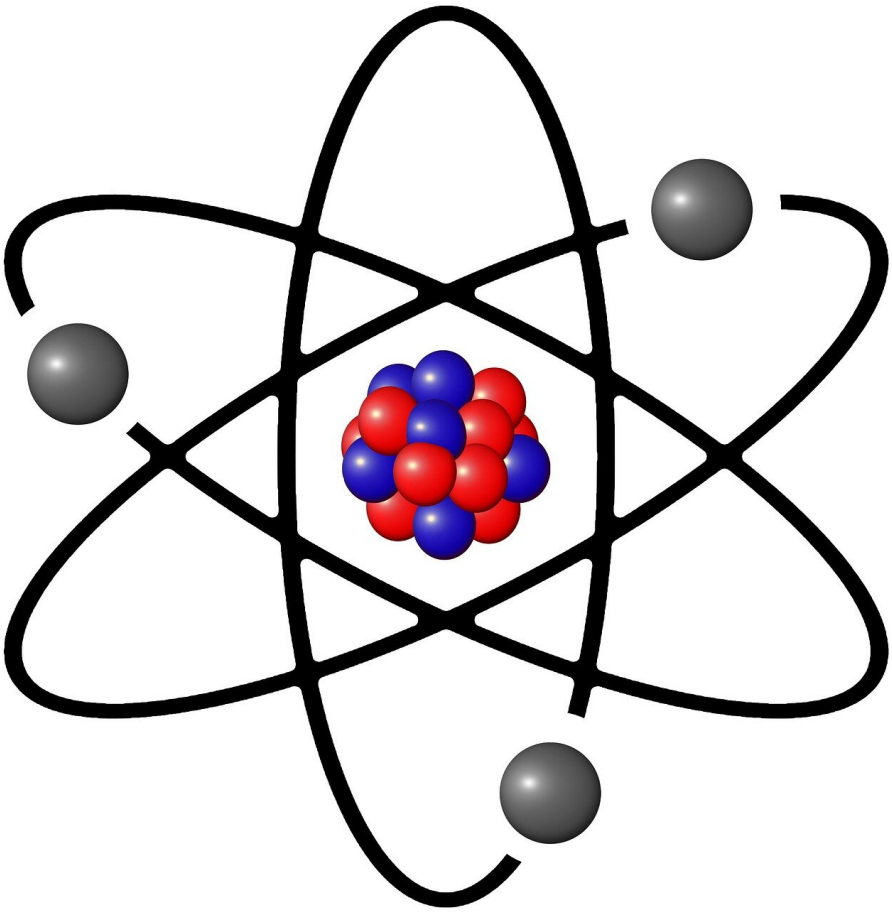
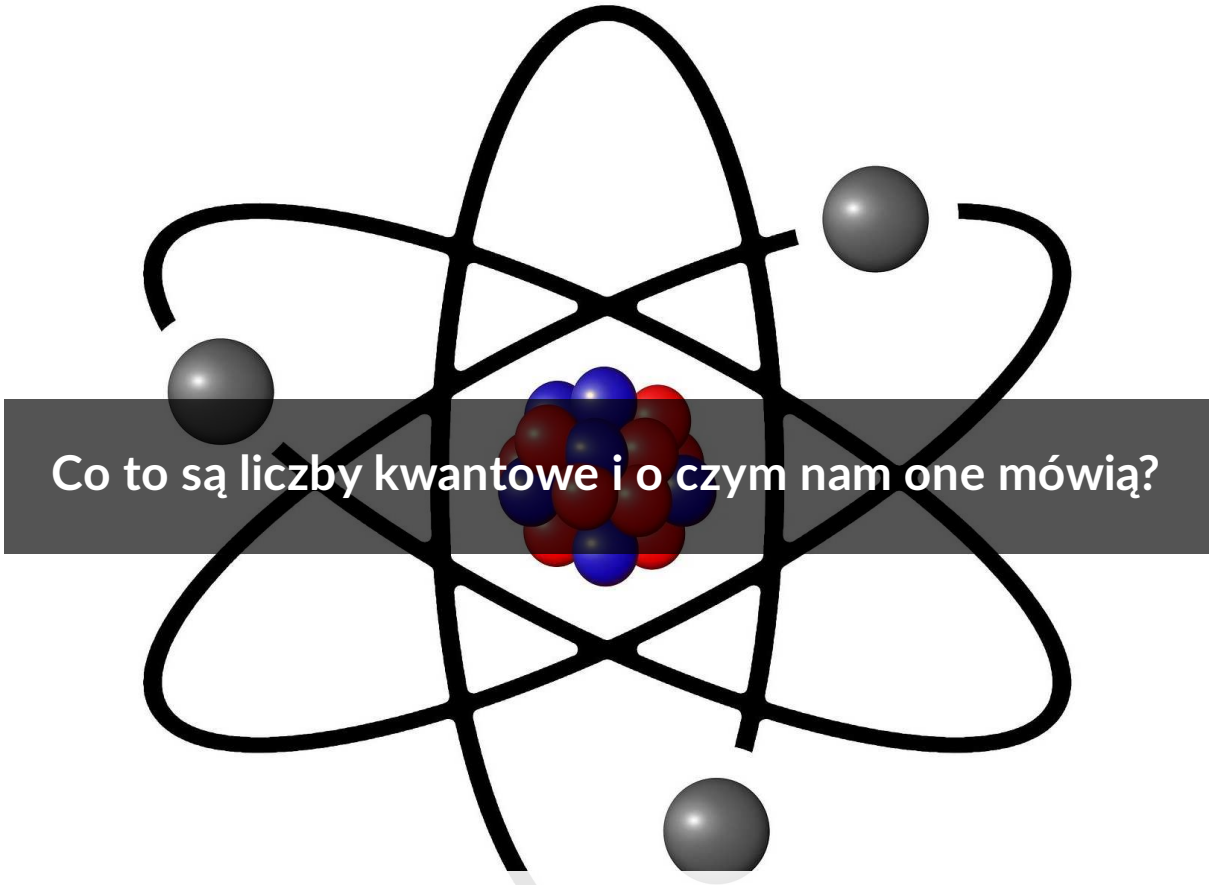


Co to są liczby kwantowe i o czym nam one mówią?

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film edukacyjny
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Co to są liczby kwantowe i o czym nam one mówią?

Atom to najmniejsza część pierwiastka chemicznego, zachowująca jego właściwości.
Źródło: dostępny w internecie: www.pixabay.com, domena publiczna.

Kwant to inaczej najmniejsza porcja, o jaką może się zmienić dana wielkość fizyczna. Kwantowanie oznacza występowanie danej wielkości fizycznej w ściśle określonych kwantach, czyli porcjach. Prawie wszystkie wielkości fizyczne, takie jak np. materia, czas, energia, promienie orbitali w atomie wodoru, są „skwantowane". Materia dlatego, że składa się z pojedynczych cząstek, których nie sposób podzielić. Nie można mieć połowy elektronu. Również poziomy energii elektronów w atomach są skwantowane. Energia elektronu posiada tylko określone wartości. Czym są zatem liczby kwantowe? O czym nas informują? Gdzie mają swoje zastosowanie?

Twoje cele

- Scharakteryzujesz liczby kwantowe i ich własności.
- Opiszesz za pomocą liczb kwantowych stan elektronu w atomie.
- Uzasadnisz poprawność opisu stanu elektronu.

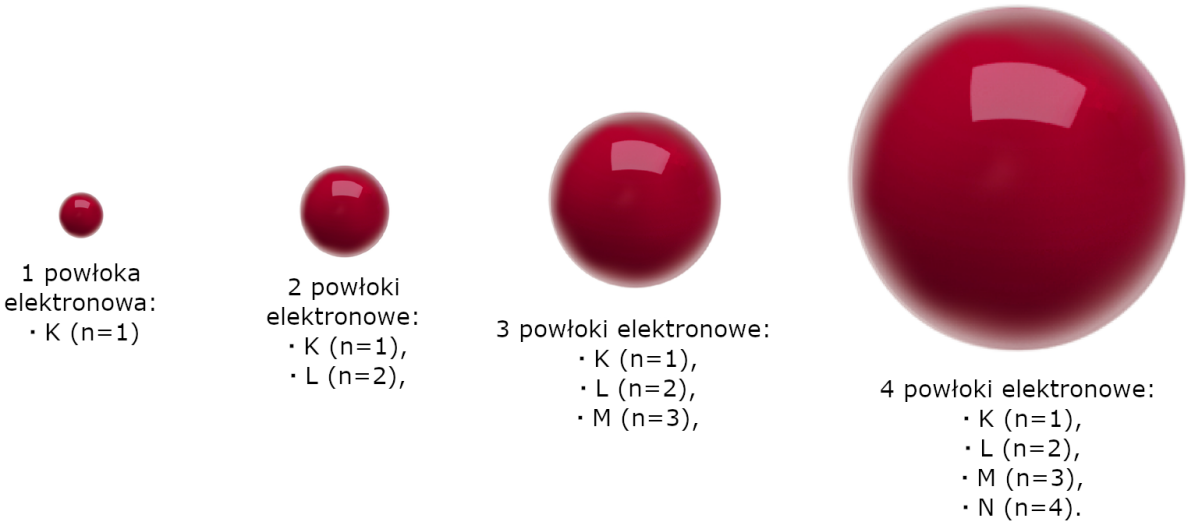
Przeczytaj

Co daje nam znajomość liczb kwantowych?

Mechanika kwantowa to dział chemii, w którym zakłada się, że obiekty mikroświata (np. elektrony) nie podlegają zasadom mechaniki klasycznej. Zasadniczą rolę w mechanice kwantowej odgrywa **równanie Schrödingera** [czyt. szrodingera]. Umożliwia ono obliczenie kształtu fali związanej z cząstką. Fale mogą występować w atomie tylko dla pewnych wartości energii. Wynikiem tego równania nie jest liczba, a funkcja falowa, oznaczana symbolem ψ (psi), nazywana również orbitalem atomowym. Nie ma określonego sensu fizycznego, ale pomaga określić właściwości elektronu w atomie. Znajomość funkcji falowej pozwala na obliczenie poszczególnych wielkości związanych z ruchem elektronów (energia, rozmiar i kształt przestrzeni oraz prawdopodobieństwo znalezienia elektronu w tej przestrzeni). Wymienione wielkości opisywane są za pomocą liczb kwantowych. Ich znajomość pozwala na przedstawienie stanu elektronu w atomie.

Główna liczba kwantowa

Główna liczba kwantowa, oznaczana symbolem „n”, określa energię elektronu w atomie. Jest ona równa co do wartości liczbowej numerowi powłoki elektronowej do której należy elektron. Wraz ze wzrostem wartości głównej liczby kwantowej rosną również rozmiary kolejnych orbitali (np. orbital $2s$ jest większy od orbitalu $1s$). Liczba kwantowa n może przyjmować wartosci kolejnych liczb całkowitych dodatnich: 1, 2, 3 , 4, 5. Powłoka elektronowa jest zbiorem elektronów o zbliżonych energiach i tej samej wartości głównej liczby kwantowej. Kolejne powłoki elektronowe oznaczane są symbolami literowymi z alfabetu łacińskiego: K, L, M, N, O, P, Q itd.



Rysunek przedstawia zależność rozmiaru (promienia) atomu od liczby powłok elektronowych. Ze wzrostem liczby powłok elektronowych rośnie rozmiar atomu.

Poboczna liczba kwantowa

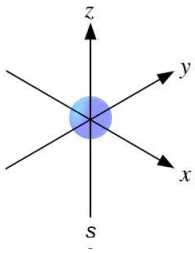
Poboczna liczba kwantowa, oznaczana symbolem „l", określa typ podpowłoki, którą zajmuje elektron w danej powłoce. Podpowłokę zajmują elektrony o jednakowej energii (opisane za pomocątych samych wartości liczb kwantowych n i l).

- Poboczna liczba kwantowa może przyjmować wartości kolejnych liczb całkowitych od 0 do $n-1$ ($0 \leqslant l \leqslant n-1$).
- Podpowłoki są oznaczane małymi literami: s, p, d, f.
- Wartości pobocznej liczby kwantowej równej:
  $l = 0$ odpowiada podpowłoka s;
  $l = 1$ podpowłoka p;
  $l = 2$ podpowłoka d;
  $l = 3$ podpowłoka f.
- Dla powłoki K, kiedy n wynosi 1, występuje jedna podpowłoka s.
- Dla powłoki L, kiedy $n = 2$, występują dwie podpowłoki: s i p.
- Dla powłoki M, kiedy $n = 3$, występują trzy podpowłoki: s, p, d.
- Dla powłoki N, gdy $n = 4$, występują cztery podpowłoki: s, p, d i f.
- Liczba kwantowa l opisuje moment pędu elektronu, a dokładniej – orbitalny moment pędu. Związany jest on z ruchem elektronu wokół jądra.

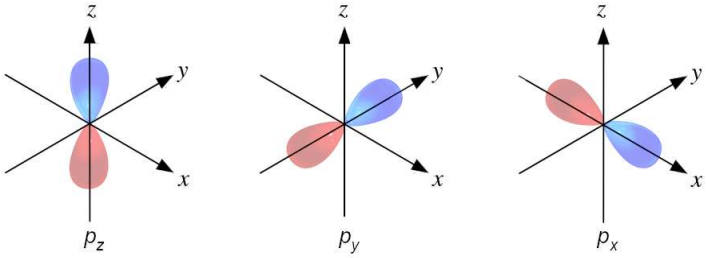
Magnetyczna liczba kwantowa

Magnetyczna liczba kwantowa, oznaczana symbolem „m", wskazuje poziom orbitalny, który zajmuje elektron w danej podpowłoce. Na poniższym rysunku przedstawiono kontury i przestrzenne ułożenie orbitali budujących podpowłoki typu: s, p, d.

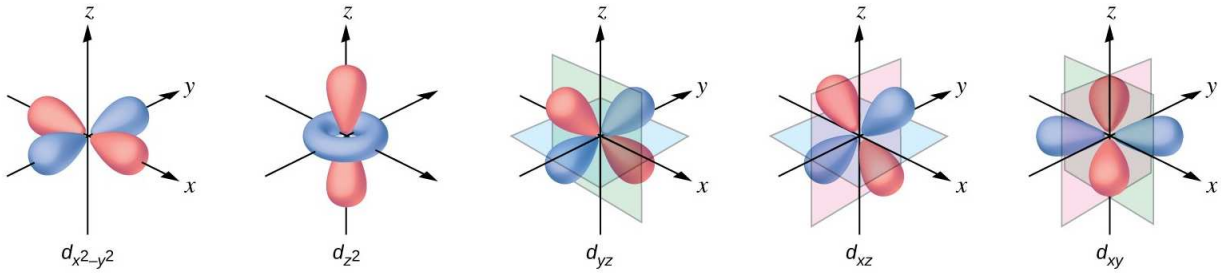
Magnetyczna liczba kwantowa może przyjmować wartości całkowite od $-l$ do l (włącznie z zerem). Stany kwantowe opisane jednakowymi liczbami kwantowymi n, l, m nazywane są poziomem orbitalnym.



Podpowłoka typu s składa się z jednego orbitalu typu s.



Podpowłoka typu p składa się z trzech orbitali typu p.



Podpowłoka typu d składa się z pięciu orbitali typu d.

Magnetyczna liczba kwantowa określa orientację przestrzenną orbitalnego momentu pędu elektronu. Moment pędu posiada nie tylko wartość, ale również zwrot i kierunek, ponieważ jest wielkością wektorową. Magnetyczna liczba kwantowa opisuje więc wartość rzutu wektora orbitalnego momentu pędu elektronu na dany kierunek.

Spinowa liczba kwantowa

Spinowa liczba kwantowa, oznaczana literą „s” – kwantuje własny moment pędu elektronu (spin). Dla każdego elektronu liczba ta przyjmuje wartość $\frac{1}{2}$ niezależnie od tego jaki poziom orbitalny zajmuje ten elektron. Stąd liczba ta często jest pomijana w czasie opisu stanu elektronu w atomie.

Magnetyczna spinowa liczba kwantowa

Magnetyczna spinowa liczba kwantowa, oznaczana symbolem „m_s”, określa kierunek spinu (orientację spinu w przestrzeni) – własnego momentu pędu elektronu. Może przyjmować wartości $\frac{1}{2}$ lub $-\frac{1}{2}$.

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

Główna liczba kwantowa i odpowiadające jej poboczne liczby kwantowe

Głowna liczba kwantowa	Powłoka elektronowa	Poboczna liczba kwantowa	Orbital atomowy (podpowłoka elektronowa)	Magnetyczna liczba kwantowa	Liczba elektron
$n = 1$	K	$l = 0$	s	$m = 0$	2
$n = 2$	L	$l = 0$ $l = 1$	s p	$m = 0$ $m = -1, 0, 1$	2 6
$n = 3$	M	$l = 0$ $l = 1$ $l = 2$	s p d	$m = 0$ $m = -1, 0, 1$ $m = -2, -1, 0, 1, 2$	2 6 10
$n = 4$	N	$l = 0$ $l = 1$ $l = 2$ $l = 3$	s p d f	$m = 0$ $m = -1, 0, 1$ $m = -2, -1, 0, 1, 2$ $m = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$	2 6 10 14

- Powłoka K ($n = 1$) składa się z 1 podpowłoki typu s ($l = 0$), która z kolei jest złożona tylko z jednego poziomu orbitalnego ($m = 0$). Ponieważ każdy orbital może zostać zapełniony dwoma elektronami to powłoka ta może pomieścić maksymalnie 2 elektrony.

- Powłoka L ($n = 2$) składa się z 2 podpowłok: typu s ($l = 0$) oraz typu p ($l = 1$). Podpowłoka s zawiera jeden poziom orbitalny ($m = 0$) i mieści zatem 2 elektrony. Podpowłoka p zawiera trzy poziomy orbitalne ($m = -1, 0, 1$) i mieści 6 elektronów. Powłoka L może zatem pomieścić maksymalnie 8 elektronów.
- Powłoka M ($n = 3$) składa się z 3 podpowłok: typu s ($l = 0$), typu p ($l = 1$) oraz typu d ($l = 2$). Podpowłoka s zawiera jeden poziom orbitalny ($m = 0$) i mieści zatem 2 elektrony. Podpowłoka p zawiera trzy poziomy orbitalne ($m = -1, 0, 1$) i mieści 6 elektronów. Podpowłoka d zawiera pięć poziomów orbitalnych ($m = -2, -1, 0, 1, 2$) i mieści 10 elektronów. Powłoka M może zatem pomieścić maksymalnie 18 elektronów.
- Powłoka N ($n = 4$) składa się z 4 podpowłok: typu s ($l = 0$), typu p ($l = 1$), typu d ($l = 2$) oraz typu f ($l = 3$). Podpowłoka s zawiera jeden poziom orbitalny ($m = 0$) i mieści zatem 2 elektrony. Podpowłoka p zawiera trzy poziomy orbitalne ($m = -1, 0, 1$) i mieści 6 elektronów. Podpowłoka d zawiera pięć poziomów orbitalnych ($m = -2, -1, 0, 1, 2$) i mieści 10 elektronów. Podpowłoka f zawiera siedem poziomów orbitalnych ($m = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$) i mieści 14 elektronów. Powłoka N może zatem pomieścić maksymalnie 32 elektrony.

Polecenie 1

Za pomocą liczb kwantowych opisz stan elektronów walencyjnych berylu.

Liczba kwantowa	Elektron 1	Elektron 2
n		
l		
m		
m_s		

0 $+\frac{1}{2}$ $-\frac{1}{2}$ 0 2 2 0 0

Podsumowanie

Liczby kwantowe pozwalają na opisanie stanu elektronu, znajdującego się w chmurze elektronowej danego atomu. **Funkcje falowe,** które są rozwiązaniem równania

Schrödingera, umożliwiają określenia prawdopodobieństwa znalezienia elektronu w wybranym, małym obszarze przestrzeni. Prawdopodobieństwo mieści się w przedziale od 0 do 1. Spośród możliwych rozwiązań tego równania należy wybrać te, których wartość bezwzględna podniesiona do kwadratu określa wartość prawdopodobieństwa znalezienia elektronu. Ten warunek jest spełniony, jeśli parametry występujące we wzorze, określające orbital (czyli n, l i m), przyjmują wartości całkowite. Parametry te są liczbami kwantowymi.

Słownik

powłoka elektronowa

zbiór elektronów o zbliżonych energiach i jednakowej wartości głównej liczby kwantowej
podpowłoka elektronowa

zbiór elektronów o jednakowych energiach, czyli opisanych tymi samymi liczbami kwantowymi n i l
poziom orbitalny

stan kwantowy o takiej samej wartości liczb kwantowych n, l i m
orbital atomowy

funkcja falowa ψ, opisująca stan energetyczny elektronu w atomie
spin

wielkość fizyczna, która określa właściwości magnetyczne elektronu, wynikające z jego ruchu wewnętrznego
liczby kwantowe

parametry, które określają stan elektronu w atomie

Bibliografia

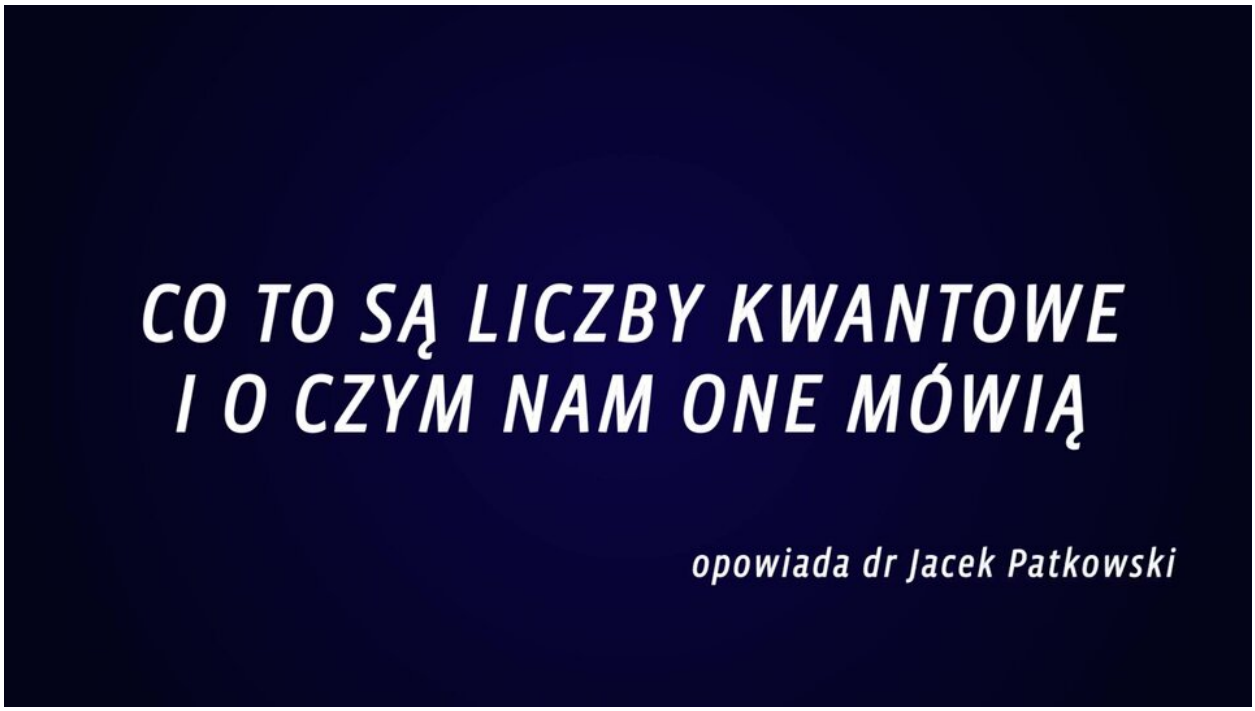
Atkins P., Jones L., *Chemical Principles: The Quest for Insight*, 5th Edition, New York 2009.

Penkala T., *Podstawy Chemii Ogólnej*, Warszawa 1982.

Trzebiatowski W., *Chemia Nieorganiczna*, Warszawa 1978.

Film edukacyjny

> **Polecenie 1**
>
> Czy już wiesz, czym są liczby kwantowe? Do czego służą? Jeśli dalej masz wątpliwości i chcesz uporządkować swoją wiedzę – zapoznaj się z filmem edukacyjnym, a następnie rozwiąż zadania.



Film dostępny pod adresem /preview/resource/RSU7F7Lb2ZVcd

Film edukacyjny pt. *„Co to są liczby kwantowe i o czym nam mówią?”*

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

Film nawiązujący do treści materiału - dotyczą charakterystyki czterech liczb kwantowych - głównej liczby kwantowej, pobocznej liczby kwantowej, magnetycznej liczby kwantowej i magnetycznej spinowej liczby kwantowej.

Ćwiczenie 1

Wybierz opis głównej liczby kwantowej $n = 2$.

- ◯ Powłoka ta składa się z trzech podpowłok: typu s, której poboczna liczba kwantowa wynosi 0; typu p, której poboczna liczba kwantowa wynosi 1, oraz typu d, której poboczna liczba kwantowa wynosi 2.
- ◯ Powłoka ta składa się z jednej podpowłoki – typu s, której liczba kwantowa wynosi 0.
- ◯ Powłoka ta składa się z dwóch podpowłok: typu s, której poboczna liczba kwantowa wynosi 0, oraz typu p, której poboczna liczba kwantowa wynosi 1.

Ćwiczenie 2

Scharakteryzuj główną liczbę kwantową. Podaj jej symbol, wartości, jakie przyjmuje, oraz o czym decyduje ta liczba.

Odpowiedź:

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

Uzupełnij tabelę o brakujące dane dotyczące liczb kwantowych.

nazwa	symbol	wartość	znaczenie
	n		określa powłokę
poboczna			
		$l, l-1, \ldots, -1$	określa orbitale podpowłoki
	m_s		

$0, 1, \ldots, n-1$ | l | magnetyczna | główna | określa stan spinowy | magnetyczna spinowa | $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | m | $1, 2, \ldots$ | określa podpowłokę

Ćwiczenie 2

Co określa główna liczba kwantowa?

- Energię elektronu.
- Określa spin elektronu.
- Opisuje moment pędu elektronu.

Ćwiczenie 3

Jakie wartości przyjmuje poboczna liczba kwantowa?

- ◯ $-n$ do n
- ◯ $\frac{1}{2}$
- ◯ od 0 do $n-1$

Ćwiczenie 4

Które określenie dotyczy magnetycznej spinowej liczby kwantowej?

- ◯ Przyjmuje wartości 0, 1, $n-1$.
- ◯ Określa orientację spinu elektronu.
- ◯ Określa kształt orbitali.

Ćwiczenie 5

Główna liczba kwantowa dla pewnego elektronu wynosi 3. Jakie są możliwe wartości pozostałych liczb kwantowych?

$n =$ [ ]

$l =$ [ ], $l =$ [ ], $l =$ [ ]

$m =$ [ ]

$m_s =$ [ ] lub [ ]

[$+2$] [$+1$] [-2] [od -2 do $+2$] [-1] [3] [$-\frac{1}{2}$] [$+\frac{1}{2}$] [0] [1] [0] [2]

Ćwiczenie 6

Uczeń opisał stan elektronu następującymi wartościami liczb kwantowych: $n = 4$, $l = 4$, $m = 2$, $m_s = -\frac{1}{2}$.

Znajdź błąd w podanym opisie.

Odpowiedź:

Ćwiczenie 7

Przy opisywaniu stanu elektronu w atomie obowiązuje zakaz Pauliego. Zgodnie z nim, w jednym atomie lub jonie nie mogą istnieć dwa elektrony o takich samych stanach kwantowych, czyli o takich samych wartościach wszystkich liczb kwantowych.

Czy można opisać dwa elektrony tymi samymi wartościami liczb kwantowych n, l i m?

Odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 8

Ustal liczbę stanów kwantowych, kiedy $n = 3$.

Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 9

Czy możliwe jest istnienie elektronu, którego stan opisują następujące wartości liczb kwantowych:

- $n = 2$,
- $l = 1$,
- $m_s = \frac{1}{2}$,
- $m = 3$?

Odpowiedź uzasadnij

Odpowiedź:

Dla nauczyciela

Scenariusz zajęć

Autor: Patrycja Męcik, Krzysztof Błaszczak

Przedmiot: chemia

Temat: Co to są liczby kwantowe i o czym nam one mówią?

Grupa docelowa: III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony; uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie rozszerzonym

Podstawa programowa:

Zakres rozszerzony

II. Budowa atomu. Uczeń:

2) interpretuje wartości liczb kwantowych; opisuje stan elektronu w atomie za pomocą liczb kwantowych; stosuje pojęcia: powłoka, podpowłoka, stan orbitalny, spin elektronu.

Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii;
- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:

Uczeń:

- charakteryzuje liczby kwantowe i ich własności;
- opisuje stan elektronu w atomie za pomocą liczb kwantowych;
- uzasadnia poprawność opisu stanu elektronu.

Strategie nauczania:

- asocjacyjna.

Metody i techniki nauczania:

- burza mózgów;
- dyskusja dydaktyczna;

- analiza materiału źródłowego;
- metoda układanki;
- film edukacyjny;
- ćwiczenia uczniowskie;
- technika zdań podsumowujących.

Formy pracy:

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca w grupach;
- praca zbiorowa.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami/tablety i smartfony z dostępem do internetu;
- słuchawki;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- rzutnik multimedialny;
- tablica;
- kreda.

Przebieg zajęć

Faza wstępna:

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel wykorzystuje pytania: Czy znacie pojęcie kwant? Jak można zdefiniować kwant? Do czego można to porównać?
2. Rozpoznawanie wiedzy wyjściowej uczniów. Burza mózgów wokół pojęcia liczb kwantowych. Nauczyciel wykorzystuje aplikację Mentimeter z użyciem tabletów/smartfonów.
3. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele.

Faza realizacyjna:

1. Uczniowie odliczają do czterech. Zadaniem każdego z uczniów będzie analiza materiału w dostępnych źródłach informacji , w tym e-materiału, dotyczącego jednej liczby kwantowej (uczniowie z nr 1 – główna liczba kwantowa, uczniowie z nr 2 – poboczna, uczniowie z nr 3 – magnetyczna, uczniowie z nr 4 – magnetyczna spinowa). Uczniowie mają zwrócić uwagę na to, czego dotyczy dana liczba, za co odpowiada i jakie wartości przyjmuje. Po upływie wyznaczonego czasu uczniowie łączą się w grupy pięcio/sześioosobowe w taki sposób, aby we wszystkich grupach były osoby z każdym numerem (od 1 do 4). Uczniowie w grupach przekazują sobie wiadomości dotyczące poszczególnych liczb kwantowych. Następnie chętni bądź wyznaczeni uczniowie (po jednej osobie z danym numerem), prezentują na forum klasy zebrane

informacje dotyczące poszczególnych liczb kwantowych. Pozostali uczniowie uzupełniają brakujące informacje. Nauczyciel kontroluje pod względem merytorycznym poprawność wypowiedzi wszystkich uczniów, ewentualnie wyjaśnia niezrozumiałe kwestie.
2. Nauczyciel odwołuje uczniów do medium bazowego – praca w parach. Film edukacyjny przedstawia, jak krok po kroku opisać liczbami kwantowymi stan elektronu w atomie od n=1 do n=3, po czym sprawdzają swoją wiedzę wykonując ćwiczenia załączone do medium.
3. Uczniowie sprawdzają zdobyte wiadomości robiąc zadania zawarte w e-materiale – zestaw ćwiczeń.

Faza podsumowująca:

1. Nauczyciel sprawdza wiedzę uczniów zadając przykładowe pytania: Co to są liczby kwantowe? Jakie znamy liczby kwantowe? Za co odpowiadają poszczególne liczby kwantowe? Nauczyciel może wykorzystać aplikację Kahoot! lub Quizizz z z zastosowaniem tabletów/smartfonów.
2. Jako podsumowanie lekcji nauczyciel może wykorzystać zdania do uzupełnienia, które uczniowie również zamieszczają w swoim portfolio:

- Przypomniałem/łam sobie, że...
- Co na zajęciach wydało wam się ważne i ciekawe?
- Co było dla mnie łatwe...
- Co sprawiało mi trudności...
- Czego się nauczyłam/łem...

Praca domowa:

Nauczyciel prosi uczniów o dokończenie ćwiczeń w e-materiale. Dodatkowo uczniowie proszeni są o określenie liczby podpowłok elektronowych znajdujących się w powłoce elektronowej n=4.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:

Film edukacyjny może zostać wykorzystany przez uczniów podczas przygotowywania się do zajęć lub sprawdzianu wiedzy.

Materiały pomocnicze:

Polecenia podsumowujące (nauczyciel przed lekcją zapisuje je na niewielkich kartkach):

- Co to są liczby kwantowe?
- Jakie znamy liczby kwantowe?
- Za co odpowiadają poszczególne liczby kwantowe?