

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: Хомуткова /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.

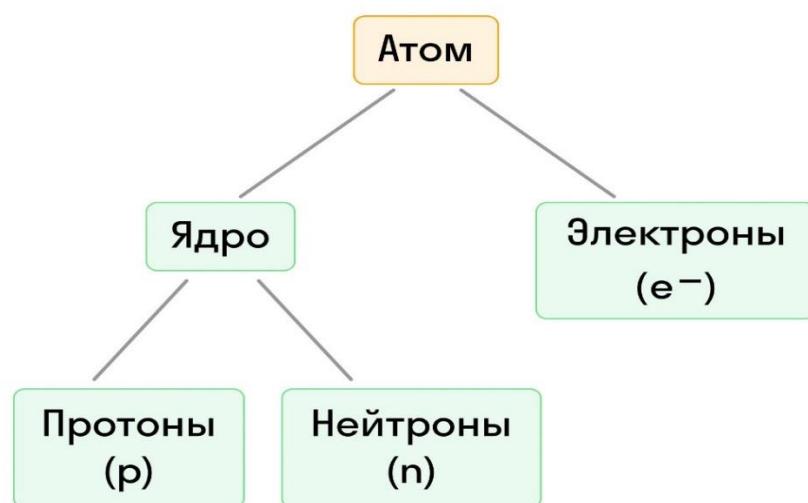
Незаряженный нейtron сразу же стал использоваться как новое средство для изучения структуры ядра, что привело к таким открытиям, как создание новых радиоактивных элементов путём нейтронного облучения (1934) и деление атомов урана нейтронами (1938). Открытие деления привело к созданию ядерной энергетики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

И протон, и нейtron 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 врачаются 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 неопределенность 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

Порядковый номер	101 [258]	Символ
Атомная масса	Md	Название

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 $Ar(Ca) = 40$, значит $n = 40 - 20 = 20$.

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

40	$p = 20$
Ca	$n = 20$
20	$e^- = 20$

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

	s-орбита́ль	p-орбита́ль	d-орбита́ль	f-орбита́ль
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).

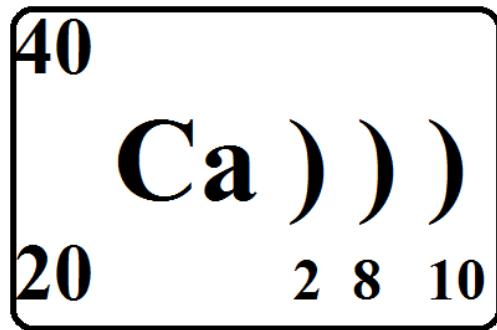
Таким образом, на первом электронном слое максимально возможно расположить 2 электрона, на втором — 8 электронов, на третьем — 18 электронов и т. д. Если на уровне находится наибольшее возможное число электронов, он называется завершенным.

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 орбиталах.

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

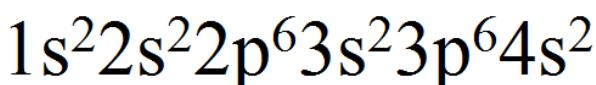
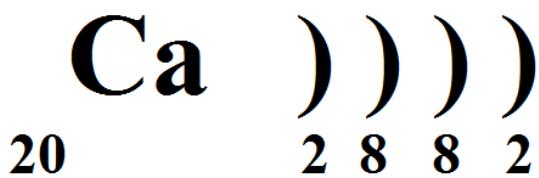
Спиновое квантовое число (ms) определяет вектор вращения электрона вокруг собственной оси и принимает значения $+1/2$ и $-1/2$.

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:

40



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

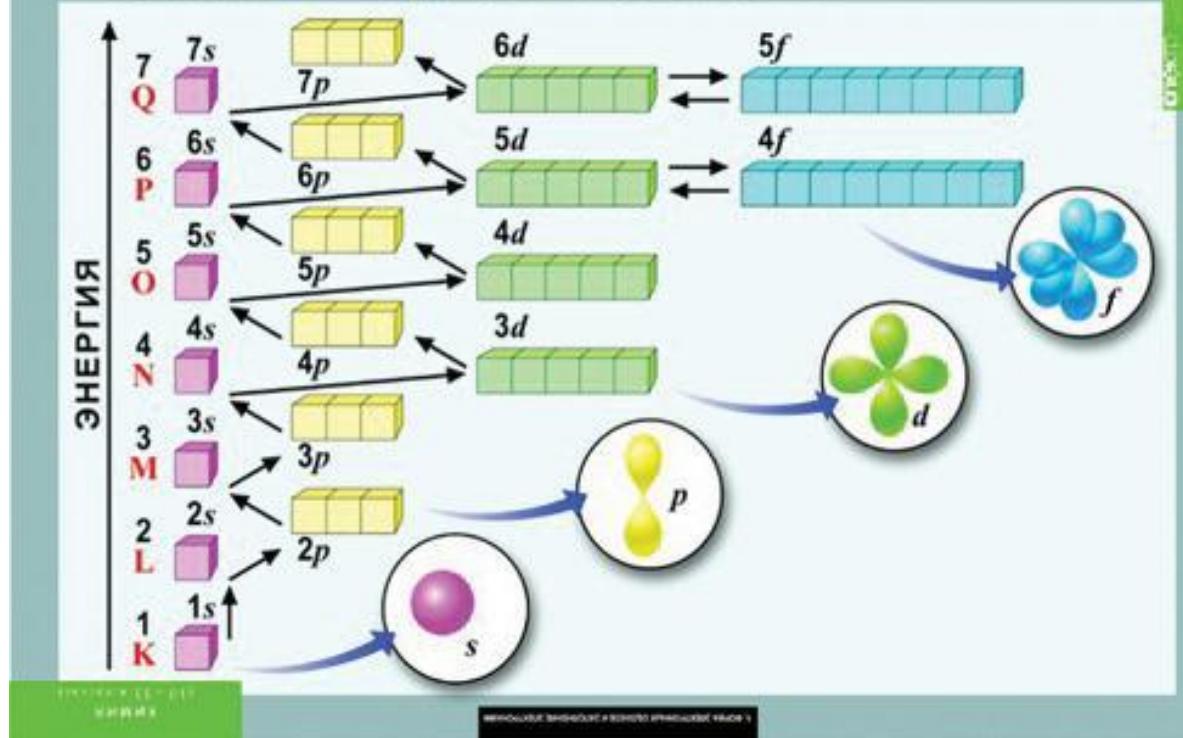
Для построения графической конфигурации необходимо учитывать, что:

- 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**-орбитали максимально возможно присутствие двух электронов, на **p**-орбитали — шести, на **d**-орбитали — десяти, на **f**-орбитали — 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:

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

1. ФОРМА ЭЛЕКТРОННЫХ ОБЛАКОВ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЗАПОЛНЕНИЯ ПОДУРОВНЕЙ ЭЛЕКТРОНАМИ



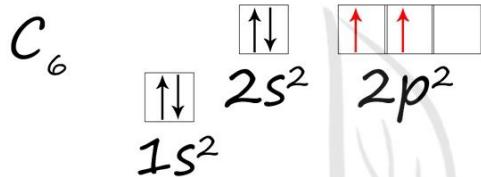
Следуя вышеуказанным рекомендациям и подсказкам начинаем составление графической конфигурации:

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

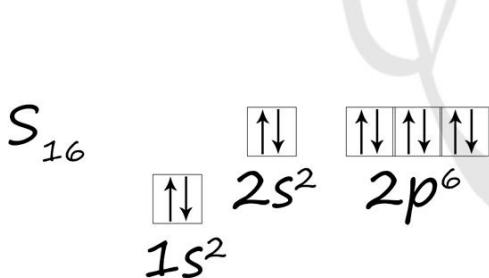
У углерода - 6, у серы - 16.

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

Электронные конфигурации С и S



Валентных электронов - 4,
неспаренных валентных
электронов - 2



Валентных электронов - 6,
неспаренных валентных
электронов - 2

Обращаю ваше особое внимание: на 2р-подуровне углерода мы расположили 2 электрона в разные ячейки, следуя одному из правил. А на 3р-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 - $1s^2 2s^2 2p^2$
- Серы - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$

4.3 Внешний уровень и валентные электроны

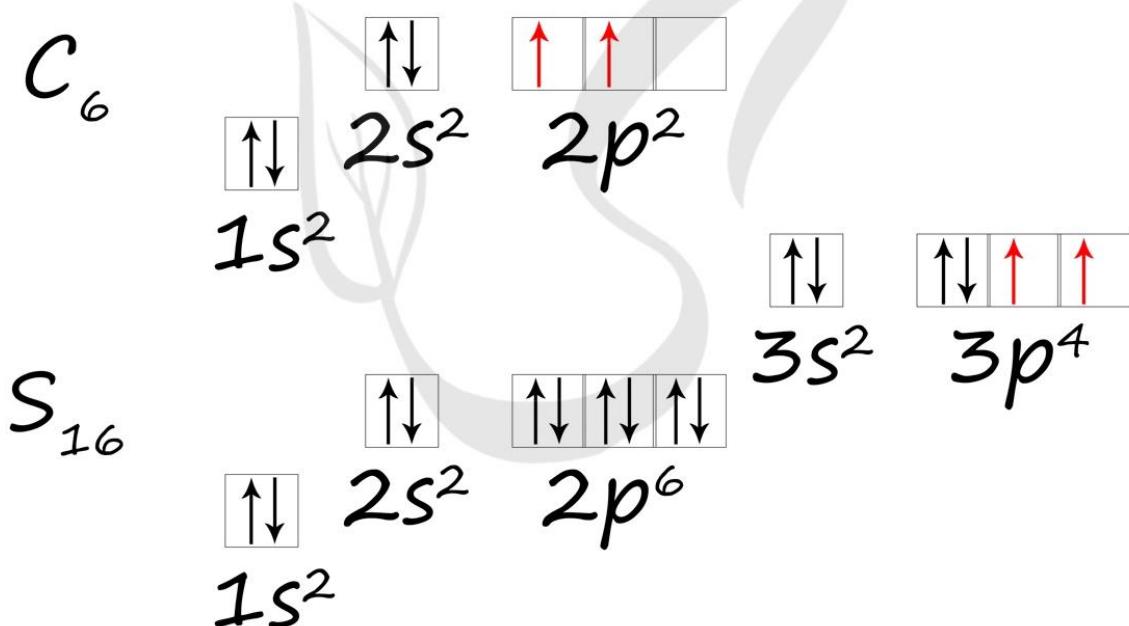
Количество электронов на внешнем (**валентном**) уровне - это число электронов на наивысшем энергетическом уровне, которого достигает элемент. Такие электроны называются **валентными**: они могут быть **спаренными** или **неспаренными**. Иногда для наглядного представления конфигурацию внешнего уровня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



- Углерод - $2s^22p^2$ (2 неспаренных валентных электрона)
- Сера - $3s^23p^4$ (2 неспаренных валентных электрона)

Задачи для самоконтроля:

Задача 1

Ответьте на вопросы, выбрав правильный вариант ответа из предложенных.

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

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) 1, 9, 4
в) 2, 7, 5
г) 2, 6, 6

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 – 1s² 2s² 2p⁶ 3s² 3p³

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-poniatiiia-i-zakony-khimii-6931691/sovremennaia-model-stroeniiia-atoma-6936621/re-8c092798-3aa9-429a-a503-65d32e4661fe?previousItemId=a84accaa-95cf-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/>