Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины

**Физический факультет,
кафедра теоретической физики**

Физика атомного ядра и элементарных частиц:

Спин ядра. Правило сложения моментов количества движения .

Составитель:Андреев Виктор Васильевич,
канд.физ-мат. наук, доцент

Спин ядра. Правило сложения моментов количества движения .

Большинство элементарных частиц - протон, нейтрон и др., а также атомные ядра обладают характеристикой называемую спином.

СПИН - **собственный** момент количества движения элементарной частицы, имеющий квантовую природу и не связанный с перемещением частицы как целого.

На примере орбитального момента количества движения рассмотрим, как вводится момент количества движения в квантовой механике.
В обычной механике Ньютона имеем, что

$$\vec{L} = \left[\vec{r} \times \vec{p} \right]$$

В квантовой механике, в отличие от классической
L *становится оператором, при этом может принимать лишь определенные значения.*

Для характеристики свойств частиц, связанных моментом количества движения, из оператора $L=\{L_x, L_y, L_z\}$ *строят два оператора:*

$$L^2 = L_x^2 + L_y^2 + L_z^2 \qquad \hat{L}_z$$

Квантовые числа, которые соответствуют этим операторам, называются моментом количества движения l *и его проекцией* m. *Волновая функция* $\Psi(r,t) \equiv \Psi_{l,m}(r,t)$

описывающая состояние этой системы, является собственной :

$$\begin{cases} \hat{L}^2 \cdot \Psi_{l,m} = l(l+1) \cdot \hbar\, \Psi_{l,m} \\ \hat{L}_z \cdot \Psi_{l,m} = \hbar \cdot m\, \Psi_{l,m} \end{cases}, \quad l = 0,1,2,\ldots \; -l, -l+1, \ldots < m < \ldots l-1, l$$

Квантовые значения l и m должны быть целыми, причем при заданном l, величина m может пробегать (2l+1) – значение.

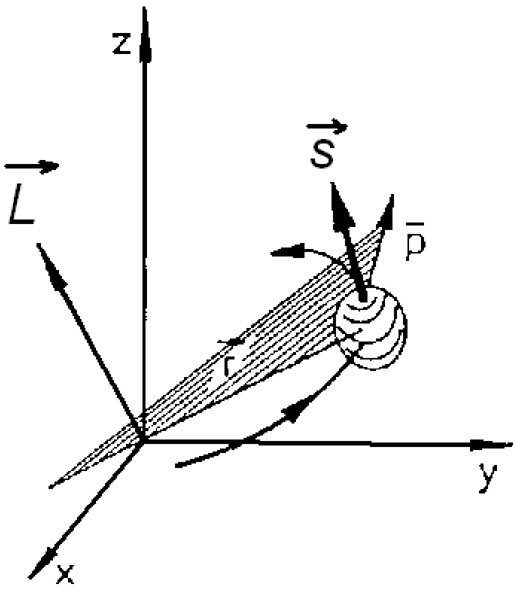
Если значениям l-целое число, то $l \Rightarrow 2l+1$ *– нечетное. Исследование спектров щелочных металлов в магнитном поле показали, что* $2l+1=2$ $\Rightarrow$ $l=1/2$.

Как же это объяснить ?

Предположить, что электрон обладает собственным моментом количества движения s, которое может принимать полуцелые значения, в отличие от орбитального момента т.е. s=1/2. Тогда полный момент количества движения J будет геометрической суммой l и s

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{s}$$

Аналогично определению для L *можно записать для полного момента к.движ.*

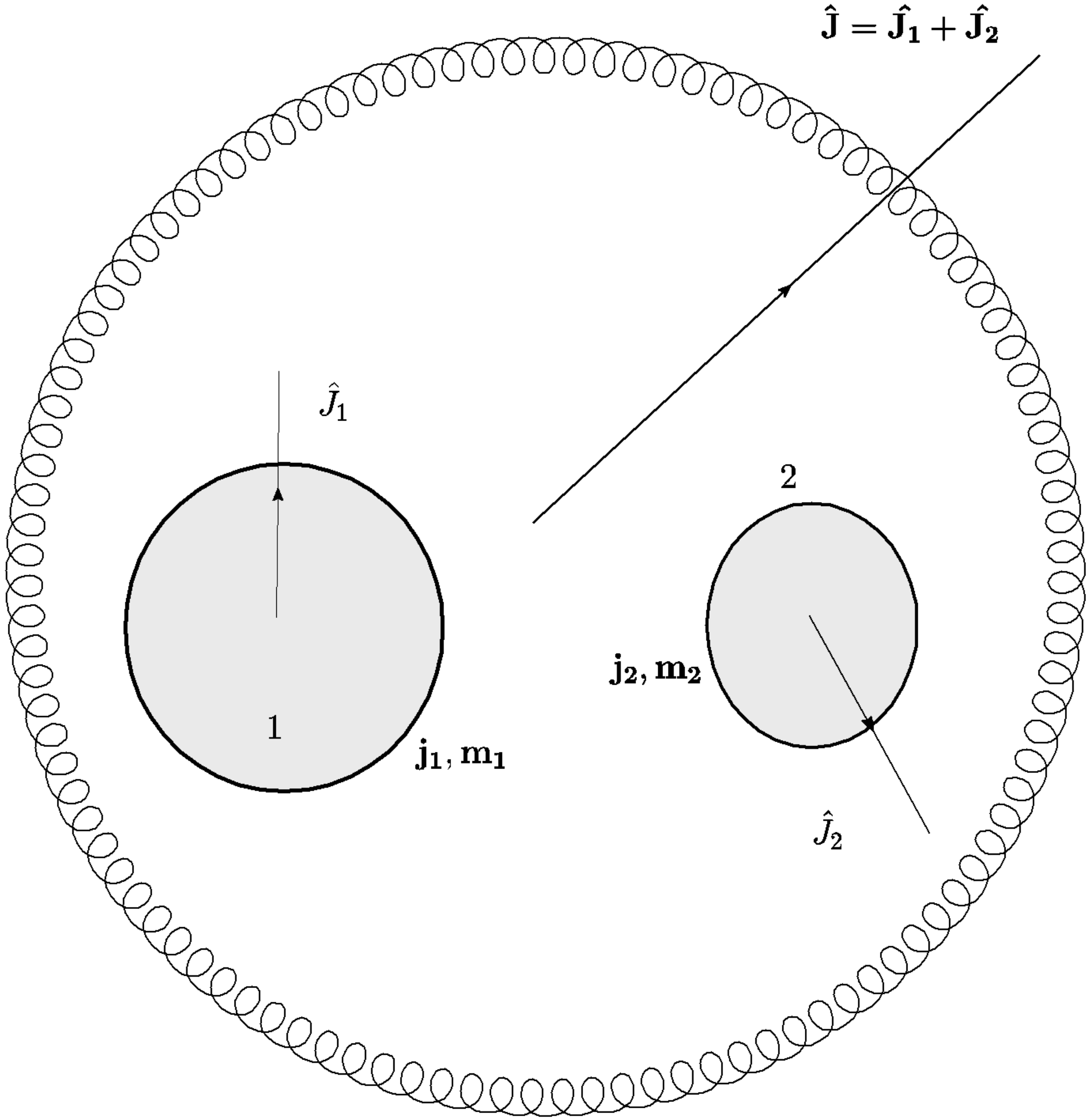


$$\begin{cases} J^2\Psi_{j,m} = J(J+1)\cdot\hbar^2\cdot\Psi_{j,m} \\ J_z\Psi_{j,m} = m_j\ \hbar\cdot\Psi_{j,m} \\ J = 0,\frac{1}{2},1,\frac{3}{2}....,\qquad -J < m_j < J \end{cases}$$

Экспериментально известно, что протон и нейтрон имеют спин ½, так же как и электрон.

Для определения спина J ядер необходимо знать, как найти квантовые числа системы частиц. Для этого используют правило сложения моментов.

Рассмотрим систему, состоящую из двух частиц с моментами j_1 и j_2.



$\mathbf{J} = |\mathbf{j_1} - \mathbf{j_2}|, |\mathbf{j_1} - \mathbf{j_2} + \mathbf{1}|, \ldots \mathbf{j_1} + \mathbf{j_2}$ $\qquad$ $\mathbf{m} = \mathbf{m_1} + \mathbf{m_2}$

Если полный угловой момент i-того нуклона $\vec{j}_i = \vec{l}_i + \vec{s}_i$

то собственный момент количества движения ядра (спин ядра) с массовым числом A *определяется оператором*

$$\vec{J}_{ядра} = \sum_{i-1}^{A}\left(\vec{l}_i + \vec{s}_i\right) = \sum_{i=1}^{A}\vec{j}_i$$

В отношении спинов различных ядер наблюдаются следующие закономерности: а) При четном A *спины всегда целые, а при нечетном* A *— всегда полуцелые.*

б) Спины всех четно-четных ядер в основных состояниях равны нулю. *Этот факт трактуется как указание на то, что в отмеченном уже нами явлении спаривания нуклонов участвуют два одинаковых нуклона с противоположно ориентированными моментами количества движения, так что суммарный момент пары оказывается равным нулю.*

в) Спины всех известных стабильных ядер не превышают 9/2, т. е. очень малы по сравнению с суммой абсолютных величин спинов и орбитальных моментов всех входящих в ядро частиц. Этот факт свидетельствует о том, что большинство нуклонов прочно связано в замкнутых оболочках, имеющих нулевой суммарный момент, и не участвует в создании спина ядра.

Если частица обладает векторными или тензорными характеристиками любой природы, то они все должны выражаться через вектор спина.

$\vec{A}$ *- любая физическая величина, характеризующая частицу, тогда она*

$\vec{A} \sim \vec{J}$ *т.е.* $\vec{A} = a\,\vec{J}$

a *- константа.*