

Троицкий авиационный технический колледж – филиал федерального
государственного образовательного учреждения высшего образования
Московский государственный технический университет гражданской
авиации (МГТУ ГА)

Автор: Семечев П.А.



МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

по Химии

Тема: «Строение атомов химических элементов и природа химической
связи»

Троицк, 2025г.

Рассмотрено и утверждено на заседании ЦК ОТП

Протокол №8 от 18.02.2025г.

Председатель ЦК ОТП: Ольга /Н.А.Овсянникова/

Согласовано:

Зам.директора по УР: Василий /В.А. Хомуткова/

«05» 03 2025г.

Содержание

Введение	4
1. История открытия	6
2. Современная модель строения атома.....	8
3. Электроны	11
3.1 Атомные орбитали	11
3.2 Энергетические уровни.....	12
4. Составление электронной конфигурации	14
4.1 Электронная конфигурация	15
4.2 Графическая конфигурация	16
4.3 Внешний уровень и валентные электроны	18
Задачи для самоконтроля.....	20
Список рекомендуемой литературы	22

Введение

Настоящие методические указания являются логическим продолжением методических указаний к выполнению самостоятельной подготовки обучающихся к занятиям, выполнению практических и контрольной работы по химии.

Главная цель настоящих методических указаний – помочь студентам решить различные типы задач при подготовке к занятиям, лабораторным и контрольным работам.

Настоятельно рекомендую студентам предварительно изучить теоретический материал по каждому разделу химии, используя учебную литературу по химии. Весь теоретический материал с формулами, определениями и т. д. по каждому разделу, необходимый для решения задач, можно найти и в учебной литературе по химии.

Для удобства пользования приведены справочные данные, таблицы, схемы, формулы.

При рассмотрении примеров обратите внимание, что практически везде используется международная система единиц (СИ); все физические величины, где это требуется, даны с соответствующими единицами измерения; во всех расчетных формулах величины подставлены без преобразований в необходимых единицах измерения.

Очень надеюсь, что данные методические указания помогут вам успешно справиться с решением задач по химии.

Химическая учебная задача – это модель проблемной ситуации, решение которой требует мыслительных и практических действий на основе знания законов, теорий и методов химии, направленная на закрепление, расширение знаний и развитие химического мышления.

В данном методическом указании вы найдете помощь и объяснение строение атомов химических элементов и природу атома.

Вы сможете узнать что такое атом, его состав и свойства. Рассмотреть его конфигурацию и поведение прилегающих к нему элементов.

Так же подробно описанные ниже определения и правила, помогут вам создать электронную и графическую конфигурацию атома.

Рассмотрим, что является у нас валентными электронными и научимся определять какие из них спаренные и неспаренные.

1. История открытия

Все окружающие нас объекты и мы сами состоим из крошечных частиц, которые называются атомами. В их состав входят еще меньшие частицы: протоны, нейтроны и электроны. Современное строение атома наука открыла сравнительно недавно, до этого его долго считали неделимой частицей.

Мысль о том, что все вокруг состоит из мельчайших, невидимых глазу частиц возникла в Древней Греции и Древней Индии еще до нашей эры. Древнегреческий философ Демокрит был материалистом. Именно он первым ввел в обиход понятие атома (с греческого — atomos — неделимый). Демокрит считал, что невидимые частицы вечны, их бесчисленное множество, они постоянно двигаются, обладают весом, размером и формой.

Последующее развитие теория атомизма получила в Средние века и Новое время в работах французского физика **Пьера Гассенди** (1592—1655 гг.) и английского ученого **Роберта Бойля** (1627-1691 гг.).

Развитием атомистической теории и превращением ее в атомно-молекулярное учение занимались также Ломоносов, Лавуазье, Дальтон.

Долгое время атом считали элементарной, т.е. неделимой частицей. Но в 1897 году **Джозеф Дж. Томсон** открыл первую субатомную частицу — **электрон**. Это открытие имело огромное значение. Ученый впервые предложил определенную структуру строения, считавшейся ранее неделимой частицы, которая получила название «пудинг с изюмом». Согласно этой модели атом — это положительно заряженная сфера, внутри которой находятся отрицательно заряженные электроны.

Но теорию Томсона опроверг **Эрнест Резерфорд**. В 1911 году британским физиком было совершено открытие протона — положительно заряженной элементарной частицы. Открыв протон, Резерфорд предположил и наличие нейтронов — нейтрально заряженных частиц в атоме. Позже их существование экспериментально подтвердил Джеймс Чэдвик. Основываясь на своем открытии, Резерфорд предложил свое описание атомной модели: положительно заряженное ядро и окружающие его электроны.

В 1913 году датчанин **Нильс Бор** предложил свой вариант строения атома, получивший название «планетарной модели». Согласно теории Бора, электроны находятся на определенном расстоянии от атомного ядра и вращаются по специальным орбитам (по аналогии с планетами, вращающимися вокруг Солнца). В начале XX века планетарную модель заменила волновая модель, принятая научным сообществом во всем мире.

Современные представления о строении атома были бы невозможны без открытия элементарных частиц и явления радиоактивности. Огромный вклад в науку, помимо вышеназванных ученых, внесли Эрвин Шредингер, Макс Планк, Вольфганг Паули.

Существование атомного ядра было установлено с открытием нейтрона Джеймсом Чедвиком в 1932 году и определением того, что это новая элементарная частица, отличная от протона.

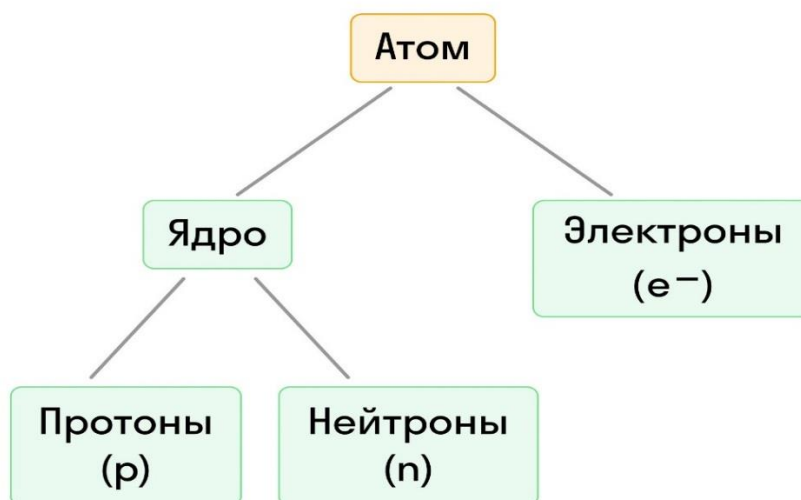
Незаряженный нейтрон сразу же стал использоваться как новое средство для изучения структуры ядра, что привело к таким открытиям, как создание новых радиоактивных элементов путём нейтронного облучения (1934) и деление атомов урана нейтронами (1938). Открытие деления привело к созданию ядерной энергетики и ядерного оружия к концу Второй мировой войны.

И протон, и нейтрон считались элементарными частицами до 1960-х годов, когда было установлено, что они являются составными частицами, состоящими из кварков.

2. Современная модель строения атома

Современная модель строения атома включает следующие положения:

- В состав атома входит ядро и электроны.
- Ядро заряжено положительно и состоит из протонов, которые также заряжены положительно, и нейтрально заряженных нейтронов.
- Заряд ядра атома определяется количеством протонов.
- Масса ядра атома (массовое число) — это сумма нуклонов (протонов и нейтронов).
- Электроны — отрицательно заряженные частицы, которые вращаются вокруг ядра атома.
- Количество электронов в атоме равно количеству протонов.
- Атом электронейтрален



Современная теория строения атома основана на следующих положениях:

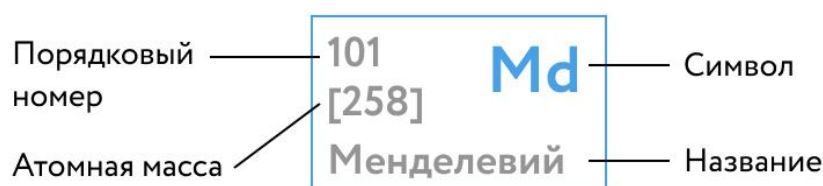
- Электрон имеет двойственную природу, т. е. может вести себя и как частица, и как волна. Как частица электрон имеет определенную массу и заряд, а движущиеся электроны проявляют волновые свойства, например поток электронов способен к дифракции.
- Для электрона невозможно точно измерить одновременно координату и скорость. Чем точнее измерена скорость, тем больше неопределённость в нахождении его координаты, и наоборот.
- Электрон в атоме может находиться в любой области пространства вокруг ядра, но с разной вероятностью. Пространство вокруг ядра, в котором электрон находится с наибольшей вероятностью, называется орбиталью.
- Ядра атомов состоят из протонов и нейтронов, которые имеют общее название — нуклоны. Число протонов в ядре совпадает с порядковым номером элемента в Периодической системе, сумма числа протонов и числа нейтронов равна массовому числу элемента.

Сумма чисел протонов (**Z**) и нейтронов (**N**) в атоме (нуклиде) называется массовым числом (**A**):

Число протонов (**Z**) в атомах одного и того же химического элемента всегда одинаково и равно заряду ядра.

Таким образом:

Заряд ядра = число протонов в ядре (**Z**) = число электронов = порядковый номер элемента



Как выходит, что атом — это незаряженная частица? Все дело в том, что заряд ядра (а, соответственно, и количество протонов) численно равен

количеству электронов в атоме, и таким образом они друг друга «компенсируют».

Выяснить состав атома очень просто: чтобы вычислить число нейтронов, необходимо вычесть из массового числа количество протонов.

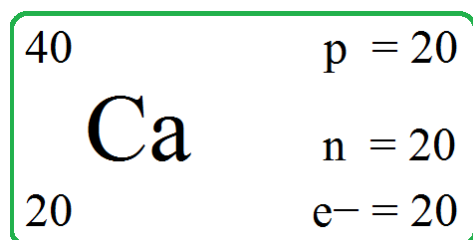
Заряд ядра атома, количество протонов и электронов определяется порядковым номером.

Для примера составим характеристику атома кальция (**Ca**):

Порядковый номер кальция — 20, соответственно $p = 20$, $e^- = 20$, $+Z = +20$.

Относительная атомная масса кальция $A_r(\text{Ca}) = 40$, значит $n = 40 - 20 = 20$.

Таким образом, атом серы содержит 20 протонов, 20 нейтронов и 20 электронов.



3. Электроны

Электроны — это отрицательно заряженные частицы, которые перемещаются с очень большой скоростью, образуя электронное облако. Масса электрона равна $9,1093 \cdot 10^{-31}$ кг, а относительный заряд равен -1 .

3.1 Атомные орбитали

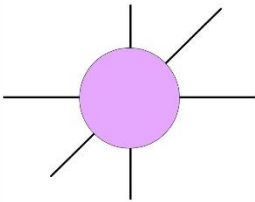
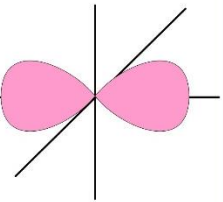
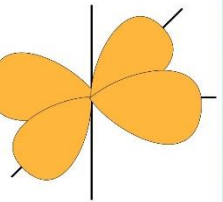
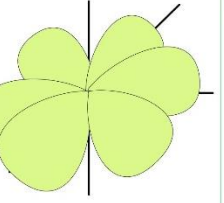
Точное местоположение электрона в атоме определить невозможно, но существует пространство, в котором вероятность нахождения его максимальна. Такое место называется атомной орбиталью.

Атомная орбиталь — это участок, в котором вероятность нахождения электрона максимальна.

Атомные орбитали имеют четыре формы и различную ориентацию в пространстве. Форму орбитали, или, иначе, траекторию движения электрона, определяет орбитальное квантовое число l .

Прошу заметить орбитали и электроны находятся и передвигаются в 3D пространстве

- s-орбиталь (шарообразная), $l = 0$;
- p-орбиталь (гантелеобразная или в форме восьмерки), $l = 1$;
- d-орбиталь (напоминает две скрещенные между собой p-орбитали), $l = 2$;
- f-орбиталь (орбиталь самой сложной формы, напоминает цветок), $l = 3$.

	s-орбиталь	p-орбиталь	d-орбиталь	f-орбиталь
Значение орбитального квантового числа (l)	0	1	2	3
Форма орбитали				

3.2 Энергетические уровни

Однако электроны могут перемещаться в атоме только в определенных ограниченных областях. Каждый электрон имеет свою энергию, и в зависимости от уровня этой энергии электроны располагаются на различном расстоянии от ядра, образуя электронные слои (энергетические уровни).

Энергетический уровень (ЭУ) — это совокупность электронов с близкой по значению энергией.

Энергетические уровни обозначаются номерами с 1 до 7, а определить количество уровней в атоме конкретного элемента можно по номеру периода, в котором он находится. Номер энергетического уровня также является главным квантовым числом — n .

Например, главное квантовое число для атома серы (S) равно 3, так как сера стоит в третьем периоде. Главное квантовое число всегда на единицу больше, чем орбитальное квантовое число: $n = l + 1$.

Каждый электронный слой делится на подуровни, которые образованы атомными орбиталями.

- Так, на первом энергетическом уровне могут располагаться только s-орбитали (s-подуровень)
- на втором — s- и p-орбитали (s- и p-подуровни),
- на третьем — s-, p- и d-орбитали (s-, p-, d-подуровни) и т. д.

Наибольшее число электронов, которое может вместить энергетический уровень, определяется по формуле:

$N = 2n^2$, где N — количество e^- , n — номер ЭУ (главное квантовое число).

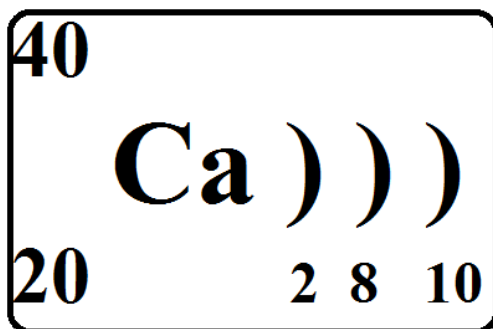
Таким образом, на первом электронном слое максимально возможно расположить 2 электрона, на втором — 8 электронов, на третьем — 18 электронов и т. д. Если на уровне находится наибольшее возможное число электронов, он называется **завершенным**.

Электроны, находящиеся на внешнем (то есть последнем, самом дальнем от ядра атома) энергетическом уровне, называются **валентными**

электронами, и именно они принимают участие в химических реакциях. Их число равно номеру группы, в которой расположен химический элемент.

Выходит, что абсолютно все атомы имеют конкретное число электронов, которые располагаются на энергетических уровнях и занимают отдельное положение на атомных орбиталях.

Рассмотрим все тот же атом кальция (Ca):



Кальций находится в IIА группе третьего периода, соответственно, атом кальция содержит 3 энергетических уровня.

Всего электронов в атоме кальция 20, из которых 2 — валентные (т. е. находятся на внешнем ЭУ).

На первом электронном слое всего одна атомная орбиталь (s), на втором — две, (s и p), на третьем — три (s, p, d).

Чтобы наглядно продемонстрировать, как именно располагаются в атоме электроны, необходимо составить **электронную конфигурацию**.

Электронная конфигурация — это формула расположения электронов по энергетическим уровням и подуровням.

4. Составление электронной конфигурации

Известно, что электроны описываются квантовыми числами, но помимо уже знакомых нам орбитального и главного квантовых чисел, есть еще две немаловажные характеристики, учитывающиеся при составлении конфигураций, — магнитное и спиновое квантовое число.

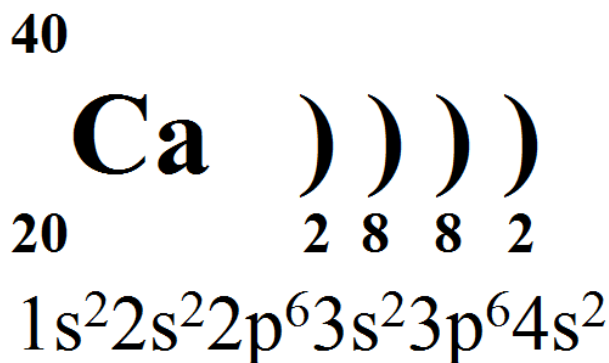
Магнитное квантовое число (m_l) обуславливает число орбиталей на каждом подуровне и описывает их взаимное расположение. Принимает значения от -1 до $+1$.

Спиновое квантовое число (m_s) определяет вектор вращения электрона вокруг собственной оси и принимает значения $+1/2$ и $-1/2$.

В конфигурации обязательно учитывается номер энергетического уровня, форма орбитали и количество электронов, на ней находящихся.

4.1 Электронная конфигурация

Электронная формула атома кальция (Ca) представляется в таком виде:



Обозначения в электронной конфигурации атома кальция (Ca):



Сначала записывается номер ЭУ, затем — форму орбитали (подуровень) и количество электронов, находящихся на этой конкретной орбитали.

При составлении электронно-графической конфигурации необходимо соблюдать определенные правила:

- Электроны стремятся заполнить ЭУ с минимумом энергии. Поэтому заполнение начинается от первого, самого ближайшего к ядру атома, и далее по порядку. Каждый последующий слой не заполняется, если предыдущий является незавершенным.
- Если атом находится в основном состоянии, то электроны располагаются на атомных орбиталях в порядке возрастания энергии. Это означает, что электроны сначала заполняют подуровни с меньшей энергией, по порядку: $s \rightarrow p \rightarrow d \rightarrow f$.
- Принцип запрета Паули. На атомной орбитали может находиться не более двух электронов.
- Правило Хунда. Заполнение орбиталей одного подуровня начинается с одиночных электронов, имеющих параллельные (одинаковые по знаку) спины. Только после того, как все орбитали будут заняты одиночными

электронами, происходит окончательное заполнение орбиталей парами электронов с разнонаправленными спинами.

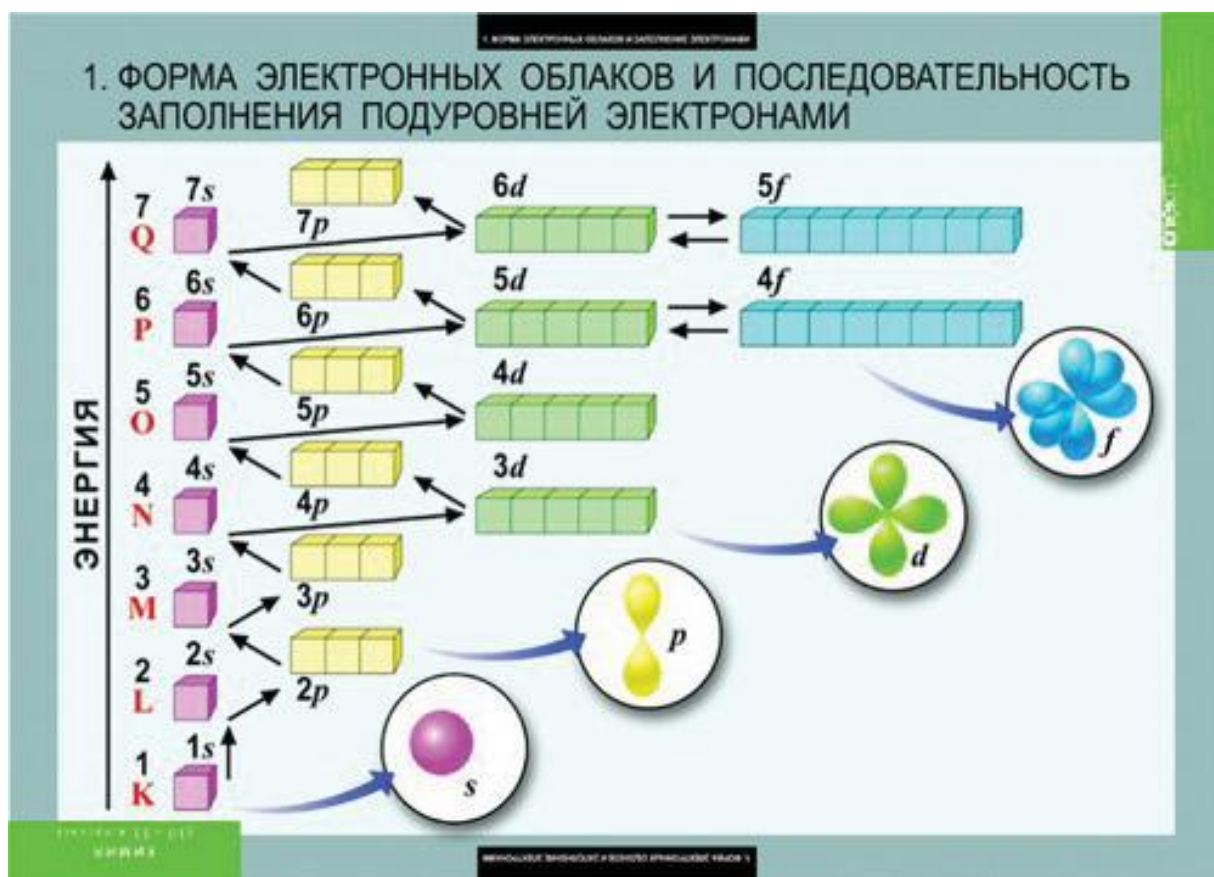
4.2 Графическая конфигурация

Для построения графической конфигурации необходимо учитывать, что:

- Каждая орбиталь имеет определенное количество квантовых ячеек: **s**-орбиталь — одну, **p**-орбиталь — три, **d**-орбиталь — пять, и **f**-орбиталь — семь.
- В каждой отдельной ячейке может быть не более двух электронов с различными спинами (то есть направленными в противоположные стороны).
- При этом на **s**-орбиталях максимально возможно присутствие двух электронов, на **p**-орбиталях — шести, на **d**-орбиталях — десяти, на **f**-орбиталях — четырнадцати.
- Если в квантовой ячейке находятся два электрона, то такие электроны называются спаренными. Если ячейку занимает только один электрон — он неспаренный.

Порядок заполнения электронами орбиталей:

$$\begin{aligned} 1s \rightarrow 2s \rightarrow 2p \rightarrow 3s \rightarrow 3p \rightarrow 4s \rightarrow \\ 3d \rightarrow 4p \rightarrow 5s \rightarrow 4d \rightarrow 5p \rightarrow 6s \rightarrow \\ 5d \rightarrow 4f \rightarrow 6p \rightarrow 7s \dots \end{aligned}$$



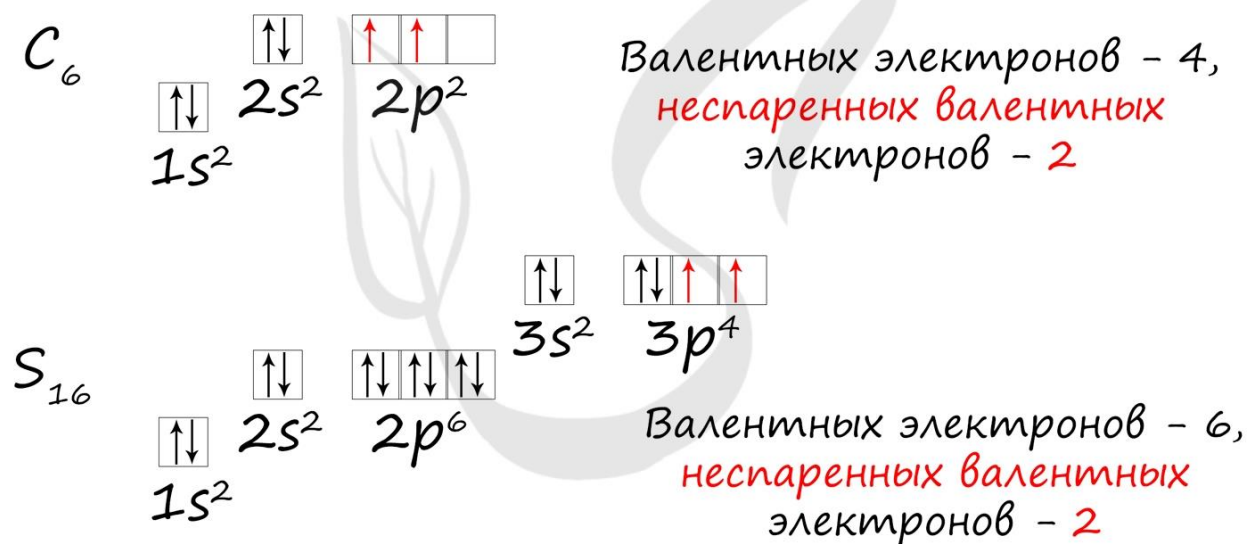
Следуя вышеуказанным рекомендациям и подсказкам начинаем составление графической конфигурации:

Нам нужно составить графическую конфигурацию атомов углерода и серы. Для начала определим их порядковый номер, который подскажет нам число их электронов.

У углерода - 6, у серы - 16.

Теперь мы располагаем указанное количество электронов на энергетических уровнях, руководствуясь правилами заполнения.

Электронные конфигурации C и S



Обращаю ваше особое внимание: на 2p-подуровне углерода мы расположили 2 электрона в разные ячейки, следуя одному из правил. А на 3p-подуровне у серы электронов оказалось много, поэтому сначала мы расположили 3 электрона по отдельным ячейкам, а оставшимся одним электроном дополнили первую ячейку.

Таким образом, электронные конфигурации наших элементов:

- Углерод - $1s^2 2s^2 2p^2$
- Сера - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$

4.3 Внешний уровень и валентные электроны

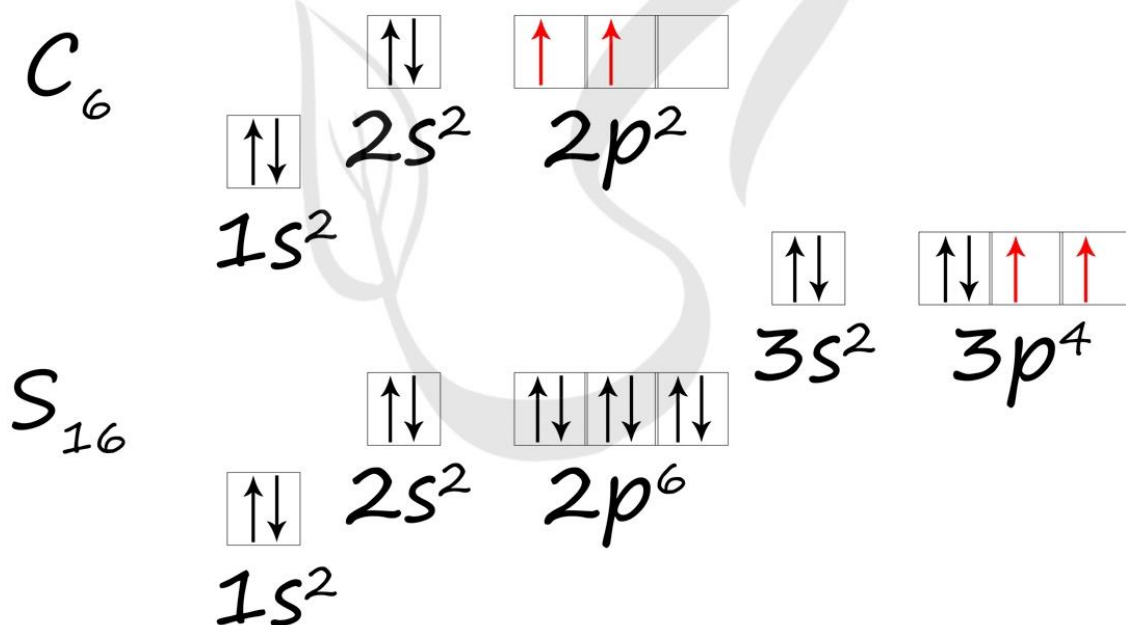
Количество электронов на внешнем (**валентном**) уровне - это число электронов на наивысшем энергетическом уровне, которого достигает элемент. Такие электроны называются **валентными**: они могут быть **спаренными** или **неспаренными**. Иногда для наглядного представления конфигурацию внешнего уровня записывают отдельно:

- Углерод - $2s^2 2p^2$ (4 валентных электрона)
- Сера - $3s^2 3p^4$ (6 валентных электронов)

Неспаренные валентные электроны способны к образованию химической связи. Их число соответствует количеству связей, которые

данный атом может образовать с другими атомами. Таким образом неспаренные валентные электроны тесно связаны с **валентностью** - способностью атомов образовывать определенное число химических связей.

Неспаренные валентные электроны C и S



- Углерод - $2s^2 2p^2$ (2 неспаренных валентных электрона)
- Сера - $3s^2 3p^4$ (2 неспаренных валентных электрона)

Задачи для самоконтроля:

Задача 1

Ответьте на вопросы, выбрав правильный вариант ответа из предложенных.

- | | |
|---|---|
| 1) Из чего состоит атом? | 4) Чему равен порядковый номер химического элемента? |
| а) из протонов и нейтронов | а) заряду ядра атома |
| б) из молекул | б) атомной массе |
| в) из электронов и нейтронов | в) количеству валентных электронов атома |
| г) из ядра и электронов | г) количеству нейтронов в ядре атома |
| 2) Что находится в атомном ядре? | 5) В атоме элемента электронами заполнены два энергетических уровня, а на третьем находится два электрона. Назовите этот элемент. |
| а) пустота | а) кислород |
| б) положительный заряд | б) сера |
| в) протоны и нейтроны | в) магний |
| г) электроны | г) алюминий |
| 3) сколько электронов в атоме кальция (Ca)? | |
| а) 2 б) 20 в) 22 г) бесконечно много | |

Задача 2

Выберите правильный вариант ответа на каждый вопрос.

1) Атомы какого химического элемента состоят из 5 протонов, 6 нейтронов и 5 электронов?

а) азот

б) бор

в) углерод

г) натрий

2) Какое расположение электронов по электронным слоям у атома

кремния? а) 2, 8, 4 б) 2, 6, 6
в) 1, 9, 4 г) 2, 7, 5

3) Какова электронная формула атома фосфора?

а) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$

б) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$

в) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

г) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$

Ответы к задачам

Давайте проверим ваши ответы.

Задача 1

1) г – из ядра и электронов

2) в – протоны и нейтроны

3) б – 20

4) а – заряду ядра атома

5) в – магний

Задача 2

1) б – бор

2) а – 2, 8, 4

3) г – $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$

Список рекомендуемой литературы

1. Габриелян О.С. Химия. 11-й класс. Базовый уровень: учебник / О.С.Габриелян, И.Г.Остроумов, С.А.Сладков. — 6-е изд., стер. — Москва: Просвещение, 2024. — 127, [1] с.: ил. — ISBN 978-5-09-112177-3.
- Текст: электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2157262>
2. Пузаков, С. А. Химия. 11 класс. Углублённый уровень: учебник / С.А.Пузаков, Н.В.Машнина, В.А.Попков. - 4-е изд. - Москва: Издательство "Просвещение", 2022. - 322 с. - ISBN 978-5-09-101664-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2090483>
3. Атомы и электроны, подготовка к ЕГЭ по Химии « Studarium» URL: <https://studarium.ru/article/144>
4. Строение атома-урок. Химия 11 класс. «ЯКласс» URL: <https://www.yaklass.ru/p/himija/11-klass/osnovnye-poniatiia-i-zakony-khimii-6931691/sovremennaia-model-stroeniia-atoma-6936621/re-8c092798-3aa9-429a-a503-65d32e4661fe?previousItemId=a84acca-a95cf-41ae-be72-6db6a7712a1a&fromDirection=next>
5. Строение атома: электронная схема, состав, модели, периодический закон. «Я знаю» URL: <https://www.kp.ru/edu/shkola/stroenie-atoma/>