

Jądro atomowe i jego składniki

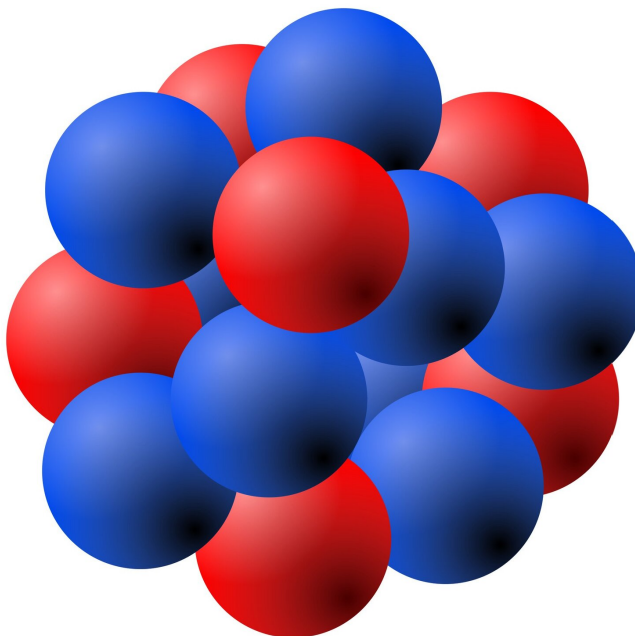
Materiał składa się z sekcji: "1. Jądro atomowe", "2. Cząstki elementarne", "3. Kwarki i gluony", "4. Izotopy", "Podsumowanie", "Zadania podsumowujące moduł", "Słowniczek".

Materiał zawiera ilustracje (fotografie, obrazy, rysunki), film, ćwiczenia, w tym interaktywne.

Słownik pojęć zawiera wyjaśnienia terminów: "antycząstka", "antyproton", "cząstka elementarna", "gluony", "hiperjądro", "hiperon lambda", "izotop", "kwarki", "liczba atomowa (liczba porządkowa)", "liczba masowa", "nukleon", "siły jądrowe"

Jądro atomowe i jego składniki

W 1911 r. Ernest Rutherford publikuje wyniki swoich badań, które dowodzą, że atom zbudowany jest z małego – w porównaniu z jego rozmiarami – jądra, w którym skupiona jest prawie cała masa atomu. Jądro atomu otacza powłoka elektronowa i atom jako całość pozostaje obojętny elektrycznie. Daje to początek nowej gałęzi fizyki – fizyce jądrowej, stawiającej sobie za cel poznanie tego nowo odkrytego elementu atomu.



Najczęstsze wyobrażenia dotyczące budowy jądra atomowego przez osoby, które interesują się tym tematem, a nie są fizykami, odpowiadają tak zwanemu modelowi kropłowemu opracowanemu jeszcze przez Nielsa Bohra i Johna Wheelera na podstawie koncepcji George'a Gamowa. Obecnie model ten, w którym jądro atomu składa się ze ściśniętych razem protonów i neutronów, tworząc obiekt zbliżony kształtem do kuli, jest uważany za nieadekwatny do rzeczywistości, ale pozwala na dość dobre rozpatrywanie właściwości materii

Źródło: Marekich, Wikimedia Commons, CC BY SA

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f0/Nucleus_drawing.svg/2000px-Nucleus_drawing.svg.png, licencja: CC BY 3.0.

Przed przystąpieniem do zapoznania się z tematem, należy znać poniższe zagadnienia

- od czego zależą oddziaływania elektrostatyczne;
- definicję kwantu energii promieniowania elektromagnetycznego;
- jak obliczyć energię, którą przenosi kwant promieniowania elektromagnetycznego;
- że światło w określonych warunkach można traktować jako falę elektromagnetyczną, a w innych – jako strumień kwantów (fotonów, porcji energii);
- budowę atomu na podstawie modelu Bohra.

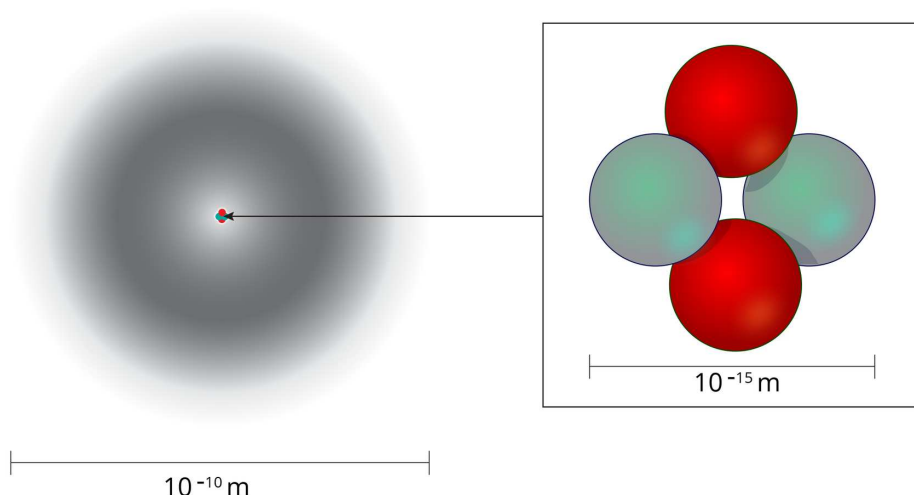
Nauczysz się

- wymieniać cząstki, z jakich zbudowane jest jądro atomowe;
- podawać definicję liczby masowej i atomowej;

- podawać definicję izotopu pierwiastka;
- podawać definicje kwarków i gluonów;

Jądro atomowe

W planetarnym modelu budowy atomu przedstawionym przez Rutherforda niemal cała masa atomu skupiona była w niewielkim jądrze (10^{-15} m) o ładunku dodatnim, a po zamkniętych orbitach krążyły elektrony, tworzące tzw. powłokę elektronową.

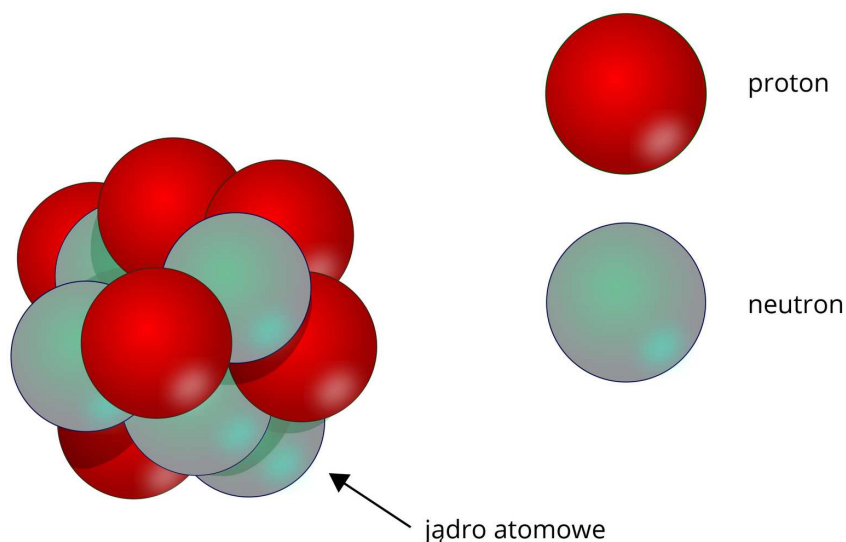


Współczesny model budowy atomu

Źródło: Tomorrow Sp.z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Odkrycie jądra atomowego sprawiło, że powstało wiele kolejnych wątpliwości. Uważano np., że jeśli jądro atomowe zbudowane byłoby z dodatnio naładowanych cząstek (protonów), musiałyby istnieć siły, która równoważyłaby ich wzajemne odpychanie wynikające z oddziaływań elektrycznych. Warto zdać sobie sprawę z faktu, że dwa protony znajdujące się w odległości rzędu 10^{-15} m odpychają się elektrostatycznie siłą o wartości 230 N. Ta wielkość nie wydaje się bardzo duża, ale trzeba pamiętać, że masa protonu wynosi ok. $1,67 \cdot 10^{-27}$ g. Przez pewien czas uważano, że w jądrze znajdują się także elektrony. Dopiero odkrycie neutronu przez **Jamesa Chadwicka** w 1932 r. (istnienie neutronu zakładał dwanaście lat wcześniej **Ernest Rutherford**), pozwoliło wyjaśnić ten problem.

Obecnie wiemy, że jądro – centralna część atomu – zbudowane jest z **nukleonów**: protonów i neutronów.

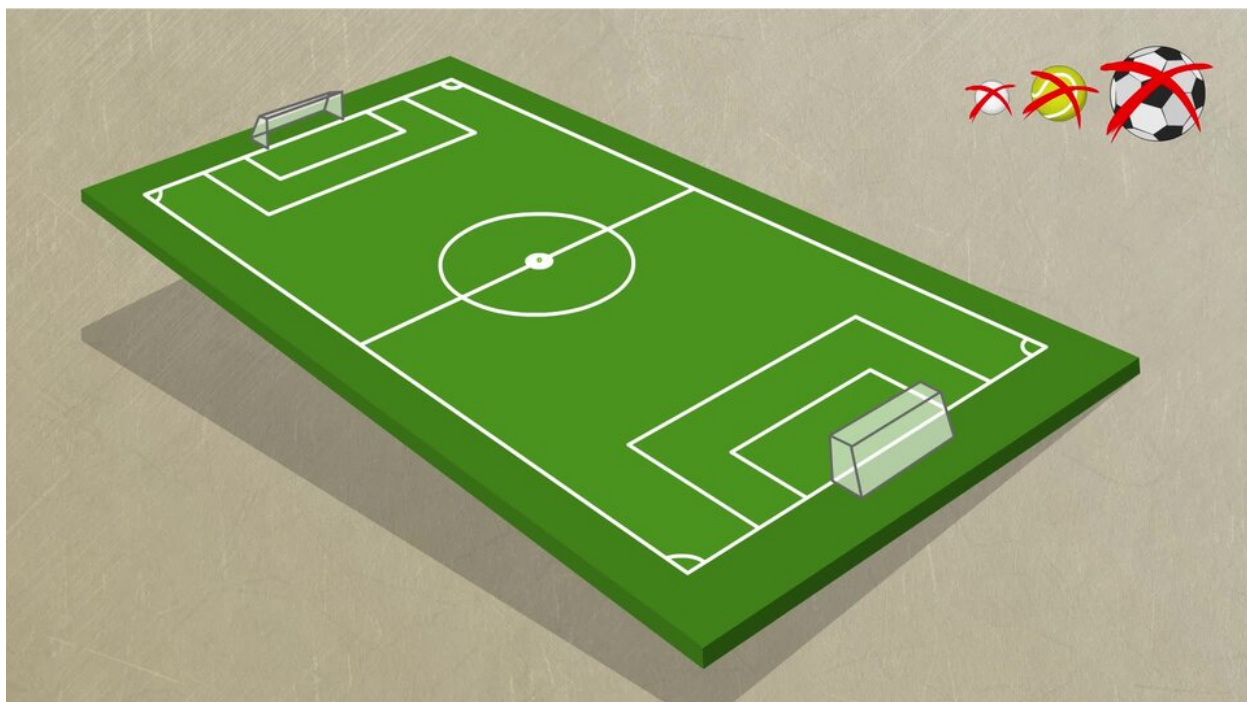


Budowa jądra atomowego

Źródło: Tomorrow Sp.z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Nukleony wchodzące w skład jądra atomowego są podobnych rozmiarów oraz mają zbliżone masy. Proton ma ładunek $+1e$, ($e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$), a neutron jest elektrycznie obojętny. Między składnikami jądra działają olbrzymie siły przyciągania o charakterze krótkozasięgowym, zdolne do pokonania elektrycznych sił odpychania między protonami. Są to **siły jądrowe**.

Jądro stanowi niewielką część całego atomu. Jeśli porównamy rozmiary atomu z rozmiarami jądra atomowego (dla atomu o średnicy rzędu 10^{-10} m), okaże się, że jądro jest aż 100000 razy mniejsze od atomu, ale to właśnie w jądrze skupione jest 99,9% masy całego atomu.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/Rnpx2QuSzftP>

Jak wyobrazić sobie odległości w atomie?

Źródło: Tomorrow Sp.z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Animacja mająca na celu zobrazowanie rozmiaru jądra atomowego.

Gdyby narysować model atomu z zachowaniem rzeczywistej skali jego elementów składowych, to dla jądra o rozmiarze kilku centymetrów średnica atomu przekroczyłaby 1 km. Wyobraź sobie, że ponad 99, 99999% objętości atomu stanowi pusta przestrzeń!

Polecenie 1

Odczytaj z tablic, a następnie zapisz ile nukleonów mają jądra: żelaza, niobu, wodoru i ołowiu.

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

Cząstki elementarne

W latach 30. XX wieku wprowadzono pojęcie **cząstek elementarnych**. Zaliczono do nich: elektrony, protony, neutrony i fotony. Jak widać, rodzajów tych cząstek nie było zbyt dużo. Badania promieniowania kosmicznego prowadzone w następnych latach oraz analiza produktów reakcji jądrowych (zderzanie dwóch jąder) doprowadziły do odkrycia ponad dwustu nowych rodzajów cząstek elementarnych o masach od kilkuset do kilku tysięcy razy większych niż masa elektronu. Większość cząstek o tak dużej masie (większej od masy protonu i neutronu) okazywała się zwykle nietrwała.

Eksperymentalnie udowodniono również istnienie tzw. **antycząstek**. Należy do nich np. pozyton – cząstka o masie równej masie elektronu, ale o ładunku dodatnim. Pozyton został odkryty w produktach zderzeń cząstek atmosfery ziemskiej z cząstkami promieniowania kosmicznego – głównie protonami. W 1955 r. dokonano odkrycia **antyprotonu** i wkrótce stało się jasne, że właściwie każda cząstka elementarna ma swoją antycząstkę. Model opisujący cechy cząstek elementarnych się skomplikował.

Ciekawostka

Warto wspomnieć także o polskim udziale w badaniach nad cząstkami elementarnymi. Dwaj polscy fizycy – Marian Danysz i Jerzy Pniewski – w 1952 r. odkryli tzw. **hiperjądro**. Hiperjądro zamiast jednego z neutronów zawierało cząstkę zwaną „**hiperon lambda**” o ładunku zero i masie ok. 2200 razy większej niż masa elektronu. Obecnie

(w myśl najnowszych teorii) większość tych cząstek nie jest jednak uważana za cząstki elementarne.

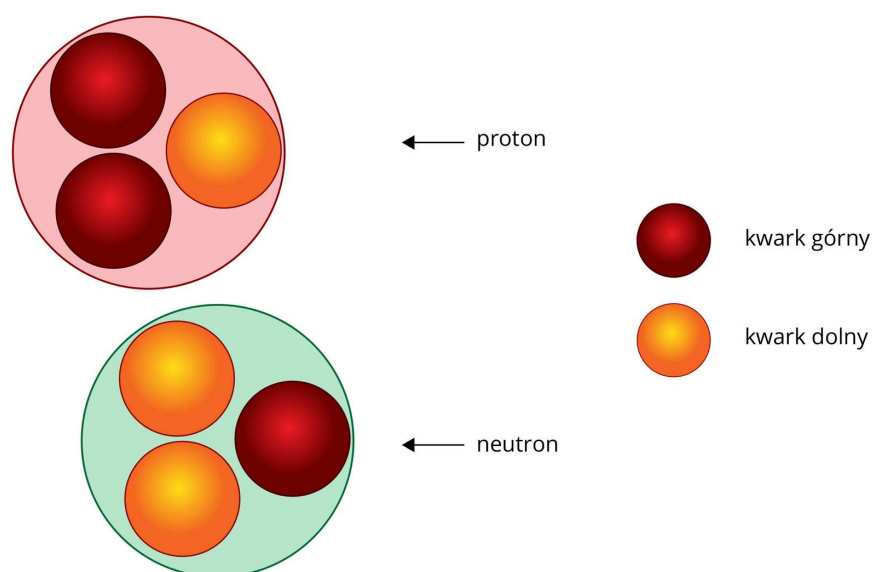
Fizycy dość szybko doszli do wniosku, że świat cząstek elementarnych jest jednak zbyt skomplikowany. W roku 1964 r. **Murray Gell-Mann** i **George Zweig** wysunęli hipotezę, że dotychczasowy model cząstek elementarnych można uprościć, jeśli założyć się istnienie **kwarków**.

Ciekawostka

Jeśli nie lubicie fizyki, to powinniście wiedzieć, że Gell-Mann również nie chciał jej studiować. A.K. Wróblewski w książce pt. „Historia fizyki” napisał, że interesował się on ornitologią, archeologią i lingwistyką, a do studiowania fizyki przekonał go ojciec. W 1969 r., w wieku czterdziestu lat, Gell-Mann otrzymał Nagrodę Nobla za prace wcześniejsze niż hipoteza kwarków. Podobnie było z Jamesem Chadwickiem, który na fizykę w Manchesterze dostał się przez przypadek – na egzaminie usiadł w niewłaściwej ławce. Po egzaminie oznajmiono mu, że został przyjęty na Wydział Fizyki. Ponieważ był nieśmiały, wstydził się przyznać do swojej pomyłki. W 1935 r. otrzymał Nagrodę Nobla za odkrycie neutronu.

Kwarki i gluony

Jak wspomnieliśmy, jeszcze w latach 60. XX wieku przyjmowano, że podstawowym budulcem atomów, a zarazem najmniejszymi, niepodzielnymi składnikami materii, są trzy rodzaje cząstek: neutrony, protony i elektrony. Okazało się jednak, że w skład protonu i neutronu wchodzi jeszcze mniejsze cząstki, tzw. **kwarki**.



Protony i neutrony zbudowane są z mniejszych cząstek zwanych kwarkami

Źródło: Tomorrow Sp.z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Hipoteza Gell-Manna i Zweiga pozostawała przez pewien czas jedynie hipotezą. Kwarki nie występują jako cząstki swobodne. Skąd zatem wiadomo, że jednak istnieją?

Od 1968 r. zaczęto wykonywać cykl doświadczeń, w których badano zderzenia elektronów z protonami. Analiza wyników wykazała, że protony mają pewną wewnętrzną strukturę, a jej elementy są obdarzone ładunkiem elektrycznym. W 1990 r. Friedman, Kendall i Taylor otrzymali Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki „za ich pionierskie badania dotyczące głęboko nieelastycznego rozpraszania elektronów na protonach i związanych neutronach, co miało istotny wpływ na rozwój modelu kwarkowego w fizyce cząstek”.

Poniższa tabela przedstawia nazwy poszczególnych typów kwarków oraz wartości i znaki ich ładunków elektrycznych.

Kwarki i ich ładunki elektryczne		
Nazwa	Symbol	Ładunek [e]
górny	<i>u</i>	$+\frac{2}{3}$
dolny	<i>d</i>	$-\frac{1}{3}$
dziwny	<i>s</i>	$-\frac{1}{3}$
powabny	<i>c</i>	$+\frac{2}{3}$
niski, piękny	<i>b</i>	$-\frac{1}{3}$
wysoki, prawdziwy	<i>t</i>	$+\frac{2}{3}$

Kwarki utrzymują się razem dzięki cząstkom nazywanym **gluonami**, których nazwa pochodzi od angielskiego słowa „glue” – („klej”). Cząstki te powodują, że kwarki w protonie czy neutronie tworzą stabilny układ.

Polecenie 2

Czy proton i neutron są cząstkami elementarnymi? Uzasadnij swoją odpowiedź.

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

Polecenie 3

Składniki protonu to dwa kwarki u i jeden d . Składniki neutronu to dwa kwarki d i jeden u . Wykaż, że proton i neutron mają w związku z tym ładunki zgodne z obserwacjami.

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

Izotopy

Wiesz już, że jądro każdego atomu składa się z pewnej liczby dodatnio naładowanych protonów oraz elektrycznie obojętnych neutronów.

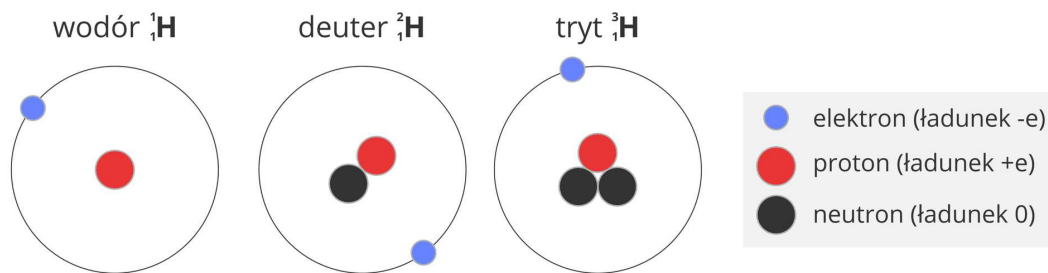
Liczbę protonów w jądrze oznaczamy literą „ Z ”. Jest to tak zwana **liczba atomowa** lub porządkowa. Iloczyn $Z \cdot e$ jest ładunkiem jądra atomu. W atomie elektrycznie obojętnym liczba protonów w jądrze jest równa liczbie elektronów znajdujących się na powłokach wokół jądra. Z kolei liczba wszystkich nukleonów (protonów i neutronów) w jądrze jest oznaczana literą „ A ”. To tzw. **liczba masowa**.

Będziemy używali pewnego symbolicznego, uproszczonego zapisu. Jeżeli dany pierwiastek X będzie miał liczbę masową A i liczbę atomową (porządkową) Z , zapis ten będzie wyglądał następująco:

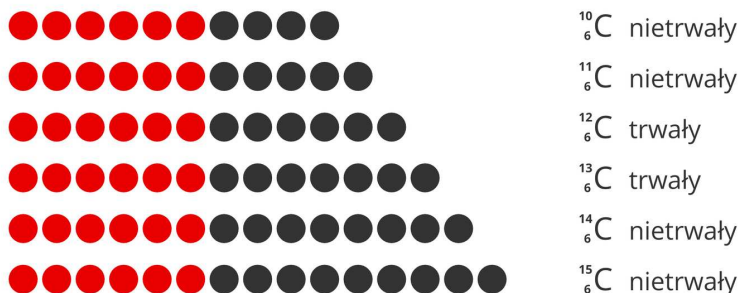


Odmiany tego samego pierwiastka różniące się liczbą masową (liczbą neutronów) nazywamy **izotopami**. Pierwiastki występujące w przyrodzie są mieszaninami swoich izotopów, w tym radioaktywnych (promieniotwórczych).

Jądra wszystkich izotopów danego pierwiastka mają tę samą liczbę atomową „ Z ”, ale różnią się wartościami liczby masowej „ A ”.



Jądra izotopów węgla „rozpisane” na składniki



Izotopy wodoru oraz węgla

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Przykładowo: wodór występuje w trzech odmianach. Oprócz zwykłej, dobrze znanej, gdzie w jądrze istnieje tylko jeden proton, jądro wodoru może mieć dodatkowo jeden lub dwa neutrony. Izotop wodoru z jednym neutronem i jednym protonem to tzw. deuter. Izotop wodoru z dwoma neutronami i jednym protonem to tryt.

Polecenie 4

Według przedstawionego wyżej zapisu symbolicznego zapisz liczby masowe i atomowe niobu, uranu, węgla i rtęci.

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

Podsumowanie

- Atom zbudowany jest z ciężkiego jądra o niewielkich rozmiarach i powłoki elektronowej.
- Elektrony krążą wokół jądra – poruszają się po zamkniętych orbitach; atom jest obojętny elektrycznie. W atomie obojętnym elektrycznie liczba protonów odpowiada liczbie elektronów.
- Rozmiar jądra atomowego wynosi około 10^{-15} m, a atomu – 10^{-10} m.

- Jądro – centralna część atomu – zbudowane jest z nukleonów: protonów i neutronów.
- Masy protonu i neutronu są zbliżone (nieco większa jest masa neutronu). Ładunek protonu jest dodatni i równy wartości ładunku elementarnego $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; neutron jest obojętny elektrycznie.
- Przez wiele lat uważano, że proton i neutron to cząstki niepodzielne. Okazało się jednak, że zarówno proton, jak i neutron składają się jeszcze z tzw. kwarków. Kwarki oddziałują ze sobą za pomocą gluonów. Gluony „sklejają” ze sobą kwarki i w rezultacie powstają cząstki takie jak protony i neutrony. Panuje przekonanie, że kwarki są fundamentalnym budulcem materii i są niepodzielne.
- Zwarta struktura jądra jest wynikiem równowagi między siłami odpychającymi, jakimi oddziałują na siebie protony (charakter elektryczny), a przyciągającymi siłami jądrowymi. Siły jądrowe są bardzo silne i działają na bardzo małych odległościach. Jądro atomu (z wyjątkiem atomu wodoru) nie mogłoby istnieć bez neutronów.
- Liczbę protonów w jądrze (równą liczbie elektronów atomu) nazywamy liczbą atomową (porządkową) i oznaczamy literą „ Z ”. Ładunek jądra można obliczyć ze wzoru: $Z \cdot e$.
- Liczbę nukleonów (protonów i neutronów) nazywamy liczbą masową i oznaczamy literą „ A ”.
- Symbolicznie budowę atomu opisujemy jako:

$A_ZX,$
gdzie:
 X – symbol atomu pierwiastka;
 A – liczba masowa;
 Z – liczba porządkowa (atomowa).
- Jądra atomowe większości pierwiastków mogą występować w odmianach różniących się liczbą neutronów. Pierwiastki posiadające w jądrze różną liczbę neutronów nazywamy izotopami danego pierwiastka.
- Przykładami izotopów wodoru (${}_1^1\text{H}$) mogą być deuter (${}_1^2\text{H}$) i tryt (${}_1^3\text{H}$). Węgiel ma znane trzy izotopy: ${}_6^{12}\text{C}$, ${}_6^{13}\text{C}$, ${}_6^{14}\text{C}$. Ten ostatni jest promieniotwórczy.

Ćwiczenie 1



Wpisz w luki odpowiednie symbole pierwiastków.

${}_{11}^{23}$, ${}_{28}^{60}$, ${}_{28}^{64}$, ${}_{81}^{205}$, ${}_{50}^{118}$
 , ${}_{32}^{73}$

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

Zadania podsumowujące moduł

Ćwiczenie 2



Oceń prawdziwość poniższych zdań. Przy każdym zdaniu w tabeli zaznacz „Prawda” albo „Fałsz”.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Protony i neutrony to cząstki elementarne.	☐	☐
Protony i neutrony zbudowane są z innych cząstek nazywanych kwarkami.	☐	☐
W jądrze jest zawsze tyle samo protonów co neutronów.	☐	☐

Źródło: Dariusz Kajewski <dariusz.kajewski@up.wroc.p>, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3



Uzupełnij luki w zdaniach, wpisując prawidłowe odpowiedzi.

Pierwiastek, który zawiera w swoim jądrze 7 protonów i 7 neutronów to .

Pierwiastek o liczbie atomowej wynoszącej 18 to .

Jądro niobu ma 41 protonów i 52 neutronów, więc jego liczba masowa wynosi

.

Źródło: Dariusz Kajewski <dariusz.kajewski@up.wroc.p>, licencja: CC BY 3.0.

Słownik

antycząstka

cząstka będąca „lustrzanym odbiciem” **cząstki elementarnej**; każdej cząstce elementarnej możemy przyporządkować antycząstkę o identycznej masie, czasie życia i innych cechach, ale o przeciwnym znaku ładunku (np. elektron – pozyton).

antyproton

antycząstka protonu.

cząstka elementarna

podstawowy i niepodzielny składniki materii. Obecnie nie można sformułować ścisłej definicji tego pojęcia. Do cząstek elementarnych pierwotnie zaliczano proton, neutron i elektron; sytuację zmieniło odkrycie kwarków.

gluony

bezmasowe niepodzielne cząstki, będące nośnikami silnych oddziaływań; spajają ze sobą kwarki w nukleonach.

hiperjądro

nietrwałe jądro atomowe, które dodatkowo (oprócz protonów i neutronów) ma co najmniej jeden hiperon.

hiperon lambda

cząstka obojętna elektrycznie, która może stanowić składnik jądra atomowego.

izotop

odmiana atomu tego samego pierwiastka, różniąca się liczbą neutronów.

kwarki

niepodzielne cząstki, z których zbudowane są protony i neutrony.

liczba atomowa (liczba porządkowa)

liczba protonów w jądrze, oznaczana literą „ Z ”.

liczba masowa

liczba nukleonów w jądrze (suma protonów i neutronów tworzących jądro atomowe).

nukleon

składnik jądra atomowego; proton lub neutron.

siły jądrowe

siły zdolne do pokonania elektrycznych sił odpychania między protonami; utrzymują jądro atomowe w całości. Charakteryzują się krótkim zasięgiem i olbrzymią wartością (stukrotnie większą niż siły oddziaływań elektrostatycznych).

Biogramy



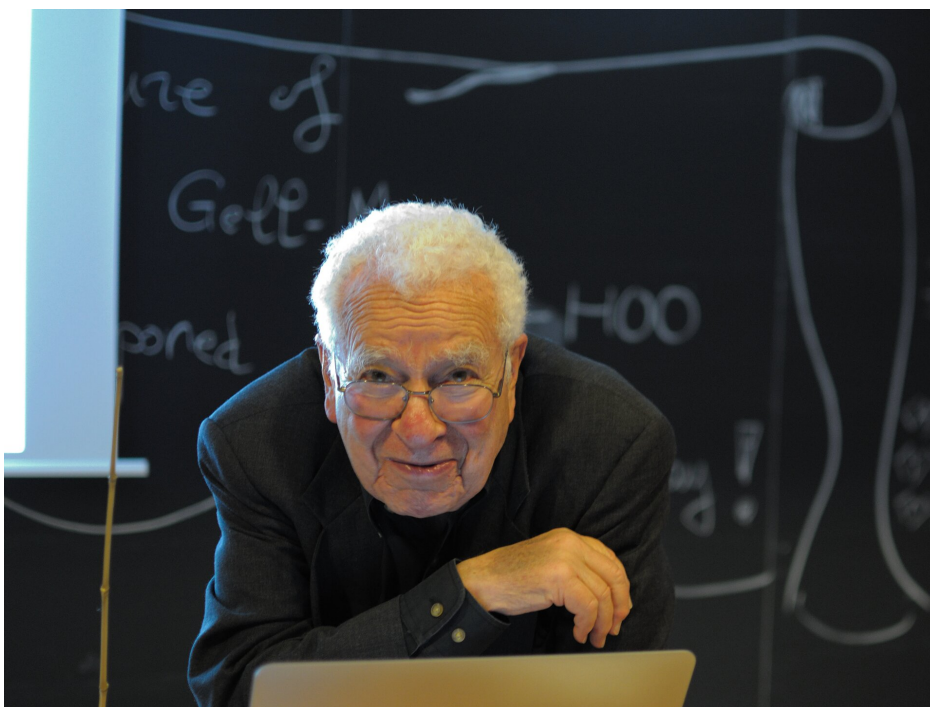
James Chadwick

Źródło: Los Alamos National Laboratory (<https://commons.wikimedia.org>), public domain.

James Chadwick

1891.10.20 Bollington – 1974.07.24 Cambridge

Brytyjski fizyk. W 1935 r. otrzymał Nagrodę Nobla za odkrycie neutronu – nowej cząstki w jądrze atomu. Współpracownik Ernesta Rutherforda, w czasie II wojny światowej uczestnik projektu „Manhattan”.



Murray Gell-Mann

Źródło: Melirius (<https://commons.wikimedia.org>), licencja: CC BY-SA 3.0.

Murray Gell-Mann

1929.09.15 Nowy Jork – 2019.05.24 Santa Fe, Nowy Meksyk

Fizyk teoretyk. Prowadził badania dotyczące fizyki cząstek elementarnych. Postulował istnienie hiperonu i kwarku. Wprowadził nową liczbę kwantową – dziwność.



George Zweig

Źródło: Tomorrow Sp.z o.o., licencja: CC BY 3.0.

George Zweig

ur. 1937.05.20 Moskwa

Jeszcze jako student wysunął (niezależnie od Murraya Gell-Manna) hipotezę, że cząstki takie jak neutron i proton mają określoną strukturę wewnętrzną i nie mogą być traktowane jako cząstki elementarne. Od lat 70. prowadzi badania w zakresie neurobiologii.