



# НЕЙТРИННЫЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ

Авторы: С. П. Михеев

НЕЙТРИННЫЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ, периодический во времени или в пространстве процесс полного или частичного перехода одного типа *нейтрино* в другой (или другие), который возможен при наличии у нейтрино массы и смешивания. Смешивание означает, что нейтрино с определёнными лептонными числами (лептонными ароматами), участвующие в *слабом взаимодействии*, не имеют определённых масс, а являются линейными комбинациями состояний с определёнными массами и описываются матрицей смешивания, которая для 3 типов нейтрино задаётся 3 углами смешивания и комплексной фазой, определяющей степень нарушения зарядовой чётности.

Впервые возможность Н. о. была рассмотрена Б. М. *Понтекорво* в 1957 по аналогии с осцилляциями мезонов

$K^0 \leftrightarrow \bar{K}^0$ . Понтекорво обсуждал возможность перехода между нейтрино и антинейтрино, поскольку тогда ещё не было известно, что существуют нейтрино 3 типов (ароматов): электронные

$\nu_e$ , мюонные

$\nu_\mu$  и тау-нейтрино

$\nu_\tau$ . В 1962 япон. физики Д. Маки, М. Накагава и С. Саката рассмотрели осцилляции нейтрино разных ароматов:

$\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu$ .

Из-за различия в массах волновые пакеты разных нейтрино имеют разные фазовые скорости и, следовательно, разность фаз между ними изменяется. Монотонный во времени рост разности фаз приводит к Н. о., т. е. в первоначально чистом пучке нейтрино, напр.

$\nu_e$ , появляется примесь нейтрино др. типа. В случае осцилляций нейтрино двух типов

вероятность обнаружить нейтрино нового типа на расстоянии  $x$  от точки рождения равна:

$$P_{\nu_e \leftrightarrow \nu_m} = \sin^2 2\theta \sin^2 \left( \frac{1,27 \Delta m^2 x}{\mathcal{E}_\nu} \right),$$

где

$\theta$  – угол смешивания,

$\Delta m^2 = m_1^2 - m_2^2$  – разность квадратов масс нейтрино – параметр, определяющий амплитуду и частоту осцилляций,

$\mathcal{E}_\nu$  – энергия нейтрино. Эффект Н. о. проявляется либо в исчезновении части первоначального потока частиц, либо в появлении нейтрино иного типа, который отсутствовал в первоначальном потоке.

Вещество, через которое проходит поток нейтрино, может существенно изменить картину Н. о. В 1978 Л. Вольфенштейн (США) рассмотрел влияние на эволюцию осциллирующих нейтрино среды постоянной плотности. В 1985 С. П. Михеев и А. Ю. Смирнов теоретически показали, что в среде с переменной плотностью при определённых условиях происходит т. н. резонансная конверсия нейтрино – непрерывный и монотонный переход нейтрино одного типа в другой. Такое явление происходит при распространении нейтрино внутри Солнца или при вспышке сверхновой звезды (см. [Нейтринная астрономия](#)).

Экспериментально Н. о. были обнаружены при исследовании потоков атмосферных нейтрино на детекторе Super-Kamiokande (Япония), где наблюдался дефицит мюонных нейтрино. Он был объяснён как проявление переходов  $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$ . Многочисл. эксперименты с солнечными нейтрино также привели к однозначному заключению, что дефицит электронных нейтрино, обнаруженный в этих экспериментах, объясняется переходами  $\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu$  при прохождении через солнечное вещество. Позднее оба эти результата были подтверждены в экспериментах с искусств. источниками нейтрино, созданными на ускорителях и в атомных реакторах.

## Литература

Лит.: Понтекорво Б. М. Мезоний и антимезоний // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1957. Т. 33. № 2; Биленький С. М., Понтекорво Б. М. Смешивание лептонов и осцилляции нейтрино // Успехи физических наук. 1977. Т. 123. Вып. 2; Wolfenstein L. Neutrino oscillation in matter // Physical Review. D. 1978. Vol. 17. № 9; Михеев С. П., Смирнов А. Ю. Осцилляции нейтрино в среде с переменной плотностью и  $\nu$ -вспышки от гравитационных коллапсов звезд // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1986. Т. 91. Вып. 1; они же. Резонансные осцилляции нейтрино в веществе // Успехи физических наук. 1987. Т. 153. Вып. 1.