

**Московский инженерно-физический институт
(национальный исследовательский ядерный
университет)**

Кафедра физики элементарных частиц

Реферат на тему: «Суперсимметрия»

**Студент: Старостин В.И.
Группа: Т01-40м**

1. Введение

Суперсимметрия (симметрия Ферми-Бозе) - симметрия между фермионами и бозонами. Основная модель физики высоких энергий - Стандартная модель (СМ) - не является суперсимметричной. Основана на $SU(2)_C \otimes U(1)$ локальной калибровочной группе электрослабого взаимодействия и $SU(3)_C$ симметрии КХД, стандартная модель не противоречит наличию суперсимметрии. Однако, СМ нуждается в расширении, так как в ней имеют место быть квадратичная расходимость радиационных петлевых поправок к массе хиггсовского поля, нарушение CP-инвариантности в КХД, наличие кандидатов на роль темной материи (ТМ) и т.д. и т.п.

2. Инфляция, бариосинтез и основные кандидаты на роль ТМ в рамках суперсимметричной модели.

Инфляция

Первая попытка построить модель раздувающейся Вселенной, нацеленная на решение ряда космологических проблем, на основе физического скалярного поля была предпринята А. Гусом в 1981 году. Однако из-за привязанности к фазовому переходу Великого Объединения (ВО) ей были присущи неразрешимые проблемы: проблема образования сильных неоднородностей в результате инфляции, прежние вопросы происхождения в отношении горячей доинфляционной стадии. Было сформулировано требование к свойствам скалярного поля, ответственного за инфляцию – поле инфлатона (фундаментальное скалярное поле), где ключевое значение имеет форма его потенциала. Эти требования являются физической основой инфляционной космологии.

В модели SUSY кандидаты на роль инфлатона претендуют s-нейтрино и комбинации хиггсовских бозонов.

Бариосинтез

Модель бариосинтеза была предложена Афлеком и Дайном в 1985 г. Согласно этой модели в ранней Вселенной мог существовать первичный конденсат скалярных кварков. Скалярные кварки, распадаясь на обычные кварки, создавали затем избыток барионов.

В СМ несохранение барионов из-за электрослабых взаимодействий имеет место при очень высоких температурах. Чтобы электрослабый бариосинтез был возможен, СМ должна содержать значительно большее число хиггсовских бозонов или включать несохранение лептонного числа. Последнее может быть связано с механизмом генерации майорановской массы нейтрино.

В суперсимметричной модели потенциал Лагранжиана составляется исходя из общих требований (требований суперсимметрии, калибровочных симметрий, B-L симметрии), допускающих нарушение B и L в отдельности. Данный потенциал до нарушения суперсимметрии практически не зависит от некоторых комбинаций полей скалярных кварков. Такие комбинации получили название полей «плоских направлений» или «долин». В суперсимметричных реализациях моделей инфляции суперсимметрия

нарушается по окончании инфляции и поля долин приобретают массу. Т.е. значения поля долины становятся энергетически неэквивалентными, и их потенциал приобретает минимум. Поля долин начинают осциллировать вокруг минимума. Если поле долины несло в себе барионный заряд, то энергия этих колебаний переходит в энергию бозе-конденсата скалярных кварков с ненулевым барионным зарядом. Впоследствии бозе-конденсат распадается на обычные кварки, давая барионный избыток.

Кандидаты в Темную материю в рамках суперсимметричной модели.

Одной из наиболее популярных категорий кандидатов на роль частиц темной материи (ТМ) являются вимпы (название “вимпы” образовано от англ. аббревиатуры WIMPs-Weakly Interacting Massive Particles), родившиеся вскоре после Большого Взрыва. Термином “вимп” принято называть класс частиц, характеризуемых, прежде всего, такими значениями массы и сечения аннигиляции, которые позволяют им выйти из равновесия в ранней Вселенной с плотностью, характерной для ТМ. Вимпы особенно привлекательны как кандидаты в ТМ ввиду ряда очевидных достоинств. Во-первых, появление вимпов в теоретической физике частиц мотивировано проблемой нарушения электрослабой симметрии. Во-вторых, согласно стандартным космологическим предположениям, их тепловая реликтовая распространенность естественным образом совпадает с той, которая требуется для ТМ. Наконец, требование достаточно эффективной аннигиляции вимпов (для обеспечения соответствующей реликтовой плотности) означает, что взаимодействие вимпов с материей является достаточно сильным для того, чтобы они могли быть обнаружены в прямых экспериментах.

Оценки для современной плотности вимпов дают: $\Omega_{WIMP} h^2 \approx (3 \cdot 10^{-27} \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}) / (\sigma_{ann} v)$. Среднее сечение аннигиляции, умноженное на скорость для частицы данной массы, имеет максимум, определяемый парциально-волновой унитарностью S-матрицы, $(\sigma_{ann} v)_{max} \approx 1/m_{WIMP}^2$. Требование $\Omega_{WIMP} h^2 \leq 1$ соответствует унитарному пределу и приводит к ограничению на массу частиц ТМ $m_{WIMP} \leq 340 \text{ ТэВ}$. В настоящее время в рамках суперсимметричных моделей рассматривается три основных кандидата в ТМ: нейтралино, гравитино, аксино.

Нейтралино – данная частица, является суперпозицией партнеров нейтральных полей В, W и Хиггса. Данная частица может быть легчайшей среди других суперчастиц и быть стабильной.

Частица гравитино (\tilde{G}) предсказывается при суперсимметричных расширениях СМ, включающих гравитацию. Гравитино – майорановская частица со спином 3/2 и четырьмя спиновыми состояниями (два спиновых состояния гравитино приобретает от голдстино при нарушении суперсимметрии, становясь массивным).

Частица аксино – слабо взаимодействующая частица. Аксино – суперпартнер аксиону ($f_a < 10^{12} \text{ ГэВ}$ $m_a > 0.5 \cdot 10^{-9} \text{ эВ}$) со спином 1/2 и соответственно появляется при суперсимметричном расширении СМ, включающем механизм Печей-Куин подавления CP-нарушения в КХД. Суперсимметризация моделей Печей-Куин приводит для моделей SUSY следствиям. Для поля аксиона со спином S=0 (и R-четность R=1) равенство между числами бозонных и фермионных степеней свободы, требуемое суперсимметрией, обеспечивается добавлением майорановского фермиона – аксино

(а) с $S=1/2$ и $R=-1$ и скаляра - с-аксиона (с-аксино) с $S=0$ и $R=1$. Требование соблюдения симметрии $U_{PQ}(1)$ не позволяет аксино, также как и самому аксиону, приобретать массу обычным образом за счет нарушения суперсимметрии. Такого запрета не возникает для с-аксиона, и его масса может быть порядка масс обычных суперпартнеров $\sim 100 \div 1000$ ГэВ, возникающих после нарушения SUSY. Масса аксино может варьировать в широких пределах и быть значительно меньше масс других суперпартнеров: $m_a \sim \text{КэВ} \div \text{ГэВ}$. Аксино может являться легчайшей суперчастицей и, следовательно, при сохранении R – четности быть стабильной.

3. Экспериментальная проверка SUSY

Проверка суперсимметричных моделей на ускорителях подразумевает прежде всего обнаружение частиц-суперпартнеров, а также наблюдение и изучение различных явлений (аномальный магнитный момент мюона, физика В-мезонов, феноменология бозона Хиггса и т.п.), объяснение которых предоставляют в частности суперсимметричные расширения СМ.

Исторически первые строгие ограничения на массы скварков и глюино были получены в рамках экспериментов UA1 и UA2 на супер-протонном синхротроне в CERN. Позже более строгие ограничения были установлены в экспериментах на коллайдере LEP. В 2006 году эти ограничения были уточнены в эксперименте D0 на Тэватроне.

Анализ первых данных, полученных в начале работы Большого Адронного Коллайдера (LHC), запущенного в 2009 году, в рамках моделей MSSM (минимальная суперсимметричная Стандартная модель) и NUHM1 показал, что если скварки и глюино действительно существуют, то значения их масс находятся в диапазоне 500 – 800 ГэВ, а значения 2.5 ТэВ маловероятны. Нейтралино и слептоны считались достаточно легкими и значения масс этих частиц ожидалось в районе 100 – 150 ГэВ. По состоянию на апрель 2013 года, подтверждений существования суперсимметрии в экспериментах на LHC найдено не было. Как следствие были подняты ограничения на массы скварков и глюино, ранее установленные на Тэватроне и LEP. На основании данных, полученных в эксперименте CMS, нижнее ограничение на массу скварков и глюино в MSSM составляет 800 ГэВ.

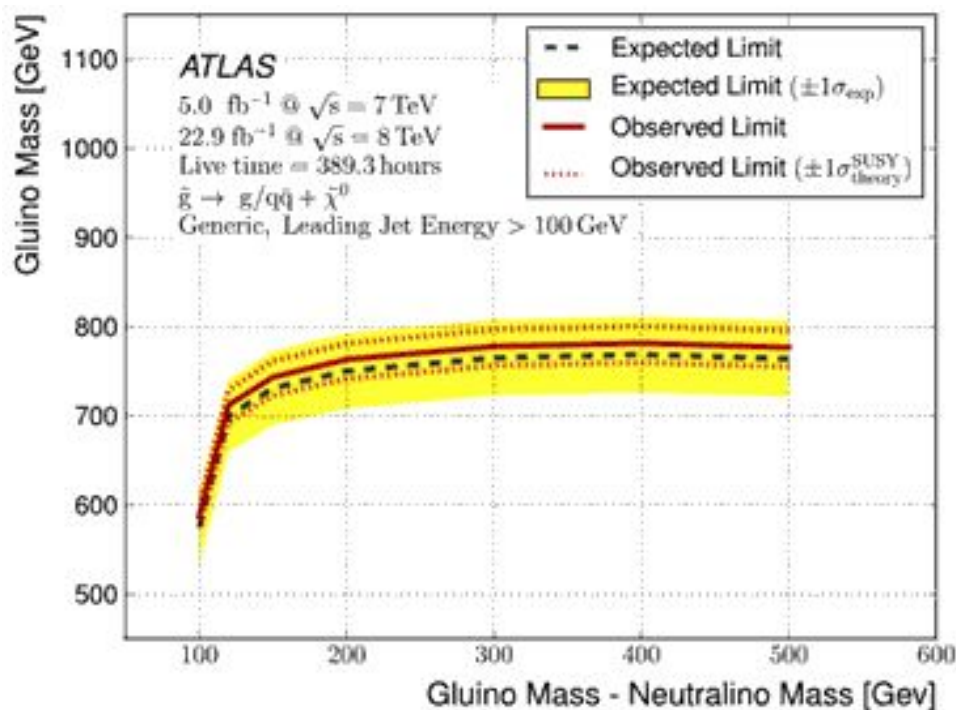


Рис.1. Ограничения на массы глюино в зависимости от величины расщепления по массе между глюино и нейтралينو в G-модели R-адронов адронов и временем жизни глюино между 10^{-5} до 10^3 с.

Впрочем, необходимо сделать одно существенно важное замечание: анализ полученных данных проводится в рамках одной конкретной суперсимметричной модели, в данном случае – MSSM. Таким образом, на настоящий момент SUSY исключена лишь в своем минимальном варианте.

Обнаруженный на LHC в 2011-2012 годах бозон Хиггса имеет массу 125 ГэВ и константы связи, согласующиеся со стандартной моделью. MSSM предсказывает, что масса легчайшего бозона Хиггса не должна намного превышать массу Z-бозона и в отсутствие «тонкой настройки» (масштаб нарушения суперсимметрии – 1 ТэВ) не должна превышать 130 ГэВ. Более того, для значений параметра MSSM, бозон Хиггса предсказывается в диапазоне масс ниже 114 ГэВ, однако этот диапазон был ранее исключен данными LEP в начале 2000-ых годов.

Однако, результат, полученный на LHC, содержит в себе определенные трудности для модели MSSM, так как значение массы 125 ГэВ является достаточно большим для этой модели и может быть получено только с учетом больших радиационных поправок от t-кварков. Подобное объяснение выглядит весьма «неестественно». Также в 2012 году на LHC были обнаружены отклонения от предсказанных СМ констант связи бозона Хиггса, что может служить довольно жестким ограничением на MSSM.

Список литературы

- Линде А.Д. *Физика элементарных частиц и инфляционная космология* – М.: Наука, 1990.
- Окунь Л.Б. *Современное состояние и перспективы физики высоких энергий*, Успехи Физических Наук, т.134, вып.1, 1981.
- Хлопов М.Ю. *Основы космомикрoфизики*. – М:УРСС, 2004.
- Емельянов В.М., Белоцкий К.М. *Лекции по основам электрослабой модели и новой физике*. – М, 2007.
- Рябов В.А., Царев В.А., Цховребов А.М. *Поиски частиц темной материи* (2008). УФН. 178, 11.
- Горбунов Д.С., Дубовской С.Л., Троицкий С.В. *Калибровочный механизм нарушения суперсимметрии* (1999). УФН. 169, 7.
- ATLAS Collaboration. *Search for supersymmetry in events with photons, bottom quarks, and missing transverse momentum in proton-proton collisions at a centre-of-mass energy of 7 TeV with the ATLAS detector*. Phys.Lett. B719 (2013) 261-279
- CMS Collaboration. *Search for new physics in events with photons, jets, and missing transverse energy in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV*. JHEP 03 (2013) 111
- M. Carena, H. E. Haber. *Higgs Boson Theory and Phenomenology*. Prog.Part.Nucl.Phys.50:63-152, 2003
- P. Draper, P. Meade, M. Reece, D. Shih. *Implications of a 125 GeV Higgs for the MSSM and Low-Scale SUSY Breaking*. PhysRevD.85.095007 (2011) [arXiv:1112.3068]
- A.C.Kraan, Eur.Phys.J. C37 (2004) 91
- R.Mackeprang, A.Rizzi, Eur.Phys.J. C50 (2007) 353