

## § 33 Квантовые числа электронов

Мы пришли к выводу, что электрон в атоме вовсе не вращается по круговым орбитам, как предполагали Резерфорд и Бор. Более того, у электрона вообще нет определенной траектории движения: можно лишь утверждать, что в некоторых областях в окрестностях ядра его местоположение наиболее вероятно. Каждая из таких областей называется *орбиталью* и встречается в одной из четырех разновидностей.

С атомом водорода все достаточно просто: у него всего один электрон, и находится он на сферической *s*-орбитали. Но как быть с атомами, у которых электронов много? Какие из орбиталей будут заполнены электронами, а какие нет? Сколько электронов может вместить одна орбиталь? Все ли орбитали одного вида, например *p*-орбитали, одинаковы по размеру? Чтобы ответить на эти и другие вопросы, будем описывать поведение любого электрона в любом атоме с помощью набора из *четырёх* чисел, называемых *квантовыми числами электронов*. Все они имеют свое название и обозначение:

$n$	$l$	$m_l$	$m_s$
«эн», главное	«эль», орбитальное	«эм с индексом эль», магнитное	«эм с индексом эс», спинное

**Главное** квантовое число  $n$  отвечает за *общую энергию электрона* и может принимать натуральные значения — от единицы до бесконечности:

$$n = 1, 2, 3, 4 \dots$$

Каждому значению числа  $n$  соответствует свой *энергетический уровень*, то есть некоторая область в атоме, где электроны обладают строго определенным значением энергии. Чем больше  $n$ , тем больше энергия электрона, и тем дальше от ядра удалена его орбиталь.

Попробуем провести аналогию между атомом и книжным шкафом: энергетические уровни выстраиваются друг над другом подобно полкам (рис. 5-9). Книжки стоят на первой полке, на второй, на третьей, но сложно представить себе, что какая-то из них «подвисла» между полками. Точно так же обстоит дело и с электронами: они могут находиться только на первом энергетическом уровне, или на втором, или на каком-либо другом, но не между ними. Самые внимательные наверняка вспомнили *первый постулат Бора*, где, в принципе, говорилось то же самое, только вместо термина «энергетический уровень» использовался термин «стационарная орбита».

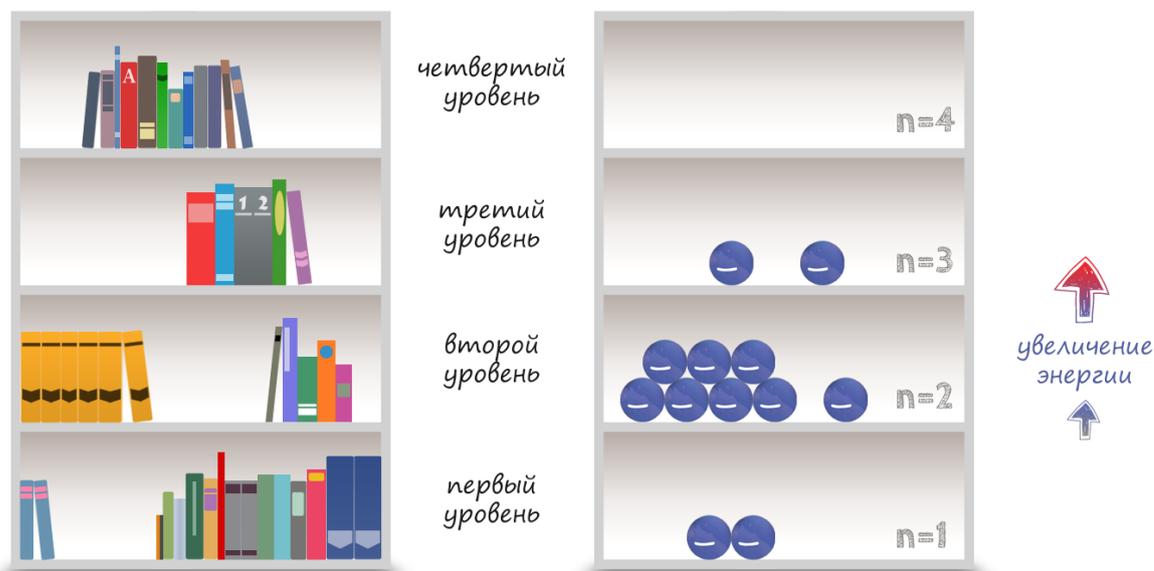
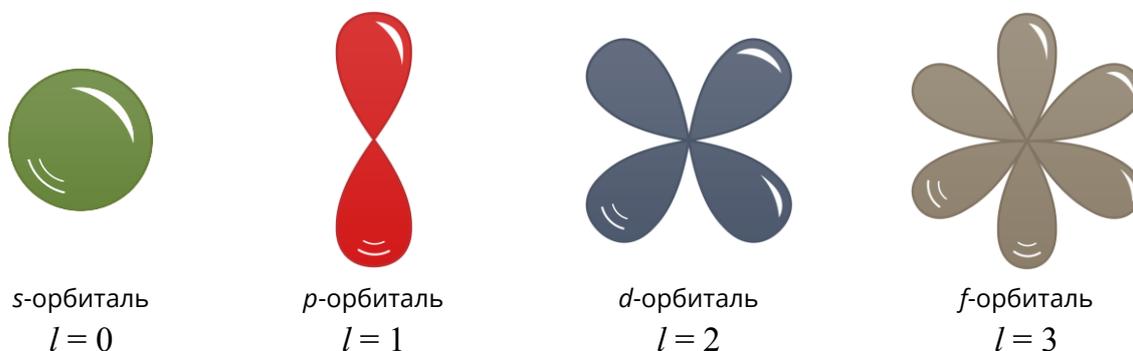


Рис. 5-9. Аналогия между книжными полками и энергетическими уровнями

Энергетические уровни нередко называют *электронными слоями* или *электронными оболочками*. Чтобы определить, сколько оболочек заполняется электронами у того или иного элемента, достаточно посмотреть на *номер периода* в таблице Менделеева. У водорода и гелия — всего одна оболочка, у лития электроны появляются уже на втором уровне, а у магния, например, внешний электронный слой — третий. Именно схема магния ( $12 e^-$ ) приведена на рис. 5-9 справа.

**Орбитальное** квантовое число  $l$  отвечает за *форму орбитали*. Для известных нам четырех орбиталей оно равно 0, 1, 2 и 3 соответственно:



На самом деле число  $l$  принимает целые значения от нуля до  $(n-1)$ :

$$l = 0, 1, 2 \dots (n-1)$$

Действительно, если  $n = 1$ , то  $l$  может быть равно только нулю. Это означает, что на первом энергетическом уровне имеются только сферические  $s$ -орбитали. Если  $n = 2$ , то  $l$  может принимать уже два значения — 0 и 1, то есть на втором уровне мы встретим как  $s$ -, так и  $p$ -орбитали. Начиная с третьего уровня появятся  $d$ -орбитали, и только с четвертого —  $f$ -орбитали.

Таким образом, второй и более старшие энергетические уровни делятся на *подуровни*. Каждый подуровень формируется из однотипных орбиталей: сначала идут сферы, затем «гантели», затем «бабочки» и т. д.

Третье квантовое число — **магнитное**. Оно обозначается  $m_l$  и отвечает за *ориентацию орбитали в пространстве*. Магнитное число принимает целые значения от  $-l$  до  $+l$ . Количество этих значений совпадает с количеством возможных ориентаций орбитали.

Если  $l = 0$ , то перед нами  $s$ -орбиталь. В этом случае  $m_l$  принимает только одно значение — нулевое. Значит, сферическая  $s$ -орбиталь имеет в пространстве лишь одну ориентацию (рис. 5-10). Это очень легко представить: возьмем мяч и повертим его в руках. Ничего не поменяется, ведь сфера — абсолютно симметричная объемная фигура!

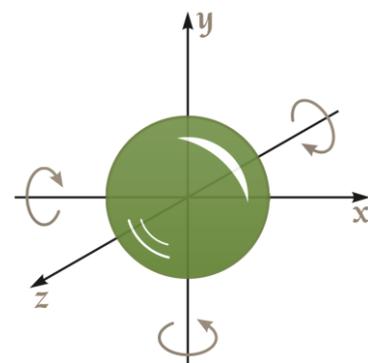


Рис. 5-10. Единственная ориентация  $s$ -орбитали

Если  $l = 1$ , мы имеем дело с  $p$ -орбиталью. Число  $m_l$  может принимать уже три значения:  $-1$ ,  $0$  и  $+1$ . Следовательно, гантелевидная  $p$ -орбиталь способна ориентироваться в пространстве тремя способами (рис. 5-11):

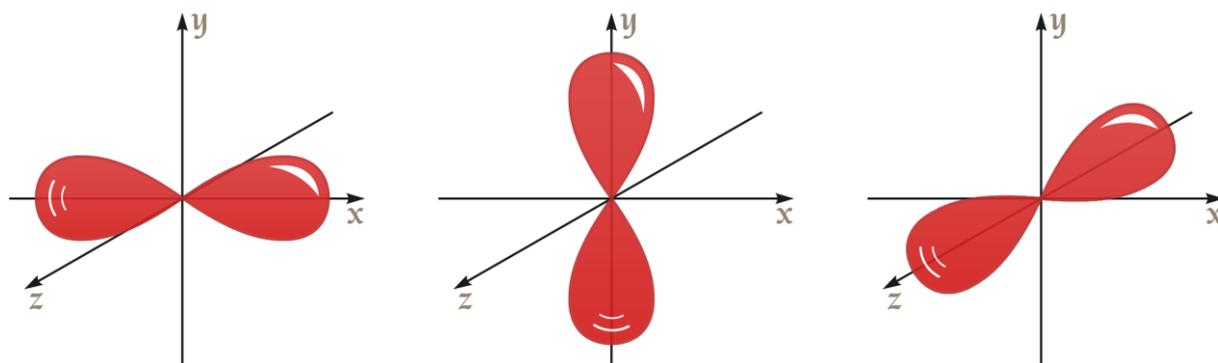
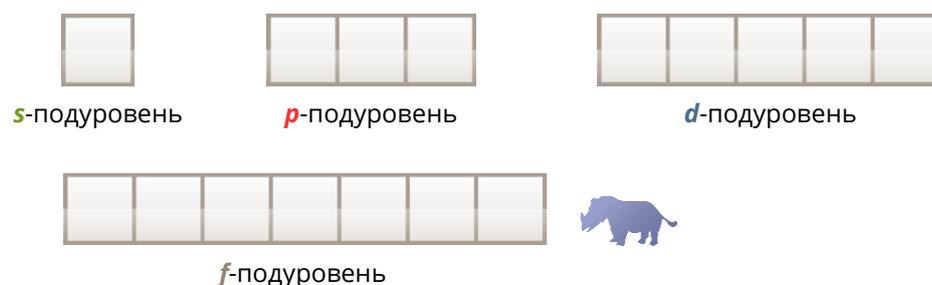


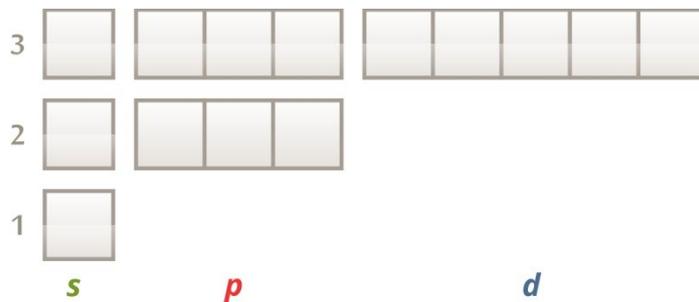
Рис. 5-11. Три возможных ориентации  $p$ -орбитали в пространстве: по каждой из осей координат

Аналогично получим, что  $d$ -орбиталь ( $l = 2$ ) имеет уже пять положений в пространстве, а  $f$ -орбиталь ( $l = 3$ ) — целых семь.

Заметим, что каждый следующий энергетический подуровень содержит на две орбитали больше, чем предыдущий.  $s$ -Орбитали встречаются только поодиночке,  $p$ -орбитали группируются по три,  $d$ -орбитали — по пять, а  $f$ -орбитали — по семь. Как это и принято в квантовой механике, договоримся схематично изображать орбитали в виде небольших клеток. Тогда энергетические подуровни будут выглядеть так:



Из этих схем, похожих на детали конструктора, легко собрать «каркас» атома любого элемента. Например, для элементов третьего периода он такой:

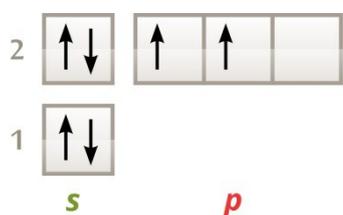


Последнее, четвертое квантовое число — **спиновое**,  $m_s$ . Его название происходит от английского *spin*, что в переводе означает *вращаться, крутиться*. Дело в том, что электрон, помимо движения в окрестностях ядра, совершает еще и так называемое *собственное движение*, подобно тому, как Земля вращается не только вокруг Солнца, но и вокруг своей оси. Раньше, когда квантовая механика только зарождалась, считали, что и электрон вращается вокруг своей оси. Впоследствии выяснилось, что движение это несколько сложнее, но для простоты его и по сей день условно называют «вращением».

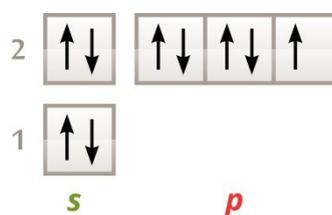
Спиновое число  $m_s$  отвечает за направление этого «вращения»: по часовой стрелке, или против. Поэтому может принимать всего два значения:  $+1/2$  и  $-1/2$ . В клетках, символизирующих орбитали, электроны с разными спиновыми числами обозначаются стрелками, направленными в разные стороны — вверх и вниз:



Электроны в виде стрелок, расставленные по энергетическим уровням, представляют собой графическую схему *электронной конфигурации* атома. Мы научимся составлять такие схемы самостоятельно в следующем параграфе, а в завершении этого давайте посмотрим в качестве примера на электронные конфигурации двух элементов второго периода — углерода и фтора:



углерод, 6 электронов



фтор, 9 электронов

## Попробуйте сами ;-)

1. Определите, сколько электронных оболочек заполняется электронами в следующих элементах: N, Fe, Al, Sr, P.
2. Изобразите графическую схему электронной конфигурации *неона* — последнего элемента второго периода. Сколько орбиталей в нем занято электронами?