В теории электрослабого взаимодействия масштаб нарушения ее калибровочной симметрии не задается самой теорией. Он определяется из наблюдаемой вероятности слабых процессов, вычисляется из известной величины фермиевской константы, слабого четырехфер-мионного взаимодействия. Для определения шкалы нарушения горизонтальной симметрии (симметрии поколений) такая возможность отсутствует. Нет ни одного экспериментального указания на существование горизонтальных превращений частиц, таких, как распад К→µe. Имеются только жесткие экспериментальные ограничения на такие превращения, отодвигающие допустимую шкалу нарушения симметрии поколений на несколько порядков величины выше шкалы электрослабого взаимодействия.

Различие в типах кварков и лептонов называют различием в их ароматах. Теория электрослабого взаимодействия использует только вертикальную симметрию ароматов. Явное отличие горизонтальной симметрии ароматов от вертикальной составляет основную трудность в построении полной ароматодинамики — калибровочной теории, предполагающей симметрию всех ароматов фермионов.

Поэтому не следует удивляться тому, что калибровочная теория поколений оказывается весьма непростой в своей реализации. В этом можно убедиться, обратившись к простейшей модели такой теории.

При строгой горизонтальной симметрии поколении соответствующие частицы разных поколений были бы неразличимы и взаимозаменяемы. Все физические процессы протекали бы совершенно одинаково для электрона, мюона или тау-лептона, и результаты процессов не зависели бы от того, какая именно из этих частиц участвует в рассматриваемом процессе. В этом случае имела бы место строгая инвариантность физических процессов относительно замены частицы одного поколения соответствующей частицей другого поколения, например, электрона на мюон и т. п.

Естествено полагать, что такую замену нужно проводить локально, т. е. в разных точках пространства независимо друг от друга. В противном случае, совершая ее одновременно во всем пространстве, мы, хотя и мысленно, допускали бы возможность мгновенного распространения информации на бесконечные расстояния. Локальная инвариантность теории относительно возможных превращений соответствующих частиц разных поколений требует существования калибровочных полей, связанных с этими превращениями. Полной симметрии превращений трех поколений (аналогично полной симметрии превращений трех цветов кварков) отвечает инвариантность теории относительно группы преобразований SU (3), которую мы будем обозначать SU (3)н , отмечая ее горизонтальную (Horisontal) природу. Нарушение горизонтальной симметрии должно происходить в области высоких энергий. Как же связывается иерархия этого нарушения с иерархией масс кварков н лептонов? Для этого кваркам и лептонам сопоставляются тяжелые фермионы, приобретающие массы ~vн при нарушении горизонтальной симметрии. Иерархия нарушения SU (3)н отражается в иерархии масс тяжелых фермионов, и за счет их смешивания с кварками и пептонами — в иерархии масс кварков и лептонов. При этом воспроизводится и смешивание кварков и лептонов, которое естественным образом оказывается пропорциональным m1/2.

Таким образом, модель воспроизводит наблюдаемые иерархию масс и смешивание кварков и лептонов. Но эта же схема содержит и ряд предсказаний. Прежде всего для внутренней согласованности и отсутствия рас-юдимостей модель неизбежно должна включать тяжелых нейтральных партнеров нейтрино N. Частицы N обладают большой массой mN~vн, поэтому их смешивание с нейтрино приводит к появлению массы нейтрино ~ (gv)2/mN, где g от 10-2 до 1 и v~300 ГэВ — шкала нарушения симметрии электрослабого взаимодействия.

В этой модели предсказывается аксион, который одновременно обладает свойствами фамилиона и майоро-на — частиц, возникающих при спонтанном нарушении соответственно глобальных симметрий поколений и леп-тонного числа. Поскольку иерархия масс нейтрино в модели фиксируется, модель предсказывает и вполне определенное время жизни нейтрино относительно аксион-ных распадов НЮh—>нюl а, вероятность которых ~v-2H .

В рамках такого подхода вопрос о главном типе скрытой массы, формировавшем структуру Вселенной, сводится к вопросу о величине vH.

В самом деле, космологическая плотность аксионов ~vн. Масса нейтрино и соответственно космологическая плотность нейтрино ~v-1H. Поэтому изменение шкалы vh в разрешенном интервале значений от 108 до 1012 ГэВ отвечает переходу от модели доминантно-сти массивных нейтрино к модели доминантности аксио-иов. При этом время жизни нейтрино, пропорциональное v2h, в области vh ~ 108 ГэВ оказывается как раз в-том интервале значений, который требуется в моделях нестабильных нейтрино с массой от 30 до 100 эВ для замедления эволюции структуры Вселенной.

При фиксированной общей плотности РО и известной плотности барионов р.ч их разность РО—РОb складывается из плотности аксионов, стабильных нейтрино и продуктов распада нестабильных нейтрино. Сравнивая эту суммарную плотность скрытой массы с величиной РО— —РОb , мы получаем три случая, отвечающих трем различным типам космологических моделей: а) доминантности аксионов, б) доминантности массивных нейтрино с временем жизни, превышающим возраст Вселенной и, наконец в) доминантности современной Вселенной продуктов распада нестабильных нейтрино.

Случай б), по-видимому, исключен из наблюдательных данных о структуре Вселенной. Поэтому вывод из астрономических наблюдений о предпочтительности случая а) или в) становится методом прецизионного измерения фундаментальной шкалы vh.