

2009

Topic: SUSY

« Introduction to cosmoparticle physics »

Svetlana V. Silaeva

МЕРНИ: Кафедра Элементарных Частиц



1. SUSY model

Термин 'суперсимметрия' означает симметрию между фермионами и бозонами. Каждая модель ТВО, основанная на обычной калибровочной симметрии, может быть расширена до суперсимметричного варианта. Так, существует минимальная СУСИ SU(5) – модель или СУСИ SU(10) – модель. Суперсимметрия обладает очень широким спектром феноменологических проявлений (множество супер-партнеров, последовательности распадов, кандидаты на роль темной материи, нарушение R-четности, CP-нарушение, нарушение закона сохранения лептонного числа, и т.д. и т.п.). Отмечены были также две важные возможности SUSY моделей: CP-нарушение через CP-нечетные мягкие фазы и нарушение лептонного числа за счет несохранения R-четности и смешивания нейтрино с нейтралينو.

2. Суперсимметричные частицы

Несколько вариантов расширений СМ приводят к вимпам. Одно из них, наиболее популярное - это Суперсимметрия (Supersymmetry - SUSY), которая расширяет СМ посредством включения в нее новых частиц и взаимодействий. В отличие от СМ, в которой имеется фундаментальное различие между фермионами (составными частями материи) и бозонами (переносчиками взаимодействий), суперсимметричные теории объединяют оба этих типа частиц в рамках унифицированной картины вещества и взаимодействий. В суперсимметричных теориях наряду с существованием обычных частиц предполагается существование их суперпартнеров, новых частиц со спинами, различающимися на $\frac{1}{2}$. Особенностью суперсимметричных теорий является унификация калибровочных констант связи на масштабе $M_U \sim 2 \times 10^{16}$ ГэВ.

Минимальным суперсимметричным расширением СМ является MSSM (Minimal Supersymmetric Standard Model). В этой модели всем калибровочным полям сопоставляются фермионные суперпартнеры. Глюоны, калибровочные бозоны B , W_3 (или γ и Z^0) и W^\pm получают фермионных партнеров, называемых глюино (\tilde{g}) бино (\tilde{B}) и вино (\tilde{W}^i). Общее название для всех этих партнеров – гауино. Всем фермионам ставятся в соответствие скалярные партнеры, т.е. кварки и лептоны получают скалярных партнеров ("скварки", "слептоны"). Вводится одно дополнительное поле Хиггса (к двум хиггсовским дублетам) и каждому нейтральному хиггсовскому бозону (H_1^0, H_2^0) ставится в соответствие хиггсино ($\tilde{H}_1^0, \tilde{H}_2^0$) со спином $\frac{1}{2}$.

В MSSM вводится R-четность – мультипликативное число, определяемое соотношением

$R = (-1)^{3B+L+2s}$, где B – барионное число, L – лептонное число, s – спин частицы. Для всех частиц СМ $R=1$, а для всех их суперпартнеров $R=-1$. Как следствие сохранения R-четности, суперсимметричные частицы ("с-частицы") могут распадаться только нечетное число с-частиц (ЛСЧ) является стабильной и может исчезнуть только в результате парной аннигиляции. Это делает ЛСЧ очень привлекательным кандидатом на роль ТМ.

В модели MSSM существует целый ряд ограничений на природу ЛСЧ. Эта частица не может иметь электрического или цветного заряда, поскольку в противном случае она могла бы образовать с барионной материей тяжелые изотопы, что противоречит экспериментальным данным. Наиболее подходящим кандидатом в ЛСЧ являются нейтралино – линейная комбинация суперпартнеров фотона, Z^0 и хиггсовских H_1^0 и H_2^0 бозонов.

С точки зрения регистрации нейтралитно, наиболее важны реакции парной аннигиляции и упругого рассеяния на нуклонах. В современную эпоху нейтралитно должны быть существенно нерелятивистскими с основными каналами аннигиляции в фермион-антифермионные пары (преимущественно тяжелые), пары калибровочных бозонов (W^+W^- , Z^0Z^0) и конечные состояния, содержащие хиггсовские бозоны.

Кроме нейтралитно другими возможными суперсимметричными кандидатами в частицы ТМ могли бы являться снейтрино и гравитино. Однако, ожидаемые значения сечения снейтрино-нуклонных взаимодействий оказываются слишком большими и находятся в противоречии с результатами прямых поисков ТМ. Что касается гравитино, то наличие у них только гравитационных взаимодействий делает их малоинтересными объектами для экспериментов по непрямым поискам ТМ.

3. Космологический сценарий

Понимание крупномасштабной эволюции Вселенной основано на ряде наблюдательных данных. Они включают расширение Вселенной и приближенно изотропное и однородное распределение материи на больших масштабах. Уравнения Эйнштейна общей теории относительности подразумевают, что метрика пространства-времени учитывает эти симметричные свойства гравитационных источников на больших масштабах. Обычно используется метрика Робертсона-Уокера:
$$dS^2 = dt^2 - R^2(t) \left\{ \frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2 d\theta + r^2 \sin^2 \theta d\varphi^2 \right\}$$

где (t, r, θ, φ) — безразмерные сопутствующие координаты, $k = 0, 1, -1$ для пространства с нулевой, положительной и отрицательной кривизной соответственно. Космологические данные свидетельствуют в пользу $k = 0$. Динамическая переменная $R(t)$ — масштабный фактор, имеющий размерность длины.

Динамические уравнения, определяющие временную эволюцию масштабного фактора, следуют из уравнений Эйнштейна. Подставляя метрический тензор, $T_\nu^\mu = \text{diag}(\rho, -p, -p, -p)$, где $\rho(t)$ — полная плотность энергии и излучения во Вселенной, а $p(t)$ — изотропное давление, подставляя в уравнение Эйнштейна, получаем уравнение Фридмана:
$$H^2 \equiv \left(\frac{\dot{R}}{R} \right)^2 = \frac{8\pi G_N}{3} \rho - \frac{K}{R} + \frac{\Lambda}{3}$$

Здесь $H(t) = \dot{R}(t)/R(t)$ — параметр Хаббла, определяющий скорость расширения Вселенной в момент t ; Λ — космологическая «постоянная» в момент t .

Согласно сценарию раздувающейся Вселенной, Λ -член играет важную роль на очень ранних стадиях эволюции Вселенной, когда вакуумная энергия была доминирующей формой материи во Вселенной, приводя к экспоненциальному росту масштабного фактора. Последние наблюдения свидетельствуют о том, что в настоящее время наибольший вклад в плотность энергии Вселенной вносит «темная» энергия, которую также можно описать с помощью ненулевой космологической постоянной.

4. Распад протона в SUSY – моделях TBO