

Также, так как электрон движется вокруг ядра, то создается ток, а значит и магнитное поле. Следовательно, атом обладает магнитным моментом $P_m = \frac{qvr}{2}$

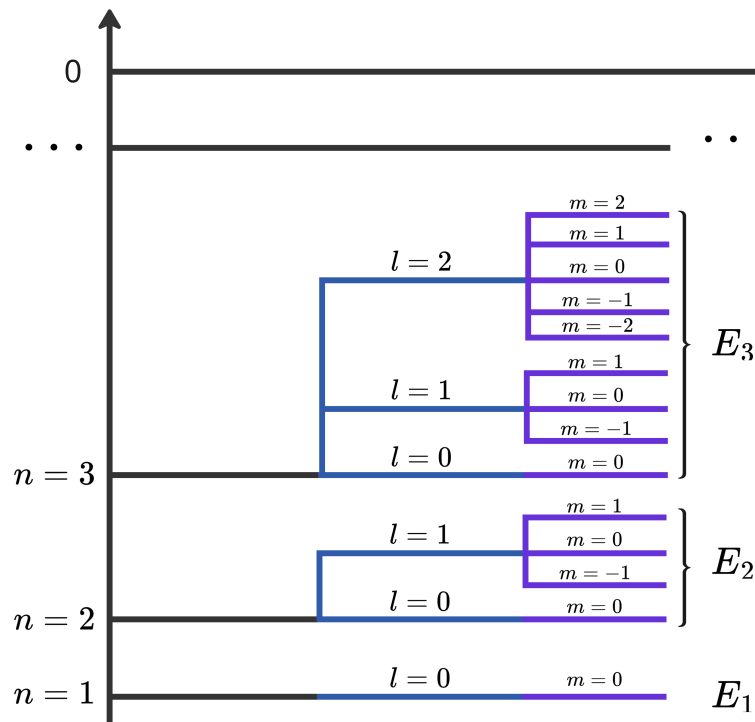
Тогда появляется такое соотношение $\vec{P}_m = \frac{q}{2m} \vec{L}$. Получаем, что $P_m = \frac{q\hbar}{2m} \sqrt{l(l+1)}$. Для электрона

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9.23 \cdot 10^{-24} - \text{магнетон Бора}$$

Тогда, если $L_z = m\hbar$, то $P_{mz} = m\mu_B$

Физический смысл магнитного квантового числа проявляется только в том случае, если атом находится в магнитном поле

Существование орбитального и магнитного квантовых чисел дает еще большее разделение энергетических уровней:



В 1921 году были проведены опыты Штерна и Герлаха

В ходе опытов было показано, что пучок атомов серебра, пройденный через неоднородное магнитное поле, на экране проявляются в виде двух симметричных пятен. Дело в том, что у атома есть собственный магнитный момент, который влиял на сторону попадания: $\vec{F} = p_{mz} \frac{d\vec{B}}{dz}$. Поэтому для частицы вводят спин – характеристику, описывающую собственный момент количества движения частицы, не связанный с её движением в пространстве. Спин принимает квантованные значения и может ориентироваться в магнитном поле лишь определённым образом

У электрона спин может быть равным $\frac{1}{2}$ или $-\frac{1}{2}$

Частицы, у которых спин полуцелый $\left(\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots\right)$, называют фермионами, а те, у которых спин целый $(0, 1, 2, \dots)$, – бозонами

Собственный механический момент импульса электрона равен $L_s = \hbar\sqrt{s(s+1)} = \frac{\sqrt{3}}{2}\hbar$, а собственный магнитный момент $p_{ms} = \sqrt{3}\mu_B$

В одной молекуле соединяются только атомы с электронами, имеющие разные спины. Это связано с тем, что два электрона, находящиеся в одной атомной орбитали, не могут иметь одинаковые квантовые числа – такая закономерность называется запретом Паули

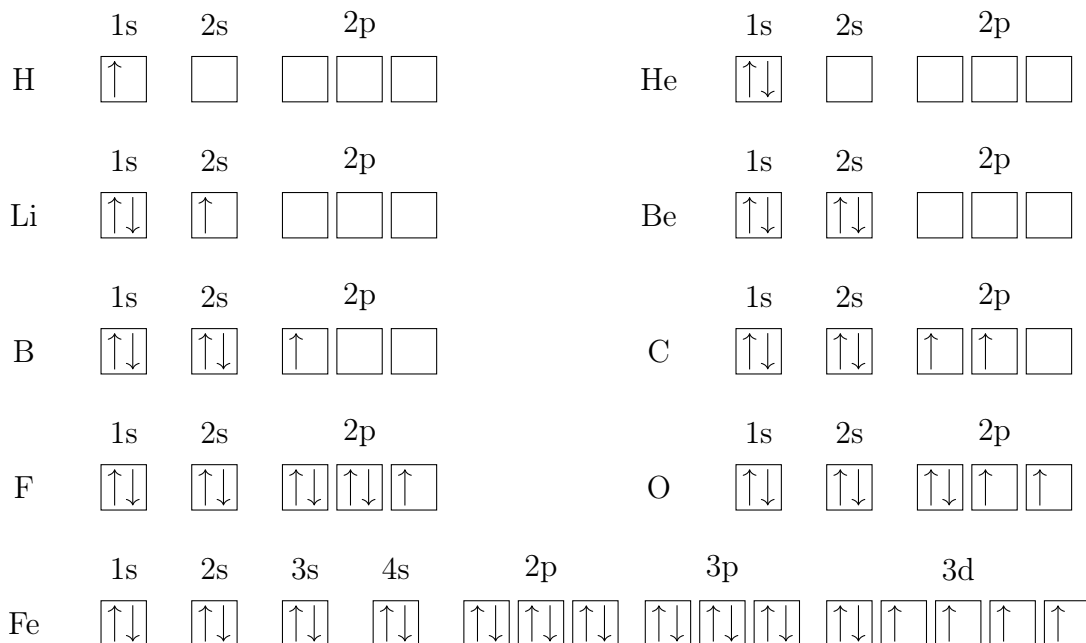
Внешнее магнитное поле выделяет направленность в пространстве, и спин электрона может иметь только две проекции на направление поля

Это означает, что для каждого набора квантовых чисел n , l и m на данной орбитали могут находиться не более двух электронов, причём с противоположными спинами

Поэтому инертные газы (He, Ne, Ar и др.) имеют полностью заполненные электронные оболочки: на каждой орбитали сидит по два электрона с противоположными спинами

Такие состояния энергетически устойчивы, одиноких электронов нет, и атом не может образовывать химическую связь, поскольку ему нечем обмениваться – нет электронов, которые могли бы вступить во взаимодействие

В химии спин электрона в конкретной оболочке обозначают стрелкой, например:



Здесь у гелия 2 электрона на первой s-орбитали, поэтому электронная конфигурация записывается как $1s^2$. Для железа электронная конфигурация записывается как $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$

Полный момент электрона складывается из орбитального момента \vec{L} и спинового момента \vec{S} , и называется полным моментом $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$. Его величина равна

$$J = \sqrt{j(j+1)}\hbar, \quad j = |l-s|, \dots, l+s.$$

Когда внутренняя оболочка не заполнена, а заполняется внешняя, электроны имеют несбалансированные спины и орбитальные моменты. Это приводит к образованию так называемых магнитных моментов, из которых складываются макроскопические магнитные свойства вещества. Именно такие элементы, как железо, кобальт и никель, становятся сильными магнитами

Число квантово-доступных состояний на одном энергетическом уровне определяется формулой $2n^2$, где n — главное квантовое число. Это учитывает все возможные значения l , m и спин $s = \frac{1}{2}$ для электрона

Энергетические уровни в атоме могут расщепляться из-за взаимодействий спина и орбитального момента (спин-орбитальное взаимодействие) или из-за внешнего магнитного поля, как в опыте Зеемана. Зееман помещал пламя, в котором были распылены натриевые соли, между полюсами очень сильного магнита. Затем он наблюдал спектр излучения через спектроскоп. Ожидалось, что спектр не изменится — ведь классическая физика тогда не предсказывала влияния магнетизма на частоты света

Но Зееман заметил, что спектральные линии начали расширяться, а при усилении поля линия раздробилась на несколько компонент. Это стало первым прямым доказательством того, что атомы имеют магнитный момент, а энергетические уровни расщепляются в магнитном поле

Некоторые переходы между энергетическими уровнями запрещены законом квантовой механики. Например:

- Переходы, не удовлетворяющие правилу отбора $\Delta l = \pm 1$ (для орбитального квантового числа)
- Переходы, не удовлетворяющие изменению проекции магнитного числа $\Delta m = 0, \pm 1$
- Переходы, при которых спин электрона меняется (спин-неразрешённые переходы)

Такие запреты определяют спектральные линии атомов, их интенсивность и возможность использования в лазерах, спектроскопии и квантовой электронике