|  |
| --- |
| МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ |
| ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ |
| «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ» |

**Кафедра № 40**

Реферат

На тему

**«Суперсимметрия»**

Выполнил: студентка группы Т09-40

Вдовкина С. С.

Проверил: Хлопов М.Ю.

Москва 2014 г.

**1. Введение**

Суперсимметрией ( Supersymmetry - SUSY) [см. также 1-4] называют такую симметрию, которая связывает между собой частицы с целым и полуцелым спином, образующие **[super]**мультиплеты. При суперсимметричных преобразованиях бозоны переходят в фермионы, а фермионы - в бозоны. Иногда суперсимметрию называют ферми-бозе симметрией. [5]

В суперсимметричных моделях устанавливается соответствие кварков и лептонов скалярным частицам с нулевым спином, скваркам (кваркино) и слептонам, которые имеют те же заряды, что и обычные кварки и лептоны соответственно.

Суперсимметричные партнеры калибровочных и хиггсовских бозонов являются фермионами со спином 1/2, называемых калибрино и хиггсино. Вводятся фотино, глюино, вино и зино как суперсимметричные партнеры со спином 1/2 для фотона, глюона, W- и Z-бозона соответственно.

Чтобы объяснить отсутствие в природе суперсимметричных частиц, необходимо предположить, что суперсимметрия нарушена [6, 7] таким образом, что суперсимметричные партнеры имеют значительно большую массу, чем обычные частицы.

В суперсимметричных моделях вводится новое квантовое число - R-четность, различающее обычные частицы и их суперсимметричные партнеры. Строго сохраняющаяся R-четность соответствует абсолютной стабильности самой легкой суперсимметричной частицы (lightest supersymmetric particle -LSP). Ее масса в общем случае связана со шкалой нарушения суперсимметрии. В некоторых суперсимметричных моделях R-четность не является строго сохраняющейся величиной, что соответствует метастабильности и распаду LSP на обычные частицы. [8]

В качестве низкоэнергетической теории, описывающей феноменологию суперсимметричных моделей, обычно рассматривается МССМ - Минимальная суперсимметричная Стандартная модель [подробнее см. 1,3,10,11]. Лагранжиан МССМ естественным образом разделяется суперсимметричную часть и мягкие члены, нарушающие суперсимметрию. Удобным средством для описания суперсимметричных лагранжианов является формализм, использующий понятие суперпространства. В этом формализме используются функции, называемые суперполями. Необходимым условием построения суперсимметричной модели является включение каждого поля Стандартной модели (СМ) в некоторое суперполе, что приводит к появлению в спектре новых частиц - суперпартнеров, несущих те же квантовые числа по глобальным и калибровочным симметриям, что и обычные поля, но отличающихся от них спином. [7] МССМ вводится, прежде всего, для стабилизации массы Хиггса от радиационных поправок.[12]

До настоящего времени нет надежных доказательств того, что суперсимметрия реализуется в природе. Нет также причин, вынуждающих верить, что суперсимметрия необходима для разрешения какого-либо из парадоксов современных физических теорий. Возможно, однако, что суперсимметрия потребуется для объяснения уже обнаруженных явлений или тех, которые будут обнаружены в будущем при исследованиях на ускорителях частиц.

**2. Роль SUSY в теории элементарных частиц**

Суперсимметрия предполагается как средство решения нескольких открытых вопросов физики частиц [9,12], таких как:

а) проблема иерархии

б) унификация калибровочных бегущих констант

г) объединение СМ с гравитацией

д) SUSY в теории суперструн

***2.1 Проблема иерархии***

У каждого из основных взаимодействий элементарных частиц есть некоторый характерный энергетический масштаб. Для сильного взаимодействия это ΛQCD ~ 200 МэВ - при таких энергиях бегущая константа связи КХД становится сильной; этот масштаб определяет массы адронов. Масштаб электрослабой теории задается вакуумным среднем хиггсовского бозона υ ≈ 246 ГэВ, которое определяет массы W- и Z-бозонов и полей материи СМ. Гравитационному взаимодействию соответствует планковский масштаб MPl ~ 1019 ГэВ, определяемый константой Ньютона классического гравитационного взаимодействия. Масштаб предполагаемого Большого объединения взаимодействий MGUT ~ 1016 ГэВ.

Проблема калибровочной иерархии состоит в несоразмерности этих масштабов:

(ΛQCD, υ) << (MPl, MGUT).

В стандартном механизме электрослабого нарушения характерный масштаб теории υ=MH/√2λ, где λ - константа самодействия хиггсовского бозона. В СМ квадратично расходящиеся радиационные поправки:

δυ2 ~ δMH2 = f(g)ΛUV2,

где f(g) - некоторая комбинация констант связи теории (в СМ f(g) ≈ 0,1), ΛUV - параметр ультрафиолетового обрезания, который можно интерпретировать как масштаб энергий, при превышении которых СМ перестает быть хорошим приближением к описанию реальной физики. Масштаб ΛUV связан с масштабами MPl, MGUT или другими масштабами "новой физики".

Так как υ2 = υ02 - δυ2 (где υ0 - параметр древесного лагранжиана), иерархия υ2 << MPl2 возникает в результате сокращения двух огромных слагаемых - υ02 и δυ2. Каждое из них имеет порядок f(g)ΛUV2 ~ 1033 υ2 (для ΛUV ~ MPl), так что сокращение должно происходить с точностью 10-33, причем во всех порядках теории возмущений. Такая "тонкая подстройка" параметров теории ("fine tuning"), возможная с технической точки зрения, кажется совсем ненатуральной.

Одно из решений проблемы калибровочной иерархии состоит в добавление в теорию новых полей, которые сокращали бы квадратичные расходимости в выражениях для бегущих параметров СМ. Наиболее известная реализация такого подхода основана на суперсимметрии, в которой сокращение расходимостей связано с разными знаками фермионных и бозонных петель. [13]

Стоит отметить, что SUSY – это лишь одна из теорий, разрешающих проблему иерархий; альтернативным подходом являются, например, теории техницвета.

Также интересным является тот факт, что в МССМ, содержащей два хиггсовских дублета, легкий хиггс должен быть не тяжелее 140 ГэВ, в то время как в СМ отсутствуют ограничения на массу хиггса. [14]

***2.2 Унификация калибровочных бегущих констант***

Известно, что в калибровочных теориях возникает явление бегущей константы связи, то есть значение константы взаимодействия изменяется в зависимости от того, на каком энергетическом масштабе наблюдается взаимодействие. Стандартная модель базируется на трёх различных калибровочных группах. Значения констант этих групп различны на малых энергиях, и с увеличением энергии они меняются. На энергетическом уровне порядка 100ГэВ две константы становятся одинаковыми (явление электрослабого объединения). На энергетическом уровне 1016 ГэВ все три константы сходятся примерно к одному значению, но в Стандартной модели они не могут стать равными друг другу. То есть, строго говоря, в рамках Стандартной модели «великое объединение» (электрослабого и сильного взаимодействия) невозможно. Поправки за счёт новых полей МССМ меняют вид энергетической эволюции констант, так что они могут сойтись в одну точку. **[konstanty ? ili vse zhe krivye ikh izmeneniya ?]** [15]

***2.3 Объединение СМ с гравитацией***

Стандартная модель не включает гравитационное взаимодействие и в объединении гравитации с остальными взаимодействиями есть трудности. Переносчик гравитационного взаимодействия, гравитон, должен иметь спин 2, в то время как спин переносчиков остальных взаимодействий (фотон, W- и Z-бозоны, глюоны) равен 1. Следовательно, они лежат в разных представлениях группы Пуанкаре [о группах Пуанкаре см. 16, 17]. Чтобы их перемешать, можно воспользоваться преобразованием суперсимметрии. Это преобразование уменьшает спин частицы на ½ и, следовательно, может перемешивать частицы с разными спинами. Таким образом, объединение с гравитацией в рамках суперсимметрии вполне естественно.

Стоит отметить, что объединение с гравитацией касается не столько МССМ, сколько других суперсимметричных моделей: в МССМ как в минимальном расширении стандартной модели нет гравитона (спин 2) и его суперпартнера гравитино (спин 3/2). Одной из таких моделей является теория mSUGRA - Minimal Super Gravity или Минимальная Модель Супергравитации [18, 19].

***2.4 SUSY в теории суперструн***

Суперсимметрия является основным элементом теории суперструн - одной из самых многообещающих теорий.

В последние годы появились надежды решить наконец давнюю проблему расходимостей в теории элементарных частиц. Эти надежды связываются с теорией суперструн, соединяющей геометрическое и калибровочное описания взаимодействий на новой основе и рассматривающей новый класс элементарных объектов — струны — в многомерном пространстве-времени.

Эта теория является суперсимметричной (в ней имеется симметрия бозонных и фермионных струн), калибровочной — со струнами связывается очень высокая симметрия калибровочных преобразований; обеспечивается и геометрическая симметрия левого и правого — в теории имеется симметрия калибровочных преобразований: левых и правых состояний. В 4-мерном пространстве-времени в низкоэнергетическом (по отношению к спектру возбуждения струн) пределе теория сводится к эффективной суперсимметричной теории поля и общей теории относительности как к классической теории гравитации.

Тем самым теория суперструн вбирает в себя все основные теоретические идеи и часто называется Theory of Everything — теорией всего на свете. Анализ этой теории указывает, что, по-видимому, в ней отсутствуют расходимости. В ее количественных расчетах не возникают бесконечности. Поэтому понятен энтузиазм теоретиков в отношении теории суперструн — у них появляется надежда получить действительно единую фундаментальную теорию, свободную от всех теоретических несовершенств. [20]

**3. Инфляция, бариосинтез и скрытая масса в SUSY**

Разработка теории частиц и ее приложений в модели горячей Вселенной выявили как минимум три явления, широко признанные как необходимые дополнения сценария Большого взрыва. Современная модель горячей Вселенной обычно подразумевает инфляционный сценарий с бариосинтезом и скрытой массой. Разработка этого сценария предлагает превосходную возможность объяснить основные космологические параметры на основе физических механизмов.

Так, выбор открытой, замкнутой или плоской космологической модели связан с механизмом инфляции. **[This choice is determined by geometry. Inflation provides flatness independent of the choice of geometry.]** Наблюдаемое отношение барионов к фотонам рассматривается как результат бариосинтеза, который и определил современную плотность барионов.Разница между современной полной и барионной плотностями приписывается небарионной скрытой массе. **[dark energy ?]**

Привлекательный способ определения космологических параметров через параметры частиц и полей является не единственным преимуществом новой картины. Инфляция, бариосинтез и скрытая масса устраняют внутренние противоречия старой космологии горячей Вселенной. Однако, платой за это становятся неизвестные физические основания и обширное множество возможных реализаций на основе различных подходов. [8]

***3.1 Инфляция***

Имеются серьезные указания на то, что на достаточно раннем этапе эволюции Вселенная претерпела период интенсивного экспоненциального расширения, называемый инфляцией (см. [21]). С точки зрения теории, такая ситуация полностью аналогична нынешнему ускоренному расширению, только плотность энергии, определяющая темп ускорения, была значительно выше. Это часто связывается с наличием нового, отсутствующего в Стандартной модели скалярного поля - инфлатона. Если потенциал инфлатона является достаточно плоским (т.е. слабо зависит от значения поля), а его значение медленно изменяется со временем, то плотность энергии инфлатона обеспечивает требуемое экспоненциальное расширение. [13] Суперсимметричные теории содержат различные кандидаты на роль инфлатона, такие как снейтрино или комбинация хиггсовских бозонов в рамках МССМ [22].

***3.2 Бариосинтез***

Общепринятым основанием барионной асимметрии Вселенной является наблюдаемое отсутствие антивещества на макроскопических масштабах вплоть до масштабов скоплений галактик. В барион-асимметричной Вселенной наблюдаемое барионное вещество происходит из начального избытка барионов, остающегося после локальной аннигиляции нуклонов и антинуклонов в первую миллисекунду космологической эволюции. Предполагается, что барионный избыток был образован в процессе бариосинтеза, приводящем к барионной асимметрии изначально барион-симметричной Вселенной.

В оригинальном сахаровском сценарии (1967) бариосинтеза барионный избыток возникает из-за СР-нарушающих эффектов при выходе из равновесия процессов с не сохранением барионного числа. Величина избытка барионов определяется концентрацией распадающихся частиц так же как различием относительных вероятностей соответствующих мод распада частиц и античастиц. Это различие определяется величиной и знаком фазы ϕ нарушения СР. [8]

С введением суперсимметрии значительно расширяются теоретические возможности благодаря новому классу частиц. Ставший наиболее популярным механизм бариосинтеза в суперсимметричных моделях был предложен Афлеком и Дайном (I. Affleck, M. Dine) в 1985 г. (см. [23]) Потенциал в суперсимметричном лагранжиане составляется исходя из общих требований (требований суперсимметрии, калибровочных симметрий, B–L симметрии, присутствующей в электрослабой теории, и др.), допускающих в принципе нарушение B (барионного) и L (лептонного) чисел в отдельности. Оказывается, что 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 массы. То есть 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. Аналогичная ситуация может быть с лептонным зарядом. [24]

***3.3 Скрытая масса***

Изучение динамики астрофизических объектов (галактик, скоплений галактик) и Вселенной в целом позволяет определить распределение масс, которое затем можно сравнить с распределением видимого вещества. Ряд независимых наблюдательных данных указывает на то, что вклад светящегося вещества (в основном барионов) в плотность энергии Вселенной в пять раз меньше, чем вклад невидимого вещества.

Это невидимое вещество - темная материя (скрытая масса) - по-видимому, состоит из новых, пока неизвестных частиц. Частицы темной материи должны быть стабильными или почти стабильными, чтобы не распасться за время существования Вселенной. Эти частицы должны также очень слабо взаимодействовать с обычным веществом.

Во многих теоретических моделях происхождения темной материи предсказывается, что масса новой частицы лежит в пределах от ~ 1 ГэВ до ~ 1 ТэВ, а сечение взаимодействия с обычными частицами порядка характерного сечения слабого взаимодействия. Такие частицы получили название WIMP (Weakly Interacting Massive Particles). Одним из наиболее популярных кандидатов на роль WIMP является легчайший стабильный суперпартнер - LSP (lightest supersymmetric particle) - в суперсимметричных расширениях СМ с сохраняющейся R-четностью. [13]

Предполагается, что легчайшая суперсимметричная частица (LSP) не принимает участия ни в электромагнитном, ни в сильном взаимодействии. В противном случае она соединялась бы с обычной материей и проявлялась бы в настоящее время в качестве необычной тяжелой частицы. Тогда распространенность такой LSP, нормированная на распространенность протона, получилась бы равной 10-10 для сильного взаимодействия, и 10-6 для электромагнитного. Эти значения противоречат экспериментальным верхним границам: n(LSP)/n(p) < 10-15 - 10-30. Приведенные оценки зависят от масс и в данном случае отвечают области масс 1 ГэВ < mLSP2 < 107 ГэВ. Поэтому был сделан вывод о том, что легчайшая SUSY-частица, помимо гравитационного взаимодействия, принимает участие только в слабом.

Среди возможных кандидатов на роль нейтральной легчайшей суперсимметричной частицы имеются фотино (S = 1/2) и зино (S = 1/2), которые обычно называют гейджино, **[is it called so in Russian ?]** а также хиггсино (S = 1/2), снейтрино (S = 0) и гравитино (S = 3/2). В большинстве теорий LSP-частица представляет собой линейную комбинацию упомянутых выше SUSY-частиц со спином 1/2. Масса этого так называемого нейтралино, скорее всего, должна быть больше 10 ГэВ. Рассмотрение SUSY-частиц в качестве темной материи представляет особый интерес, так как они появились совершенно в другом контексте и не были специально введены для разрешения проблемы (небарионной) темной материи. [25]

**4. Экспериментальная проверка SUSY**

Суперсимметрия до сих пор не открыта в эксперименте. Она пока остается красивым математическим явлением, и неизвестно, имеет ли она отношение к реальному миру или нет. Если в эксперименте будут обнаружены суперчастицы или иные надежно доказанные проявления суперсимметрии, это станет одним из главных открытий в физике элементарных частиц за последние десятилетия.

Суперсимметричные модели проверяются различными экспериментами, такими как измерение аномального магнитного момента мюна в Брукхэвене; измерение плотности темной материи с помощью WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), эксперименты прямого детектирования, например XENON-100; эксперименты на коллайдерах, включающие В-физику, феноменологию бозона Хиггса и прямые поиски суперпартнеров на LEP (Large Electron–Positron Collider), Tevatron и LHC (Large Hadron Collider). [26-30]

Исторически, самые строгие ограничения получались из экспериментов прямого рождения на коллайдерах. Первые ограничения на массы скварков и глюино были получены в рамках экспериментов UA1 и UA2 на супер-протонном синхротроне (SPS) 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.

По данным на октябрь 2013 года в подземном эксперименте LUX не было подтверждено существование WIMP (в частности нейтралино).

По состоянию на 2014 год, 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 в течение лета 2011 г, нижнее ограничение на массу скварков в MSSM составляет 1.1 ТэВ, на глюино - 500 ГэВ.

Анализ предыдущих данных, полученных в начале работы Большого Адронного Коллайдера (LHC) в 2009 году, в рамках моделей MSSM и NUHM1 показал, что если скварки и глюино действительно существуют, то значения их масс должны находится в диапазоне 500 – 800 ГэВ, а значения 2.5 ТэВ маловероятны. Нейтралино и слептоны считались достаточно легкими и значения масс этих частиц ожидались в районе 100 – 150 ГэВ.



К концу 2012 года на детекторе LHCb Большого адронного коллайдера была накоплена статистика по распаду странного B-мезона на два мюона. Параметры этого крайне редкого события очень точно совпали с предсказанными обычной Стандартной моделью, что почти не оставляет места для суперсимметричных теорий.

Обнаруженный на LHC в 2011-2012 годах бозон Хиггса имеет массу 125 ГэВ и константы связи, согласующиеся со стандартной моделью. МССМ 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. 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-скварков. Подобное объяснение выглядит весьма «неестественно».

Таким образом, можно перечислить экспериментальные аргументы против суперсимметрии:

- эксперимент LUX по поиску темной материи не обнаружил нейтралино

- размер холодного пятна эксперимента WMAP **[please, give brief explanation of this effect and give reference]** больше, чем предсказывается ΛCDM- моделями

- движение галактик на больших масштабах больше, **[please, give brief explanation of this effect and give reference]** чем предсказывается ΛCDM- моделями

- число бледных карликовых галактик меньше, чем предсказывает ΛCDM- модель

- ни ATLAS, ни CMC не обнаружили глюино и скварки

- масса, сечения взаимодействия, распады бозона Хиггса согласуются со стандартной теорией, а не с первоначальными предсказаниями суперсимметричных моделей

- проблема иерархий не возникает, **[ ??? you always have Planck scale]** если не существует Великого объединения (распад протона, предсказываемый теориями Великого объединения, не наблюдается)

Пример ограничений на сечение рождения скварка эксперимента CMS показан на рисунке 1. [31]

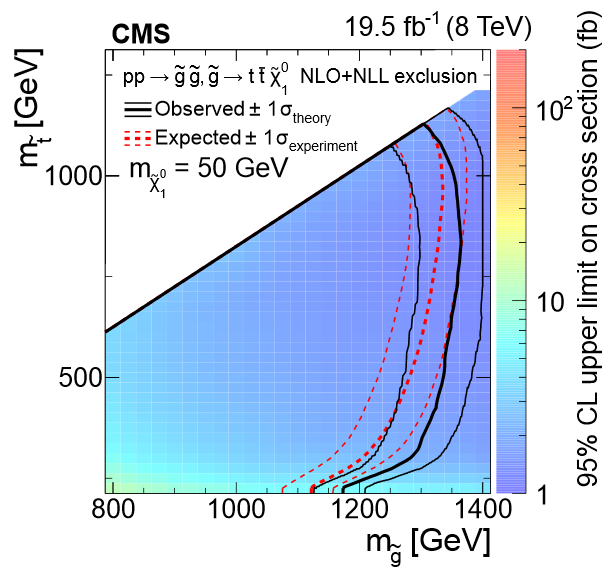


Рисунок 1. Верхние пределы на сечение рождения скварка через глюино с топ кварком на массовой поверхности, предполагая массу LSP = 50 ГэВ.

Весной 2015 года Большой адронный коллайдер планирует начать работу на 13 ТэВ, что может привести, а может и не привести к рождению суперсимметричных частиц.

Несмотря на безрезультатные поиски, некоторые модели суперсимметрии всё еще согласуется со всеми наложенными экспериментальными ограничениями.

**5. Заключение**

Значительное число наблюдательно подтвержденных фактов, относящихся к строению и эволюции Вселенной, не может быть объяснено, если физика частиц описывается лишь Стандартной моделью, - требуется введение новых частиц и взаимодействий.

Одним из возможных решений проблем Стандартной модели является суперсимметрия. У суперсимметричных моделей обнаруживается редкая мощь, способность решать проблемы, которые трудно решить как-то иначе (естественное возникновение хиггсовского механизма, устранение проблемы иерархии, более сильные свидетельства в пользу теории объединения взаимодействий и т. п.). По этой причине суперсимметрия уже давно воспринимается не как экзотическая гипотеза, а как один из самых главных вариантов физики за пределами Стандартной модели.

Несмотря на математическую и физическую красоту, теория обладает недостатками. Существенным минусом теории является обилие параметров (характеризующих, например нарушение SUSY). Кроме того, до сих пор не найдено никаких экспериментальных подтверждений суперсимметрии. А накладываемые на нее всё более жесткие ограничения лишают SUSY её первоначальной изящности.

Тем не менее суперсимметрия является предметом постоянного внимания теоретиков, работающих в области физики элементарных частиц и является одним из главных предметов поиска на ускорительных и космологических экспериментах.

**Список литературы:**

1. Уэст П. *Введение в суперсимметрию и супергравитацию.* М.: Мир, 1989

2. J. Lykken, *Introduction to Supersymmetry* [arXiv:hep-th/9612114]

3. J. Wess and J. Bagger *Supersymmetry and Supergravity*, (2nd edition, Princeton University Press, Princeton NJ, 1992.)

4. M. Sohnius, *Introducing Supersymmetry*, Phys. Rep.128, 39(1985)

5. Окунь Л. Б. *Лептоны и кварки.* М: Наука, 1990

6. Y. Shadmi, Y. Shirman. *Dynamical supersymmetry breaking.* Reviews of Modern Physics, Vol.72, No.1, January 2000

7. Горбунов Д. С., Дубовский С. Л., Троицкий С. В. *Калибровочный механизм передачи нарушения суперсимметрии*. УФН 169 705–736 (1999)

8. Хлопов М.Ю. *Основы космомикрофизики.* – М: УРСС, 2004

9. R. Weiner *Spin-statistics-quantum number connection and supersymmetry.* Physical Review D87, 2013 [arXiv:1302.0969]

10. Огиевецкий В. И., Мезинческу Л. УФН 117 637 (1975)

11. Nilles H. P. Phys. Rep. 110 1 (1984)

12. S. Dimopoulos, H. Georgi. *Softly Broken Supersymmetry and SU(5)*, Nuclear Physics B 193: 150, 1984

13. Троицкий С. В. *Нерешённые проблемы физики элементарных частиц* УФН 182 77–103 (2012)

14. Емельянов В.М. *Стандартная модель и ее расширения* М.:Физматлит, 2007

15. Суперсимметрия // Википедия. [2011—2015]. Дата обновления: 03.01.2015. URL: http://ru.wikipedia.org/?oldid=67676181 (дата обращения: 03.01.2015)

16. Poincaré, Henri (1905/6), *Sur la dynamique de l’électron*, Rendiconti del Circolo matematico di Palermo 21: 129–176, doi:10.1007/bf03013466

17. N.N. Bogolubov (1989). *General Principles of Quantum Field Theory* (2nd ed.). Springer. p.272

18. J. Polonyi, *Generalization Of The Massive Scalar Multiplet Coupling To The Supergravity*, Hungary Central Inst Res - KFKI-77-93

19. A. H. Chamseddine, R. L. Arnowitt and P. Nath, Phys. Rev. Lett. 49, 970 (1982)

20. М. Ю. Хлопов, *Космомикрофизика*, М.: Знание, 1989

21. Линде А.Д. *Физика элементарных частиц и инфляционная космология*, М.: Наука, 1990.

22. A. Chatterjee, A. Mazumdar. *Tuned MSSM Higgses as an inflaton* [arXiv:1103.5758]

23. I. Affleck, M. Dine. *A new mechanism for baryogenesis,* Nuclear Physics B, Particle Physics B249, 1985

24. Емельянов В.М., Белоцкий К.М., *Лекции по основам электрослабой модели и новой физике*, М.: МИФИ, 2007

25. Р. Шугалей, *Темная материя во Вселенной*, URL:http://nuclphys.sinp.msu.ru/students/blmat/ /#3.3

26. 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

27. 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

28. 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]

29. LUX Collaboration*. First results from the LUX dark matter experiment at the Sanford Underground Research Facility.* [arXiv:1310.8214]

30. C. Strege, G. Bertone, F. Feroz, M. Fornasa, R. Ruiz de Austri, R. Trotta , *Global Fits of the cMSSM and NUHM including the LHC Higgs discovery and new XENON100 constraints*, [arXiv:1212.2636]

31. The CMS Collaboration, *Searches for supersymmetry based on events with b jets and four W bosons in pp collisions at 8 TeV.* [arXiv:1412.4109v1 ], hep-ex, 12 Dec 2014