego ponownej aktywności.

Szereg uranowo-radowy

		liczba atomowa, Z											
		Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U
		81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
Liczba masowa, A	238												4,51·10 ⁹ lat
	234										24,10 d	1,18 min	2,44·10 ⁵ lat
	230										7,50·10 ⁴ lat		
	226								1622 lat				
	222						3,823 d						
	218					3,05 min							
	214		26,8 min	19,7 min	1,62·10 ⁻⁴ s								
	210	1,32 min	22,3 lat	5,0 d	138,375 d								
	206		trwały izotop										

Izotop uranu ²³⁸U, dziewięciokrotnie rozpada się na drodze rozpadu α i siedem razy na drodze rozpadu β, nim stanie się izotopem ołowiu ²⁰⁶Pb

Izotop uranu ²³⁸U, dziewięciokrotnie rozpada się na drodze rozpadu α i siedmiokrotnie na drodze rozpadu β, nim stanie się stabilnym izotopem ołowiu ²⁰⁶Pb.

Szereg torowy

liczba atomowa, Z

Liczba masowa, A

	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th
	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
232									α	$1,405 \cdot 10^{10}$ lat
228								5,75 lat β	6,13 h β	1,913 lat
224								3,64 d	α	
220						54,50 s	α			
216				0,158 s	α					
212		10,64 h β	60,55 min β	$3 \cdot 10^{-7}$ s						
208	3,0 min β	trwale izotop	α							

Podział reakcji jądrowych

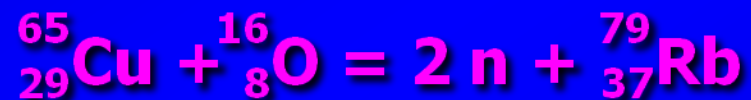
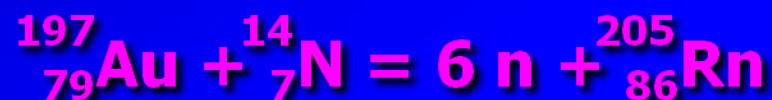
Znane współcześnie reakcje jądrowe można podzielić na cztery grupy:

- Proste reakcje jądrowe
- Reakcje kruszenia jąder
- Reakcje rozszczepiania jąder
- Reakcje termojądrowe

Kruszenie jąder (spalacja) - to w fizyce jądrowej proces, w którym ciężkie jądro atomowe emituje kilka nukleonów w wyniku zderzenia (bombardowania) protonami o bardzo dużej energii (większej od setek keV). W wyniku tego procesu masa atomowa bombardowanego jądra zmniejsza się. Emitowane nukleony mogą służyć do reakcji rozszczepiania jąder atomowych.

Reakcja termojądrowa - łączenie się dwóch lżejszych jąder w jedno cięższe, podczas fuzji obok nowych jąder mogą też powstawać wolne neutrony, protony, cząstki elementarne i cząstki alfa. Przedrostek *termo* wskazuje sposób, w jaki wywoływana jest ta reakcja w gwiazdach oraz w bombie wodorowej (przez podniesienie temperatury do kilkunastu milionów kelwinów).

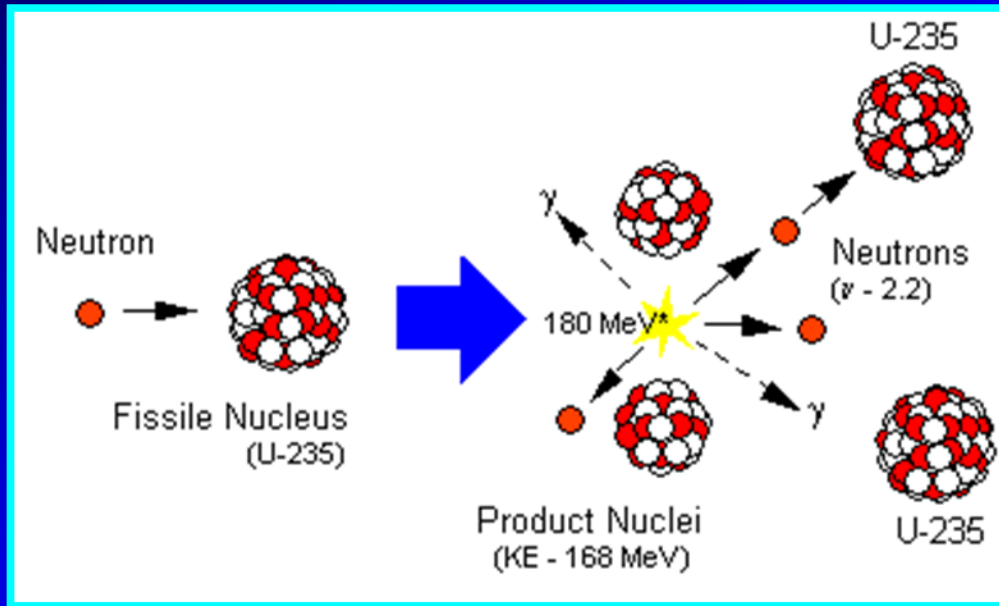
Przykłady reakcji jądrowych



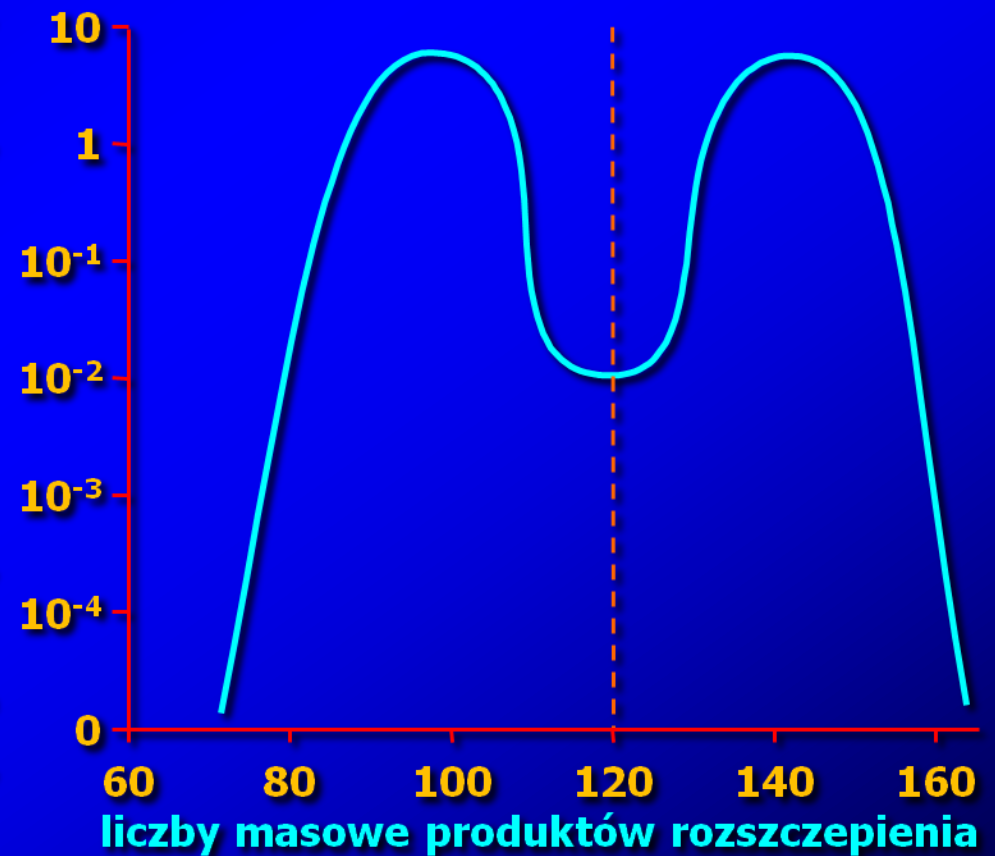
Skrócony zapis reakcji jądrowych



Rozszczepienie jąder uranu – reakcja łańcuchowa



wydajność produktów rozszczepienia, %



Zastosowania promieniotwórczości



- Znaczniki izotopowe
- Radioterapia (leczenie nowotworów)
- Diagnostyka uszkodzeń powierzchni
- Datowanie izotopowe (np. węglowe)
- Energetyka jądrowa





BUDOWA MATERII

JĄDRO ATOMOWE

**Andrzej
Szymański**