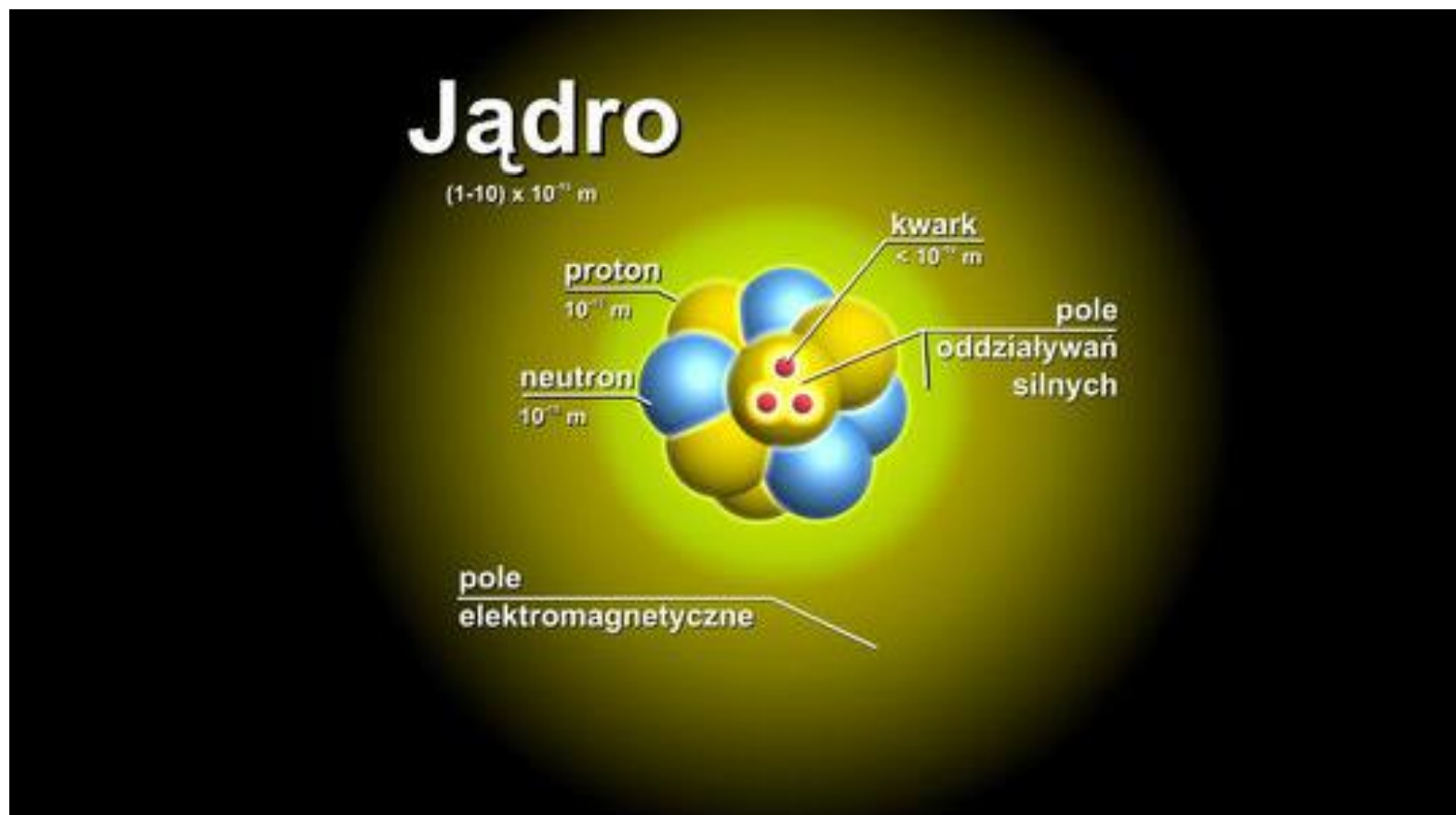


Jądro atomowe - jego własności i składniki oraz miejsce w strukturze materii



Jądro atomowe w prezentacji Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie;
zob. <http://popul.ifj.edu.pl/badania/2/zobacz.html>

Roger Penrose oraz Reinhard Genzel i Andrea Ghez otrzymali w tym roku Nagrodę Nobla z fizyki. Dostali ją za odkrycia dotyczące jednego z "najbardziej tajemniczych zjawisk we Wszechświecie", czyli czarnych dziur. (TVN24-bis)

Roger Penrose oraz Reinhard Genzel i Andrea Ghez otrzymali w tym roku Nagrodę Nobla z fizyki. Dostali ją za odkrycia dotyczące jednego z "najbardziej tajemniczych zjawisk we Wszechświecie", czyli czarnych dziur. Czarne dziury, superciężkie skupiska materii, uważane są za jedno z najbardziej tajemniczych zjawisk we Wszechświecie. To obszary czasoprzestrzeni, których - ze względu na bardzo silną grawitację - nie jest w stanie opuścić żaden obiekt, nawet światło. Albert Einstein nie wierzył, że czarne dziury naprawdę istnieją. Jednak Roger Penrose dowiódł metodami matematycznymi, że istnienie czarnych dziur bezpośrednio wynika z ogólnej teorii względności Einsteina.

W styczniu 1965 roku, dziesięć lat po śmierci Einsteina, Roger Penrose udowodnił, że czarne dziury naprawdę mogą się tworzyć i opisał je szczegółowo; w centrum czarnej dziury kryje się osobliwość, w której wygasają wszystkie znane prawa natury. Jego przełomowy artykuł jest nadal uważany za najważniejszy wkład do ogólnej teorii względności od czasów Einsteina.

Jedne z "najbardziej tajemniczych zjawisk we Wszechświecie" PAP/EPA/ESO/L. Całąda Reinhard Genzel i Andrea Ghez przewodzili dwóm grupom astronomów, które od wczesnych lat 90. XX wieku skupiała się na badaniu regionu zwanego Sagittarius A* w centrum naszej galaktyki. Orbyty najjaśniejszych gwiazd najbliżej środka Drogi Mlecznej były badane z coraz większą precyzją. Wyniki pomiarów obu grup wskazywały na niezwykle ciężki, niewidzialny obiekt, który działając na skupisko gwiazd, wprawia je w zawrotny szybki ruch. Około czterech milionów mas Słońca upakowanych jest w regionie nie większym niż nasz Układ Słoneczny.

Korzystając z największych teleskopów świata, Genzel i Ghez opracowali metody pozwalające zobaczyć poprzez ogromne chmury międzygwiazdowego gazu i pyłu centrum Drogi Mlecznej. Dzięki nowym instrumentom i technikom badawczym udało się im skompensować zniekształcenia powodowane przez ziemską atmosferę, i przeprowadzić długoterminowe badania. Dzięki temu dostarczyli najbardziej przekonujących dowodów na istnienie supermasywnej czarnej dziury w centrum Drogi Mlecznej.

- Odkrycia tegorocznych laureatów otworzyły nowy obszar w badaniach gęstych i supermasywnych obiektów. Ale te egzotyczne obiekty wciąż stawiają wiele pytań, które wymagają odpowiedzi i motywują do dalszych badań. Chodzi nie tylko o ich wewnętrzną strukturę, ale także o to, jak można by przetestować naszą teorię grawitacji w ekstremalnych warunkach w bezpośrednim sąsiedztwie czarnej dziury – powiedział David Haviland, przewodniczący Komitetu Noblowskiego w dziedzinie fizyki.

EWOLUCJA WSZECHŚWIATA

po 13,7 miliardach lat

Dzisiaj

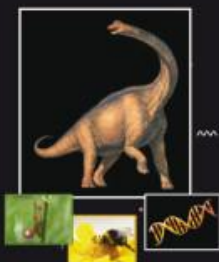


Dzisiaj w CERN-ie cofamy się w czasie i badamy jak powstawała materia

-270°C

po 10 miliardach lat

Życie na Ziemi



Zupa z organicznych cząsteczek pojawia się na Ziemi, małej niebieskiej planecie zagubionej w ogromnym Wszechświecie

po 9,2 miliardach lat

Układ słoneczny



Grawitacja zbiera szczątki gwiazd i powstają planety

po 200 milionach lat

Gwiazdy i galaktyki

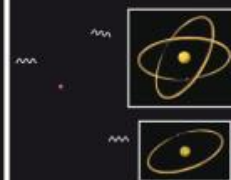


Grawitacja zbiera chmury atomów w gwiazdy

W sercu gwiazd zachodzi

po 380000 latach

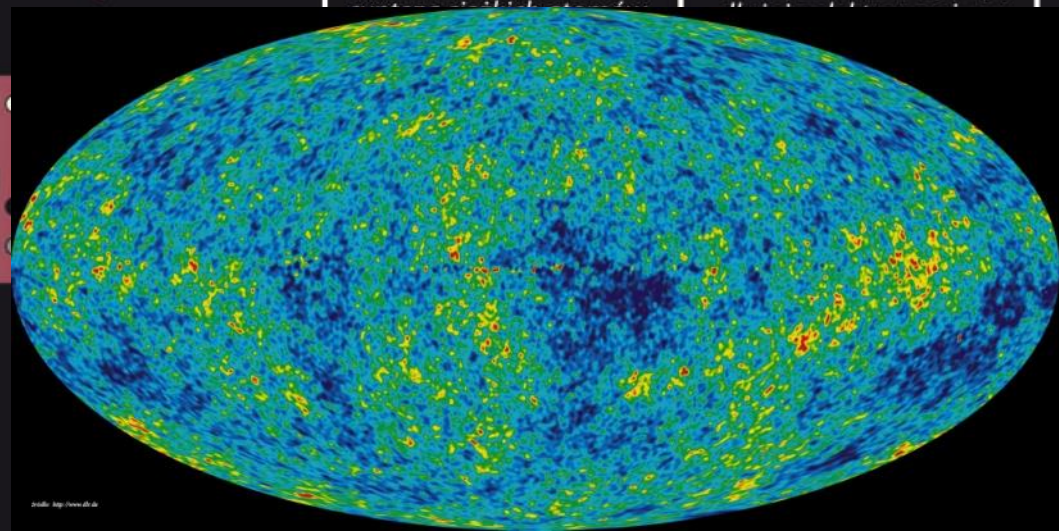
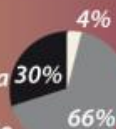
Lekkie atomy



Wiążą się z jądrami atomowymi tworząc atomy wodoru i helu

Fotony nie oddziałują

Tylko 4% materii wszechświata jest bezpośrednio obserwowalna



Struktura materii

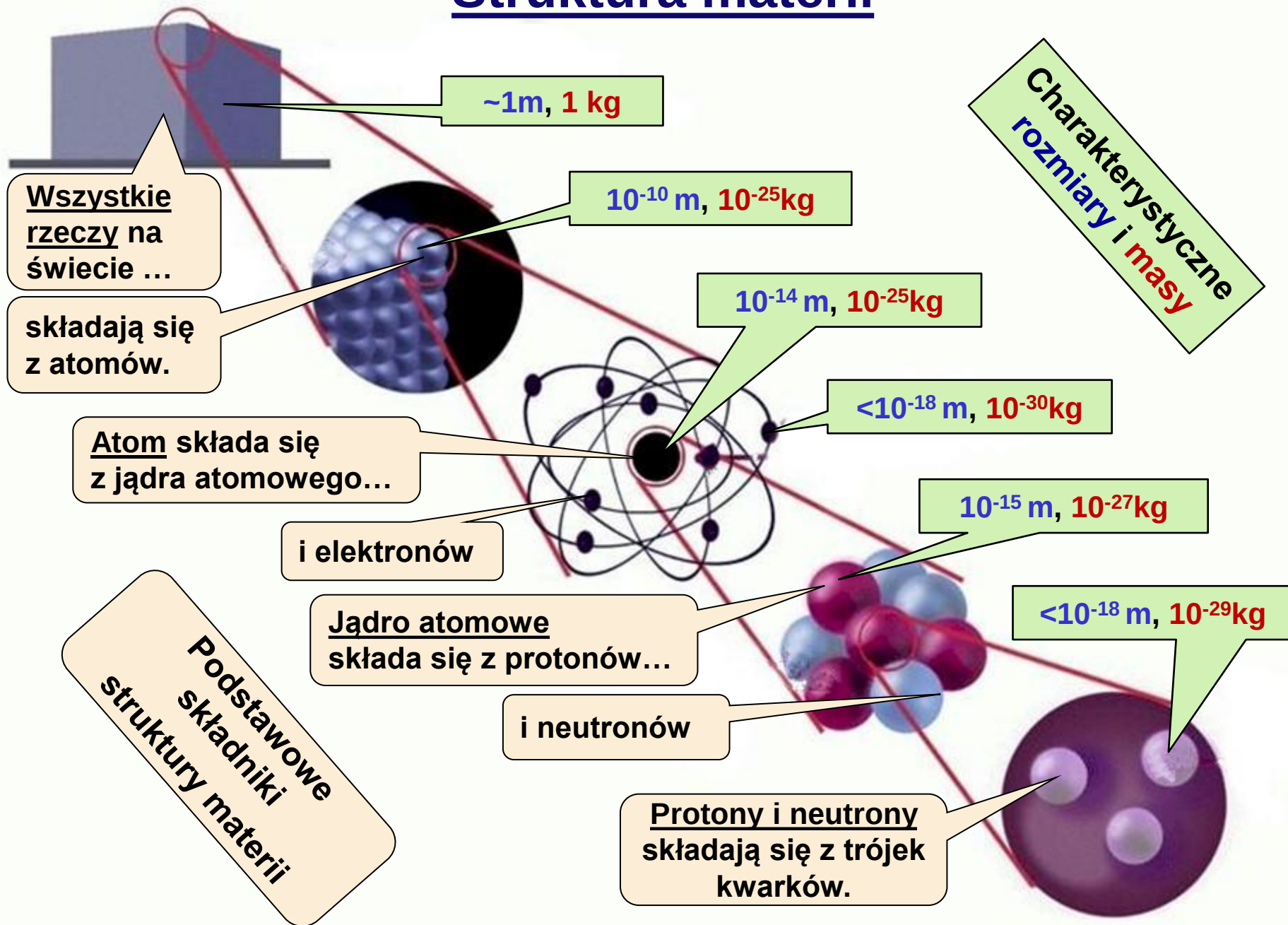


Tabela 1.1.1. Cząstki elementarne i ich własności

Leptony					Kwarki			
Nazwa	Sym-bol	Ładunek elektr.	Masa (MeV)	Czas życia (s)	Nazwa	Sym-bol	Ładunek elektr.	Masa(*) (MeV)
elektron	e	-1	0.511	trwały	up (górny)	u	2/3	2.3
neutrino elektron.	ν_e	0	$<7.3 \cdot 10^{-6}$	trwale	down (dolny)	d	-1/3	4.8
mion	μ	-1	105.66	$2.197 \cdot 10^{-6}$	strange (dziwny)	s	-1/3	95
neutrino mionowe	ν_μ	0	<0.25	trwale	charm (powabny)	c	2/3	1275
tau	τ	-1	1776.8	$2.9 \cdot 10^{-13}$	bottom/beauty (piękny)	b	-1/3	4.18 GeV
neutrino taonowe	ν_τ	0	<70	trwale	top/truth (prawdziwy)	t	2/3	173.5 GeV

(*) Kwarki nie występują w stanie swobodnym, więc ich masa nie jest określona precyzyjnie. Podana w tabeli masa, to tzw. masa prądowa (current mass). Określa się także masę konstytuentną, która dla kwarków **u** i **d** równa jest w przybliżeniu jednej trzeciej masy nukleonu.

Kwarki - cząstki niezwykle; kiedy próbuje się je rozdzielić...

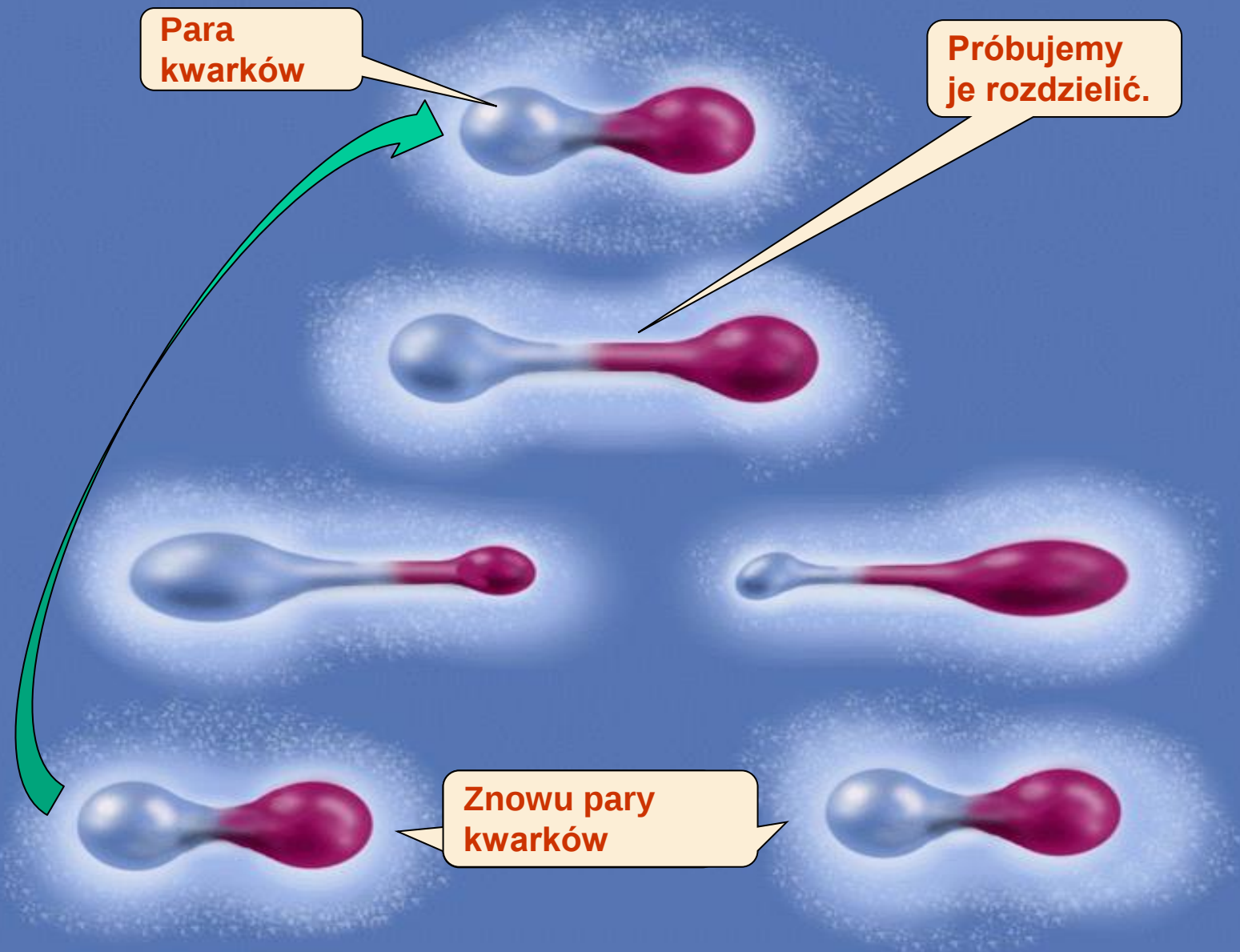


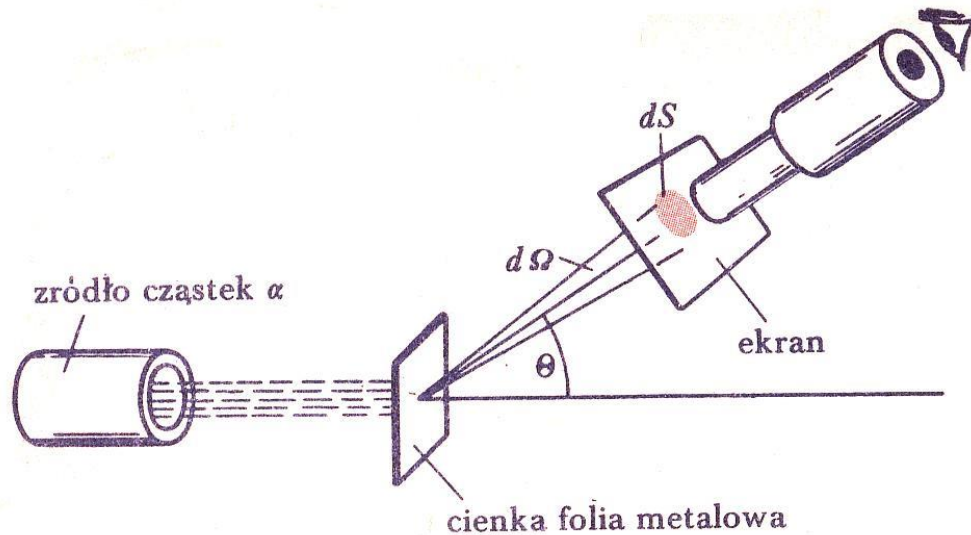
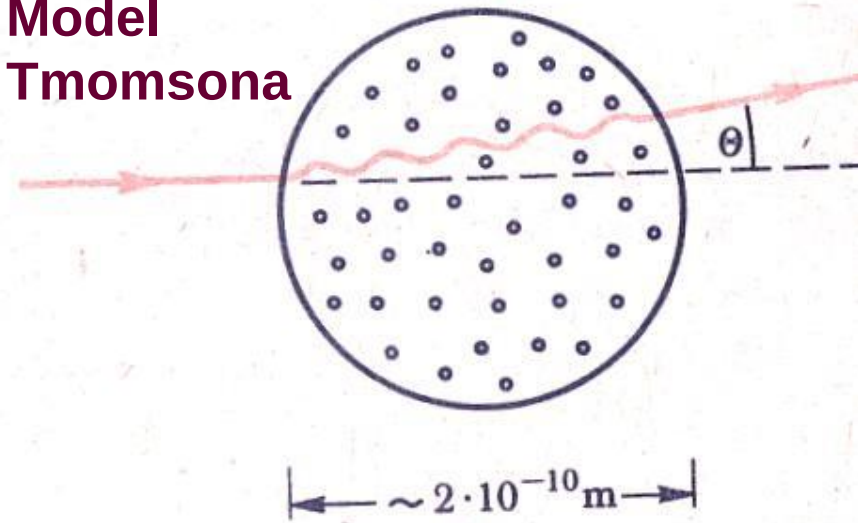
Tabela 1.1.2. Oddziaływania fundamentalne i ich własności

Oddziaływania fundamentalne						
Nośnik oddziaływania		Oddziaływanie	Zasięg	Względne natężenie	Masa*c ² (GeV)	Ładunek elektr.
grawiton (hipotetyczny)		grawitacyjne	nieskończony	10 ⁻³⁸	0	0
foton		elektro-magnetyczne	nieskończony	10 ⁻²	0	0
bozony pośredniczące	W ⁺	słabe	10 ⁻¹⁸ m	10 ⁻⁵	80.2	+1
	W ⁻				80.2	-1
	Z ⁰				91.2	0
8 gluonów		silne	10 ⁻¹⁵ m	1	0	0

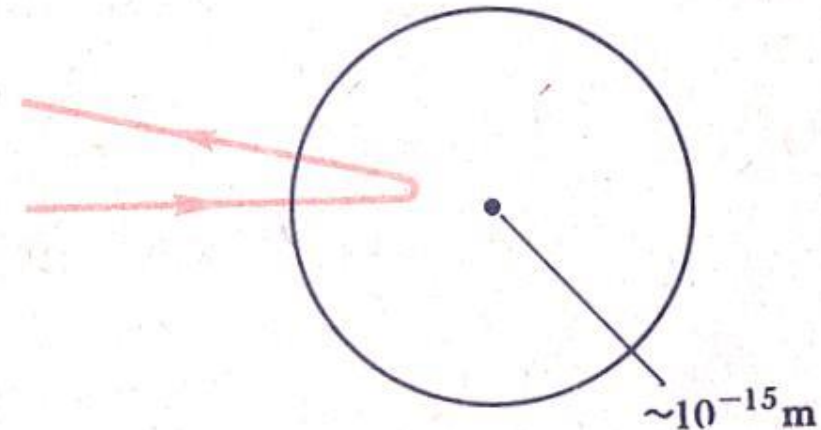
Istnienie w atomie jądra atomowego
stwierdził w 1911 r.
Ernest Rutherford

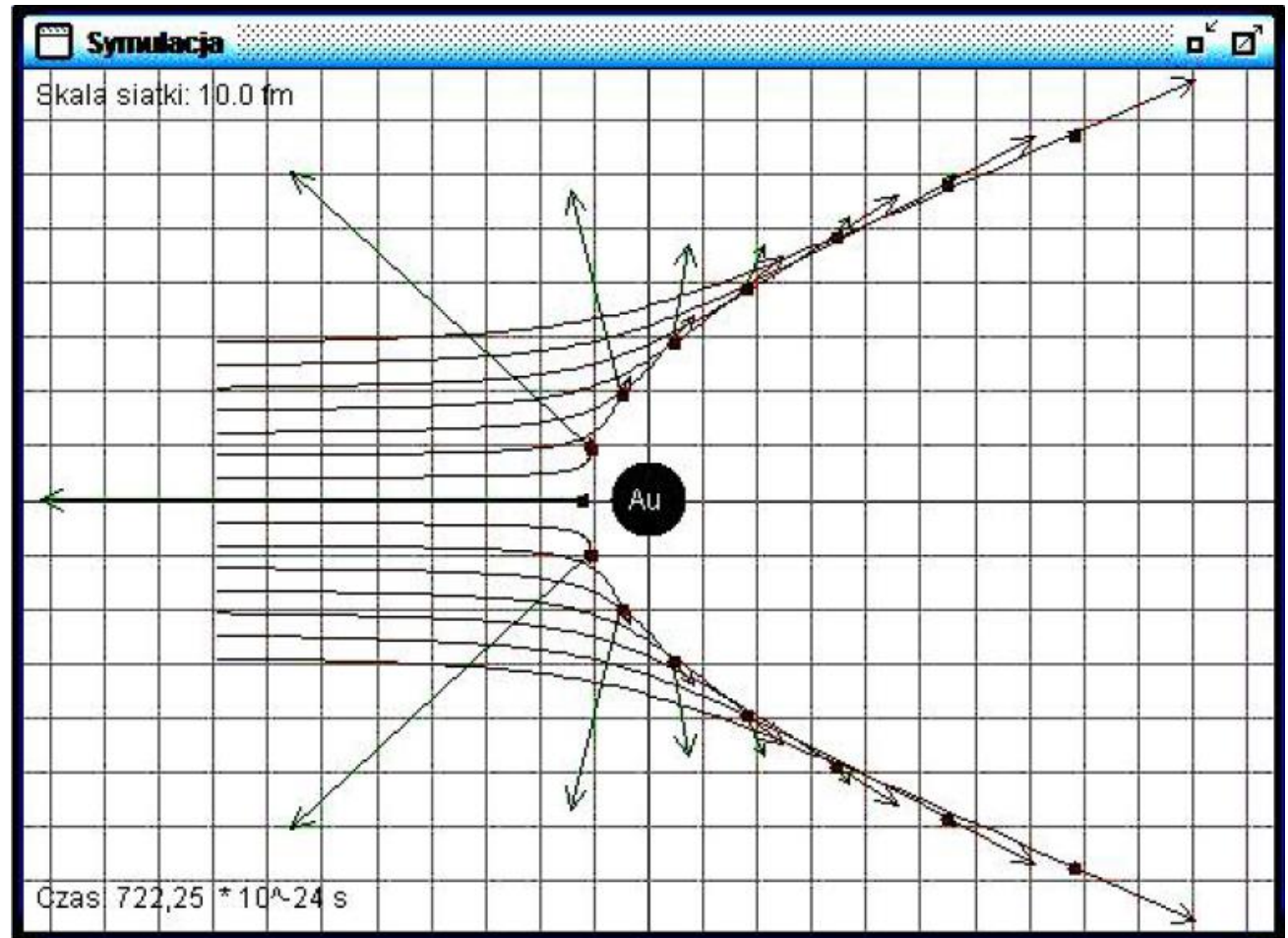
Cząstki α rozpraszał na bardzo cienkiej
folii ze złota.

Model
Tmomsona



Model
Rutherforda





Zaobserwował rozproszenia do tyłu, co było sprzeczne z modelem J.J. Thomsona „ciastka z rodzynekami”.

Wyznaczenie rozmiarów jądra atomowego

Odległość największego zbliżenia cząstki α o ładunku $q_\alpha=2e$, gdzie e jest ładunkiem elementarnym do jądra o ładunku $Q_N=Ze$

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_\alpha \cdot Q_N}{r} = \frac{Z \cdot e^2}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r}$$

skąd:

$$R = \frac{Z \cdot e^2}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot E_k}$$

Przykładowe wartości energii kinetycznych i wynikających stąd promieni jąder wynoszą: dla jądra węgla: **$E_k=5.1\text{MeV}$, $R=3.4 \cdot 10^{-15}\text{m}$** , dla jądra aluminium **$E_k=9.0\text{MeV}$, $R=4.1 \cdot 10^{-15}\text{m}$** .

Przypomnijmy, typowe rozmiary atomu, to **10^{-10} m**

Wyznaczenie masy jądra atomowego

Wiązka jonów przyspieszana jest najpierw w polu elektrycznym określonym przez różnicę potencjałów U , a następnie zakrzywiana w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji B , prostopadłym do kierunku ruchu jonów.

Mierzmy promień okręgu ruchu czastki r .

Mamy wtedy:

$$E_k = \frac{M \cdot v^2}{2} = q \cdot U, \quad r = \frac{M \cdot v}{q \cdot B}$$

Skąd:

$$M = \frac{q \cdot r^2 \cdot B^2}{2 \cdot U}$$

Oznaczenia:

Jądro atomowe składa się z Z protonów i $N=A-Z$ neutronów. Neutrony i protony obejmujemy wspólną nazwą, **nukleony**.

Z - liczba atomowa, A - liczbą masową.

Zapis symboliczny: ${}_Z^AX$, np. ${}_1^1H$, ${}_6^{12}C$, ${}_{92}^{235}U$, ${}_{118}^{294}Og$

X to symbol pierwiastka chemicznego .

Układy nukleonów o różnych liczbach A i Z noszą nazwę **nuklidów**.

Nuklidy o tej samej liczbie Z tj. liczbie protonów - to **izotopy**,

Nuklidy o tej samej liczbie N tj. liczbie neutronów - to **izotony**,

Nuklidy o tej samej liczbie A tj. liczbie nukleonów - to **izobary**

Promień i kształt jądra atomowego

Rozmiary jądra o liczbie masowej **A** można wyrazić prostą zależnością:

$$R = R_0 \cdot \sqrt[3]{A} \quad \text{gdzie} \quad R_0 \approx 1.3 \cdot 10^{-15} \text{ m} = 1.3 \text{ fm}$$

(Masa 1 cm³ materii jądrowej wynosi ok. 230 milionów ton.)
 $\rho_0 \approx 0,17 \text{ nukl./ fm}^3$

Rozkład gęstości materii jądrowej w funkcji odległości od środka jądra - **wzór Fermiego**

$$\rho(r) = \frac{\rho(0)}{1 + e^{(r-R)/a}},$$

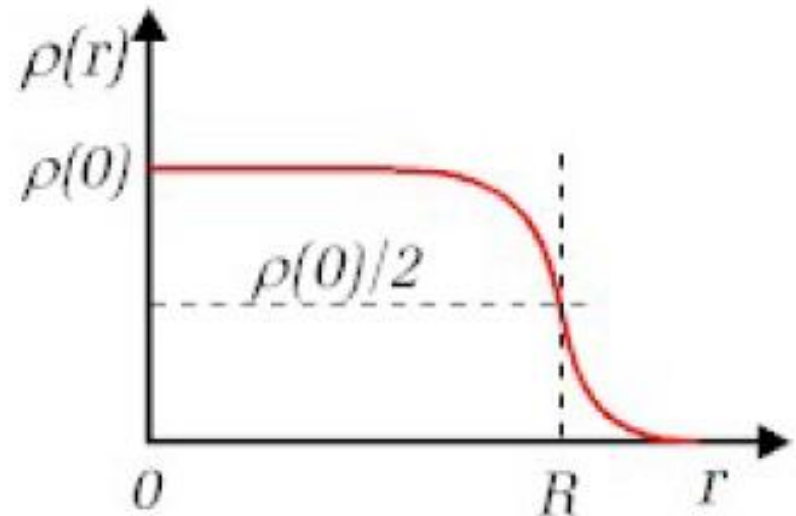
gdzie:

R – promień jądra,

$\rho(0)$ – gęstość w centrum jądra,

a – parametr zmiany gęstości, ok. 0,5 fm

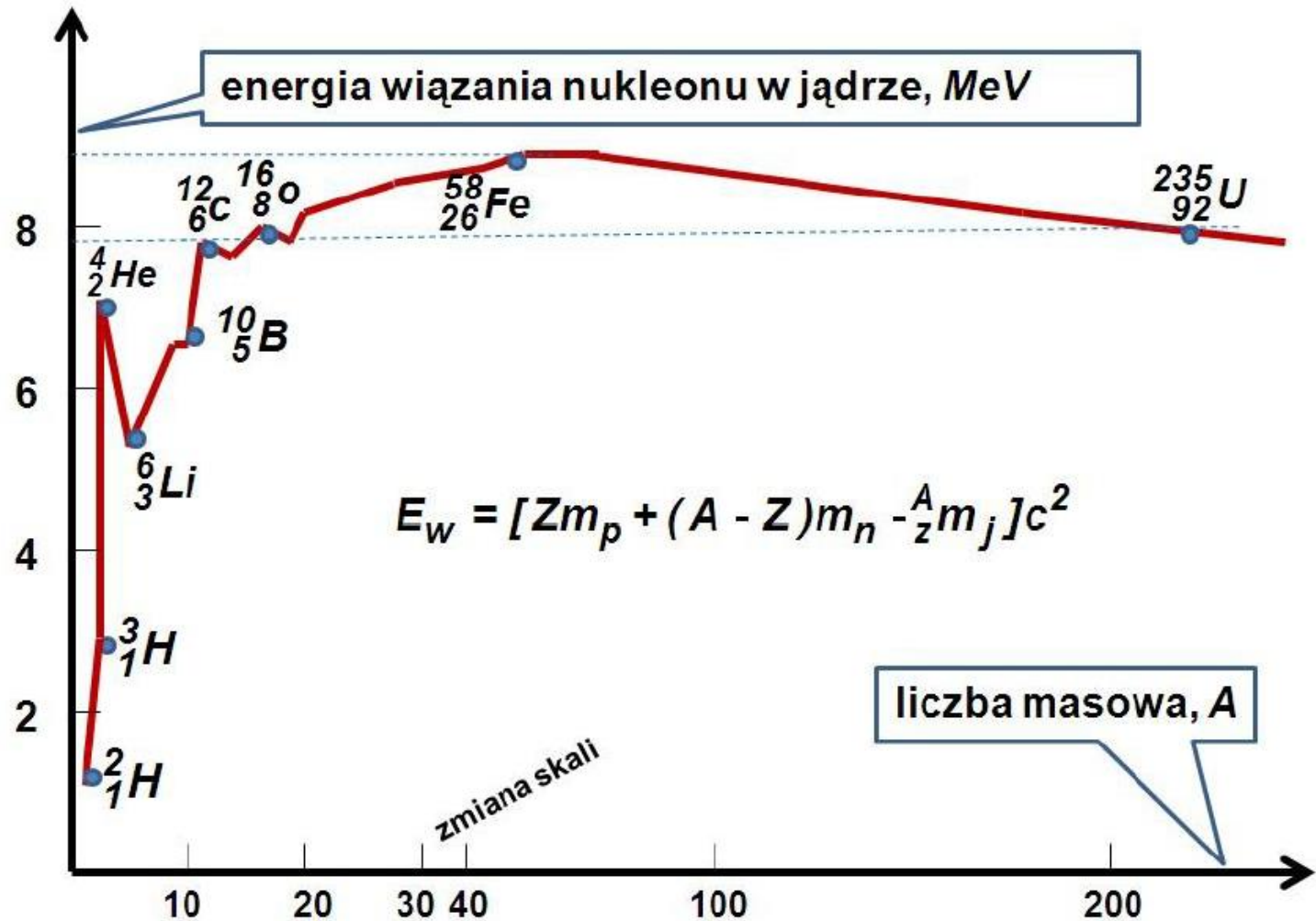
$$\rho_0 \approx 0,17 \text{ nukl./ fm}^3$$



Energia wiązania jądra atomowego

$$E_w = \Delta M \cdot c^2 = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M_j) \cdot c^2$$

ΔM – defekt masy



„Najważniejszy wykres Wszechświata”

Modele jądra atomowego

Co utrzymuje jądra atomowe w stanie stabilnym – siły jądrowe – oddziaływania silne.

Charakterystyczne cechy sił jądrowych:

1. niezależne od ładunku elektrycznego,
2. krótko-zasięgowe, ok. $10^{-15}\text{m} = 1\text{ fm}$,
3. posiadają własność „wysycenia”,
4. zależne są od orientacji spinów nukleonów, nie są siłami centralnymi

Nie ma jednolitej teorii sił jądrowych dlatego tworzone są modele.

Model różni się od teorii tym, że opisuje tylko ograniczony zakres własności obiektu, który jest przedmiotem opisu.

Model kroplowy

- Stanowi analogię kropli cieczy.
- Opisuje energię wiązania E_w nukleonów w jądrze.

$$E_w = E_{obj} + E_{pow} + E_{Coul} + E_{sym} + E_{par}$$

Człon objętościowy: $E_{obj} = a_o \cdot A$

Człon powierzchniowy: $E_{pow} = -a_p \cdot A^{2/3}$

Człon kulombowski: $E_{Coul} = -a_C \cdot Z^2 \cdot A^{-1/3}$

Człon symetrii: $E_{sym} = -a_s \cdot (A - 2 \cdot Z)^2 / A$

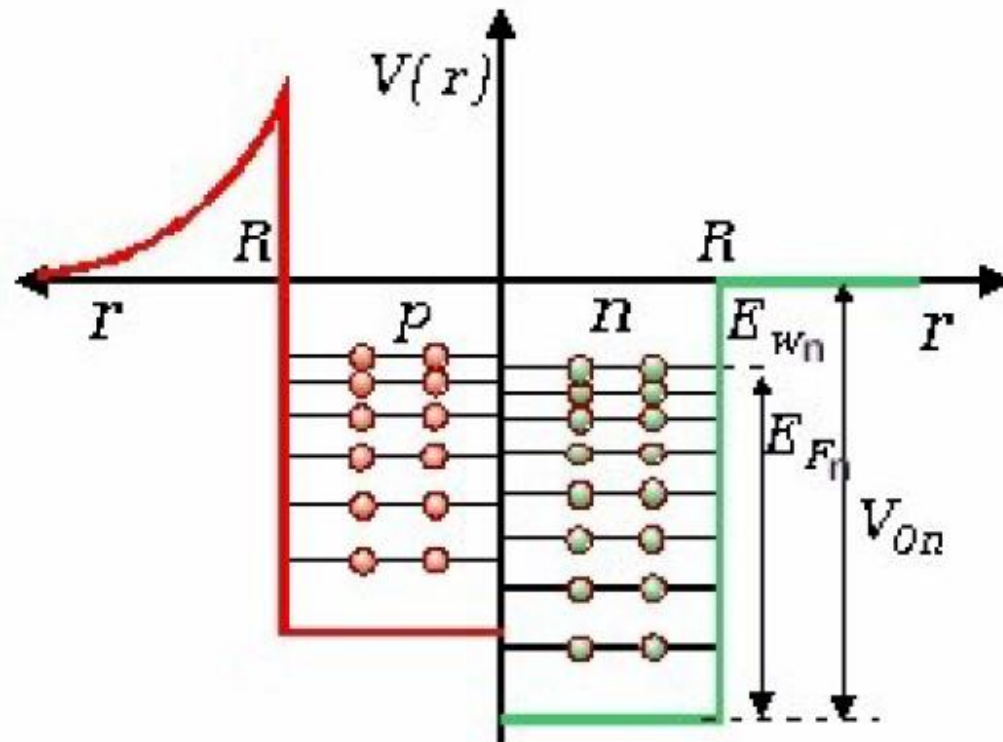
Człon łączenia się w pary: $E_{par} = \delta \cdot A^{-3/4}$

δ równe jest zeru dla jąder o A nieparzystym, jest dodatnie dla jąder parzysto-parzystych i ujemne dla jąder nieparzysto-nieparzystych

Jest to model klasyczny; nie opisuje efektów kwantowych

Model gazu Fermiego

- nukleony swobodne w granicach studni potencjału;
- zakaz Pauliego
- pęd Fermiego



Nie opisuje jąder magicznych

Model powłokowy

- Energie wiązania dużo większe,
- Duża liczba trwałych izotopów,
- Analogia do powłok atomowych

Liczby magiczne: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, ...

Jądra „magiczne”



Reakcje jądrowe jako metoda badania struktury jądra atomowego

