

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ



ДОКЛАД ПО ОБЩЕЙ ФИЗИКЕ

Несохранение четности при слабых взаимодействиях. Опыт Ву.

выполнил студент Б04-852 группы ФЭФМ

Яромир Водзяновский

1 Пространственная инверсия. Р-четность.

Операция пространственной инверсии заключается в преобразовании координат частиц:

$$x, y, z \xrightarrow{\tilde{P}} -x, -y, -z$$

Преобразование проводится с помощью оператора четности \tilde{P} :

$$\tilde{P}\psi(x, y, z) = \psi(-x, -y, -z)$$

Повторная операция пространственной инверсии переводит волновую функцию саму в себя:

$$\tilde{P}^2\psi(x, y, z) = \lambda^2\psi(x, y, z) = \psi(x, y, z)$$

откуда $\lambda = \pm 1$.

- Если $\lambda = 1$, волновая функция четная: $\tilde{P}\psi(x, y, z) = \psi(x, y, z)$
- Если $\lambda = -1$, волновая функция не четная: $\tilde{P}\psi(x, y, z) = -\psi(x, y, z)$

Закон сохранения четности:

Если оператор четности коммутирует с оператором Гамильтона, то имеет место закон сохранения четности - четность системы не меняется. Если система была в четном состоянии, то она будет оставаться в этом состоянии, не переходя в нечетное. Аналогичная ситуация имеет место и для системы, находящейся в нечетном состоянии. В случае сильных и электромагнитных взаимодействий:

$$[\tilde{H}_c, \tilde{P}] = 0 \quad [\tilde{H}_{\text{эм}}, \tilde{P}] = 0$$

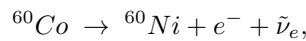
В слабом взаимодействии четность не сохраняется. В результате слабого взаимодействия система может переходить из состояния с одной четностью в состояние противоположной четности:

$$[\tilde{H}_{\text{слаб}}, \tilde{P}] \neq 0$$

2 Несохранение четности. Опыт Ву

Подозрения на то, что в слабых взаимодействиях не сохраняется пространственная четность возникли в связи с наблюдаемыми распадами K^+ -мезонов, которые распадались как на 2, так и на 3 π -мезона с нулевыми относительными орбитальными моментами. Из этого следовало, что четность K^+ -мезона в первом случае должна была быть положительной, а во втором отрицательной.

Впервые несохранение пространственной четности в слабых взаимодействиях было обнаружено в эксперименте Ву в 1957 г. В эксперименте использовался β^- -активный источник ^{60}Co , помещенный в магнитное поле. У ядра ^{60}Co величина спина $J = 5$ и, соответственно, большой магнитный момент, что позволяло получить достаточно большую степень поляризации ядер в магнитном поле. Источник ^{60}Co , помещался в магнитное поле кругового тока, под действием которого спины ядер выстраивались вдоль направления поля. Для того, чтобы тепловое движение не уничтожило поляризацию ^{60}Co охлаждался до низкой температуры $\sim 0.01^\circ \text{ K}$. Измерялось количество электронов β^- -распада:



испущенных по направлению магнитного поля (спинов ядер) и в противоположном направлении. Если бы пространственная четность сохранялась, что эквивалентно зеркальному отражению, одинаковое количество электронов должно было бы регистрироваться как по направлению магнитного поля, так и в противоположном направлении. Действительно, закон сохранения пространственной четности в сферических координатах для квадрата модуля волновой функции

$$|\psi(r, \theta, \phi)|^2 = |\psi(r, \pi - \theta, \phi)|^2$$

из чего следует, что вероятности найти частицу под углом θ и $(\pi - \theta)$ равны.

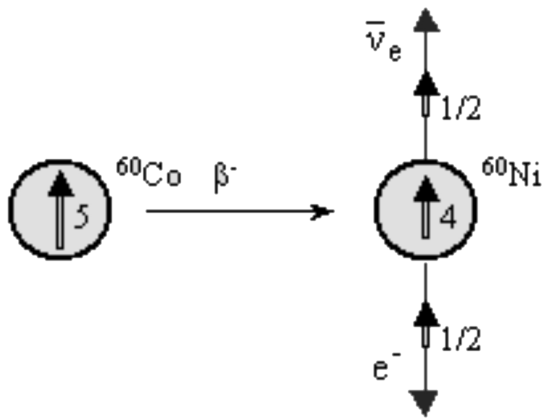
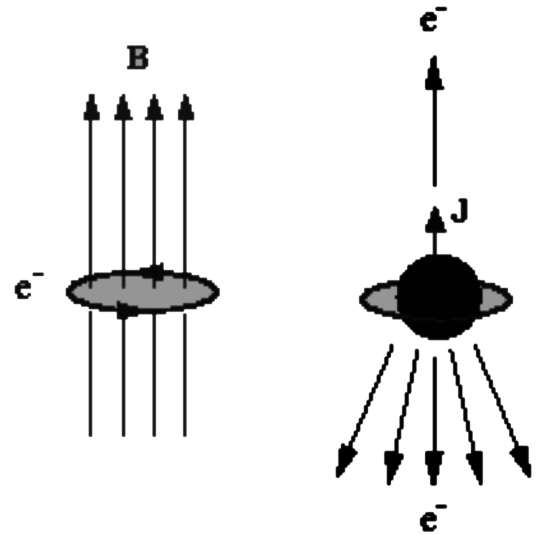
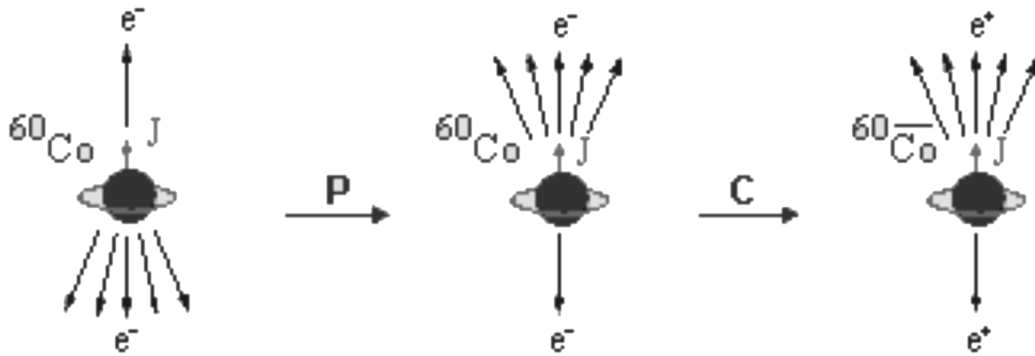


Рис. 1: Схема опыта Ву

Рис. 2: Ориентации спинов импульсов при β^- -распаде кобальта

Однако, оказалось рис.1, что электроны испускаются преимущественно в направлении противоположном направлению магнитного поля (спинов ядер), тем самым было доказано, что в слабых распадах четность не сохраняется.

Спин у антинейтрино всегда направлен по импульсу (рис. 2) (положительная или правая спиральность), у нейтрино против импульса (отрицательная или левая спиральность). При β -распаде сохраняется комбинированная CP-четность - последовательное применение пространственной и зарядовой инверсии (замене частиц на их античастицы (рис.3)).

Рис. 3: CP - преобразование распада ^{60}Co

\tilde{C} - оператор зарядового сопряжения

Частицу и античастицу отличают знаки электрического заряда Q , барионного числа B , лептонных чисел L_e, L_μ, L_τ , странности s , шарма c , красоты b , истинности t . Операция зарядового сопряжения переводит частицы в античастицы, т.е. меняет знаки зарядов, оставляя неизменными пространственные переменные x , импульс p и момент импульса J .

$$x, p, J, Q, B, L_e, L_\mu, L_\tau, s, c, b, t \xrightarrow{\tilde{C}} x, p, J, -Q, -B, -L_e, -L_\mu, -L_\tau, -s, -c, -b, -t$$