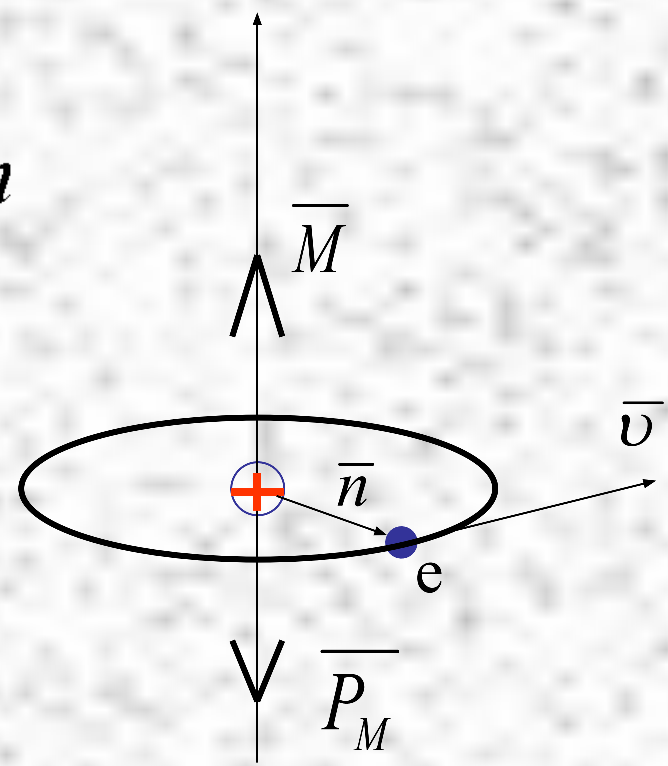
Собственный механический и магнитный момент электрона. Спин.

Собственный механический и магнитный моменты электрона. Спин.

Электрон, вращаясь по своей орбите, обладает орбитальным механическим моментом, с которым гиромагнитным соотношением связан магнитный момент.

$$\vec{M} - \textit{механический момент}$$

$$M = m\upsilon r$$



- За период T через любое сечение орбиты пройдёт заряд e , следовательно, сила тока равна:

$$i = \frac{e}{T} = \frac{e\upsilon}{2\pi r}$$

- Магнитный момент электрона:

$$p_m = iS = \frac{e\upsilon}{2\pi r}\pi r^2 = \frac{e\upsilon r}{2},$$

- Отношение магнитного момента к механическому:

$$\frac{p_m}{M} = \frac{e}{2m}.$$

$$\vec{p}_m = -\frac{e}{2m}\vec{M}$$

-называется гиромагнитным соотношением орбитальных моментов.

Экспериментальное определение гиромагнитного соотношения для атомов привело к результату, в два раза отличающемуся от записанного выше:

$$\vec{p}_m = -\frac{e}{m}\vec{M}$$

Этот факт подтверждал предположение, что электрон помимо орбитальных моментов, обладает и собственными моментами.

Основным экспериментом, подтверждающим наличие собственного магнитного момента у электрона, являются опыты Штерна и Герлаха.

Собственный механический и магнитный моменты электрона. Спин.

В опыте пучок атомов водорода, находящихся в s $(\ell = 0)$ состоянии, пропускался через неоднородное магнитное поле. Для s состояния магнитное квантовое число $m = 0$. Вместо одного пятна после прохождения пучком поля, было обнаружено два пятна.

Действие магнитного поля на пучок в s состоянии можно было объяснить основываясь на том, что у атома есть магнитный момент. Так как орбитальный момент в s состоянии равен нулю, то пришлось предположить, что электрон атома водорода обладает собственным магнитным моментом, и в зависимости от проекций этого момента на направление поля, получается два пятна. Рассчитанное значение магнитного момента получило название магнетона Бора.

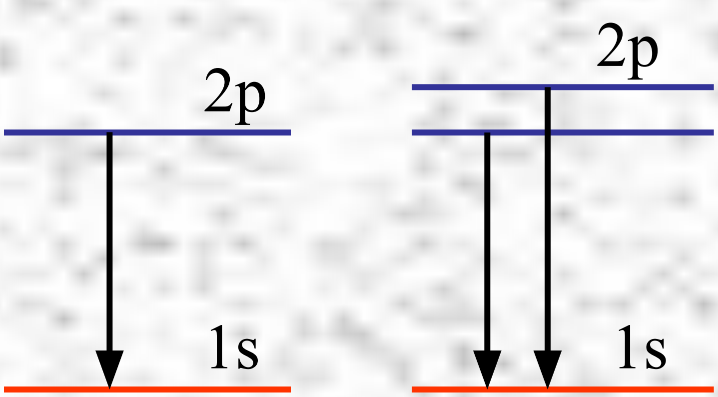
$$\mu = \pm\mu_Б, \qquad \mu_Б = \frac{e\hbar}{2m}.$$

С собственным магнитным моментом, в соответствии с гиромагнитным соотношением, связан и собственный механический момент.

Экспериментальным подтверждением существования собственного механического момента электрона явились также спектры атома (Na) натрия, в которых вместо одной линии, соответствующей переходу ($2p \to 1s$), обнаружилось две линии.

Эти две линии получили название – дуплета натрия.

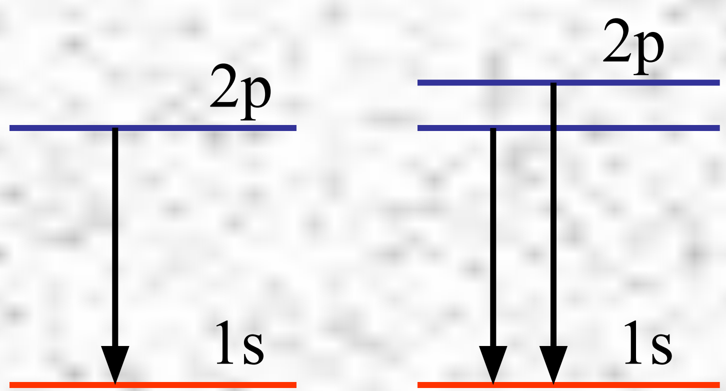
Объяснить существование двух линий можно было только предполагая наличие собственного магнитного и механического моментов электрона.



Для состояния p квантовые числа имеют значения:

$$l = 1, \quad m = 0, \pm 1.$$

На лицо вырождение по магнитному числу (m), которое снимается в магнитном поле (три отдельные линии), однако дуплет натрия наблюдается и в отсутствие магнитного поля (две линии), кроме того вместо трёх линий наблюдалось только две.



Наличие двух линий можно было объяснить следующим образом:

Круговые токи (электроны движутся по орбите) создают слабое магнитное поле, которое оказывает воздействие на собственный магнитный момент электрона, и в зависимости от ориентации этого магнитного момента по отношению к созданному магнитному полю появляются две линии. Собственный магнитный момент связан с собственным механическим моментом. Собственный механический момент электрона получил название СПИН.

Условия квантования:

$$M_s^{\,2} = \hbar^2 s(s+1).$$

$$M_{sz} = \hbar m_s \ (m_s = \pm s).$$

Квантовое число m_s , названное спиновым числом, как было показано ранее, не может принимать целочисленные значения. При этом должно было бы наблюдаться в спектре три линии, а наблюдаются две.

Было показано, что спиновое число может принимать два значения (в соответствии с магнетоном Бора):

$$m_S = \pm\frac{1}{2}$$

Следовательно квантовое число $s = {}^{1}\!/_{2}$.

Каждое состояние характеризуется суммарным значением момента импульса. Полный момент импульса обозначают – M_j

Запишем условие квантования полного момента импульса:

$$M_j^{\,2} = \hbar^2 j(j+1);$$

$$j = l + s, |l - s|$$

$$M_{j_z} = \hbar m_j$$

$$m_J = -j, -j+1, \ldots, j$$

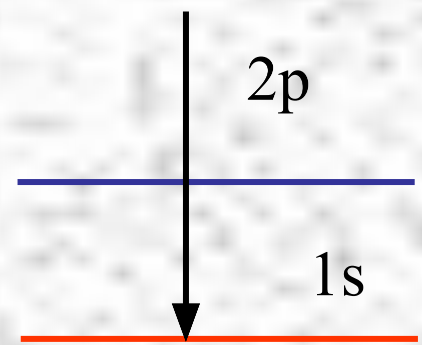
Найдем значения квантового числа j, определяющего полный механический момент, для двух значений числа n:

$$n = 1; \ell = 0; m = 0.$$

$$j = \ell + s, |\ell - s| = 1/2.$$

;

$$j = 1/2.$$

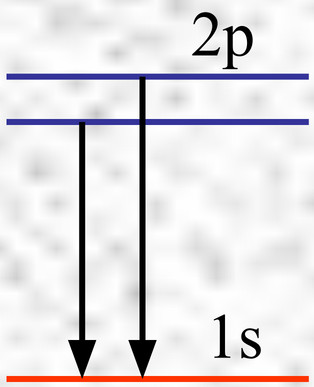


$$\begin{pmatrix} n = 2; \ell = 0; m = 0; & \\ & \ell = 1; m = -1;0;1. \end{pmatrix}$$

$$n = 2; \ell = 0; j = \tfrac{1}{2}; \;\; (\ell + s = 0 + \tfrac{1}{2}).$$

$$n = 2; \ell = 1; j = \tfrac{3}{2}; \;\; (j = \ell + s = 1 + \tfrac{1}{2})$$

$$n = 2; \ell = 1; j = \tfrac{1}{2}; \;\; (j = |\ell - s| = |1 - \tfrac{1}{2}|)$$



Состояние электрона в атоме теперь характеризуется не тройкой квантовых чисел $(n; \ell; m;)$, а четвёркой $(n; \ell; m; m_S;)$. Следовательно, вырождение энергетического уровня становиться равным $(2n^2)$.

Принцип Паули.

В квантовом состоянии, заданном четвёркой квантовых чисел $(n; \ell; m; m_S;)$ может находиться один единственный электрон. В случае задания состояния тройкой квантовых чисел $(n; \ell; m;)$, в этом состоянии могут находиться два электрона, отличающиеся значением четвёртого квантового числа. В этом случае говорят, что два электрона имеют противоположно направленные спины.