

Комментарии

Введение

Данные комментарии являются дополнением автора к книге: *Федосин С.Г. Физические теории и бесконечная вложенность материи*. Пермь, 2009 – 2011, 858 стр., Табл. 21, Ил.41, Библ. 293 назв. ISBN 978-5-9901951-1-0; <http://sergf.ru/kn.htm> ; при этом используются ссылки на параграфы и формулы данной книги.

Ссылки на литературу являются самостоятельными и приводятся в конце комментариев. Целью комментариев является представление некоторых выводов, вытекающих из результатов, изложенных в различных параграфах книги.

1. О связи между массой и зарядом протона

Заряд и масса протона являются фундаментальными постоянными, повсеместно используемыми в физических измерениях. Обе величины описывают различные свойства одного и того же объекта и потому должны быть связаны друг с другом. Мы начнём рассмотрение вопроса о такой связи с формул для гравитационной и электромагнитной энергий. Протон имеет как электростатическую энергию от своего заряда, так и магнитную энергию от своего магнитного момента. В § 11 было показано, что вращающийся с максимально допустимой угловой скоростью протон приобретает магнитный момент как результат вращения собственного электрического заряда, распределённого по объёму протона в виде шара, такой же, как и собственный момент протона. Если этот магнитный момент будет поддерживаться веществом протона, ориентированным магнитным полем, то он останется и после прекращения вращения протона. Точно также магнитный момент нейтронной звезды поддерживается упорядоченными магнитными моментами нуклонов, из которых состоит звезда. Для оценки электромагнитной энергии протона возьмём его электростатическую энергию и умножим её на некоторый коэффициент κ с целью учёта ещё и магнитной энергии:

$$U_{em} = \frac{\kappa e^2}{4\pi\epsilon_0 R_p}, \quad (1')$$

здесь e – модуль элементарного электрического заряда,

ϵ_0 – электрическая постоянная,

R_p – радиус протона.

При вращении протона к его статической гравитационной энергии в поле сильной гравитации добавляется энергия от поля кручения, подобная по смыслу магнитной энергии. Так как уравнения поля для гравитации и электромагнетизма

подобны (смотри § 9, а также [1]), для полной гравитационной энергии аналогично (1') можно записать:

$$U_g = -\frac{\kappa \Gamma M_p^2}{R_p}, \quad (2')$$

где Γ – постоянная сильной гравитации,
 M_p – масса протона.

Если разделить (2') на (1') и учесть, что $\Gamma = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 M_p M_e}$ согласно [1], то получится:

$$\frac{|U_g|}{U_{em}} = \frac{M_p}{M_e}, \quad (3')$$

где M_e – масса электрона.

Мы полагаем, что гравитационная энергия протона определяется его массой, а электромагнитная энергия зависит от заряда. Отношение этих энергий согласно (3') равно отношению масс протона и электрона, так что гравитационная энергия преобладает. Как было показано в [1], аналогичное отношение справедливо для отношения энергии покоя вещества, распределённого по объёму Метагалактики, к энергии всего электромагнитного излучения в этом объёме. В случае неподвижного протона вокруг него имеются статические гравитационное и электрическое поля, тогда как электромагнитное излучение, рассматриваемое как совокупность волн, всё время находится в движении. Из применимости равенства (3') к таким разным объектам, как протон и Метагалактика, вытекает динамическая природа статических полей. Это хорошо согласуется с модернизированной теорией гравитации Лесажа, описанной в § 7, и с динамической моделью возникновения электростатического поля в § 19.

Перейдём теперь с помощью теории бесконечной вложенности материи [2] и подобия уровней материи [3] к магнитару как к аналогу протона. У магнитара предполагается электрический заряд $Q_s = 5,6 \cdot 10^{18}$ Кл, так что при массе звезды $M_s = 2,7 \cdot 10^{30}$ кг для магнитара также выполняется соотношение (3'). Магнитар является нейтронной звездой с очень большим магнитным полем, на два-три порядка превышающим магнитные поля обычных пульсаров. Наличие заряда у магнитара позволяет объяснить не только его магнитное поле, но и природу

космических лучей. Как описывается в § 14, космические лучи в виде протонов и ядер приобретают свою энергию в электрическом поле магнитаров.

Рассмотрим теперь гипотетическую ситуацию, когда происходит одновременное рождение и нейтронной звезды, и рождение составляющих её вещество нуклонов. В этом случае должно быть определённое равновесие между энергией электромагнитного излучения в веществе звезды, и энергией вещества, включая кинетическую энергию движения нуклонов и их гравитационную энергию в звезде. Для плотности электромагнитной энергии можно записать:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{em} &= \int_0^{\infty} \frac{1}{\pi^2 c^3} \frac{\hbar \omega^3}{2} d\omega + \int_0^{\infty} \frac{1}{\pi^2 c^3} \frac{\hbar \omega^3}{\exp\left(\frac{\hbar \omega}{kT}\right) - 1} d\omega = \\ &= \lim_{\omega \rightarrow \infty} \left(\frac{\hbar \omega^4}{8\pi^2 c^3} \right) + \frac{\pi^2 k^4 T^4}{15\hbar^3 c^3} = \varepsilon_b + aT^4, \end{aligned} \quad (4')$$

где c – скорость света,

\hbar – постоянная Дирака,

ω – угловая частота электромагнитных колебаний,

k – постоянная Больцмана,

T – температура излучения, определяемая температурой вещества,

a – постоянная плотности излучения.

Первый член в (4'), равный ε_b , вычисляется как плотность электромагнитной энергии в классической электродинамике. Он показывает так называемую нулевую или вакуумную плотность энергии, не зависящую от температуры тел, и связанную с обменом энергии между веществом самих элементарных частиц и окружающим электромагнитным полем (независимо от движения частиц и их кинетической температуры).

Второй член в (4') вытекает из формулы Планка для фотонного газа как набора квантовых осцилляторов. Энергия отдельного фотона при этом находится обычным образом: $E_f = \hbar \omega$. Постоянная Дирака \hbar связывает энергию и угловую частоту фотона, показывая, что в каждом акте испускания фотона момент импульса излучающей заряженной частицы изменяется на величину \hbar . При этом угловая частота ω оказывается средневзвешенной по изменению энергии фотона частотой (за время излучения фотона энергия фотона как энергия излучения растёт со временем). Постоянная \hbar характерна только для элементарных частиц и составных объектов из них наподобие ядер атомов, а также для электронов в атомах. Для тех мельчайших частиц, которые составляют вещество нуклонов или электронов, постоянная \hbar уже не может быть

использована, так как ввиду своих малых размеров для таких частиц характерный момент импульса будет меньше.

В принципе мы могли бы выразить соответствующую постоянную для частиц вещества нуклонов с помощью теории подобия уровней материи, а затем использовать её для расчёта плотности вакуумной энергии \mathcal{E}_b в (4'). Но для оценок плотности энергии нам будет достаточно выражения для \mathcal{E}_b , полученного в классической электродинамике без учёта квантования. Для вещества из нуклонов в нейтронной звезде плотность вакуумной энергии не может быть слишком большой, иначе под действием высокоэнергичных фотонов нуклоны будут разрушаться и перестанут быть частицами. Обозначим предельную энергию фотона в виде: $\hbar\omega_m = AM_p c^2$, где A задаёт долю энергии покоя протона, приходящуюся на фотон максимальной энергии. Подставляя в (4') вместо ω значение ω_m , находим:

$$\mathcal{E}_b = \frac{A^4 M_p^4 c^5}{8\pi^2 \hbar^3}. \quad (5')$$

В § 7 мы нашли плотность энергии поля сильной гравитации, ответственной за целостность нуклонов. Согласно формуле (891) из § 19:

$$\mathcal{E}_G = 4\pi p B_0 \geq 4 \cdot 10^{34} \text{ Дж/м}^3, \quad (6')$$

где p – средний импульс гравитона,

B_0 – поток гравитонов, пересекающих в единицу времени перпендикулярную потоку единичную площадку dS из единичного телесного угла $d\alpha$.

Мы должны считать, что плотность электромагнитной вакуумной энергии \mathcal{E}_b в (4') и (5') не может превышать значения плотности энергии поля сильной гравитации \mathcal{E}_G в (6'). Из равенства \mathcal{E}_b и \mathcal{E}_G вытекает, что $A = 0,66$, так что энергия фотона действительно не превышает энергии покоя протона. В этом случае нуклоны могут существовать внутри нейтронной звезды как отдельные частицы.

Условие (3') выполняется как для протона, так и для магнитара. Запишем это условие для заряженной нейтронной звезды как отношение плотностей гравитационной энергии \mathcal{E}_g и электрической энергии \mathcal{E}_e , взятых как отношение этих энергий к объёму звезды:

$$\frac{|U_g|}{U_{em}} = \frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_e} = \frac{M_p}{M_e}. \quad (7')$$

Перейдём теперь в (7') от плотности энергии обычной статической гравитации ε_g в нейтронной звезде к плотности энергии поля сильной гравитации ε_G из (6') и вычислим соответствующую температуру излучения T , полагая, что плотность кулоновской энергии заряженной звезды ε_e аналогично переходит в плотность энергии электромагнитного поля, равную aT^4 согласно (4'). Такой переход от статических к динамическим величинам даёт равенство:

$$\frac{\varepsilon_G}{aT^4} = \frac{M_p}{M_e},$$

из которого следует, что $T \approx 4 \cdot 10^{11}$ К. В точке равновесия эта температура должна равняться кинетической температуре движения нуклонов. В нейтронной звезде, являющейся аналогом протона, содержится $\Phi = 1,62 \cdot 10^{57}$ нуклонов, где Φ есть коэффициент подобия по массе между уровнями материи звёзд и нуклонов. Тогда можно оценить кинетическую энергию нуклонов звезды как энергию идеального газа:

$$E_k \approx \frac{3}{2} kT\Phi = 1,34 \cdot 10^{46} \text{ Дж}. \quad (8')$$

Кинетическая энергия (8') с учётом теоремы вириала должна быть близка к значению модуля полной энергии звезды. Последнюю можно приблизительно вычислить как половину гравитационной энергии E_g , где E_g определяется формулой:

$$E_g = -\frac{\delta\gamma M_s^2}{R_s} = -2,5 \cdot 10^{46} \text{ Дж}, \quad (9')$$

здесь δ – коэффициент, зависящий от распределения вещества в звезде, для однородного случая $\delta = 0,6$, а мы используем $\delta = 0,62$,

γ – гравитационная постоянная,

$R_s = 12$ км – принятый нами радиус нейтронной звезды.

Из (8') и (9') видно, что $E_k \approx -E_g / 2$, так что наши расчёты кажутся самосогласованными.

Напомним теперь всю цепочку рассуждений. Значения массы и заряда протона позволяют найти отношение гравитационной (в поле сильной гравитации) и электромагнитной энергий для этой частицы как отношение массы протона к массе электрона. Такое же по смыслу отношение выполняется и для нейтронной звезды, с заменой сильной гравитации на обычную. Рассмотрение гипотетической ситуации с возникновением нуклонов внутри нейтронной звезды позволило ограничить максимальную плотность электромагнитной вакуумной энергии величиной плотности энергии сильной гравитации, ответственной за целостность нуклонов. В этом же приближении отношение статических энергий гравитационного и электромагнитного полей звезды было заменено на отношение плотностей этих полей, рассматриваемых как потоки гравитонов и фотонов, с условием равенства температуры фотонного излучения и температуры вещества. Отсюда находится тепловая энергия нуклонов звезды, оказывающаяся равной половине модуля гравитационной энергии звезды. Совпадение величин означает, что отношение массы протона к его заряду связано с балансом энергий квантов поля и частиц вещества протона при его образовании. В частности, если бы заряд протона и энергия его электромагнитного поля были бы больше, то кванты поля могли бы разрушить частицы его вещества и протон не мог бы существовать. Это же относится и к заряженной нейтронной звезде – магнитару, в котором вклад в его электромагнитную энергию делает как магнитная, так и электрическая энергии.

С другой стороны из получающегося равенства плотности электромагнитной вакуумной энергии и плотности энергии сильной гравитации мы можем предположить, что существует связь между электромагнетизмом и гравитацией. В частности, гравитонами могут быть частицы наподобие фотонов. Эти фотоны должны принадлежать уровню материи, из которой строятся элементарные частицы (так же как нейтронные звёзды состоят из нуклонов). Для образования подобных фотонов необходимо ускоренное движение заряженных частичек вещества, входящих в состав нуклонов и электронов.

Если гравитоны являются фотонами ниже лежащих уровней материи по отношению к известным элементарным частицам, то отсюда следует возможное влияние заряженных частиц типа электронов на распространение гравитонов. Поскольку фотоны взаимодействуют с зарядами, то в сильных и высокочастотных распределённых электрических токах гравитоны в виде фотонов могли бы экранироваться токами, изменяя действие гравитационных сил. На этой идее мы в § 14 построили объяснение ослабления действия сильной гравитации между атомными ядрами, необходимого для баланса сил между атомами в молекулах. При этом привлекается эффект Мандельштама-Бриллюэна с оптическим рассеянием света на неоднородностях плотности среды, когда вращающееся и заряженное вещество электронных дисков атомов экранирует атомные ядра. Здесь же указывается на специфическую и сильно анизотропную

ориентацию вещества электронных дисков, ориентированного магнитным полем и потому имеющего неодинаковую пропускную способность для гравитонов в разных направлениях.

По-видимому, различные современные эксперименты с вращающимися сверхпроводниками (Tajmar M., Podkletnov E., Datta T.) действительно указывают на влияние электрических токов и полей, изменяющих эффективную силу гравитации.

В процессе образования нуклонного вещества масса и заряд протона фиксируются величинами действующих гравитационных и электромагнитных полей, и свойствами нуклонного вещества. В то же время, как мы указывали в § 14, равенство заряда электрона и протона является следствием необходимости электронейтральности каждого атома. Электрон в атоме водорода находится в виде облака, причём сила притяжения между зарядами протона и электрона равна силе притяжения от действия сильной гравитации между массой протона и электрона, и равна по величине силе отталкивания заряда электрона самого от себя. Отсюда следует вторичность массы и заряда электрона по отношению к таковым у протона.

Дата публикации комментария №1: 10.12.2009.

2. Эффекты сверхновой SN 1987A, нейтрино и гравитация

В отношении обнаруженной 23 февраля 1987 г. вспышки сверхновой SN 1987A существует большой поток литературы. Сама сверхновая (типа II) возникла почти 168000 лет назад [4] в Большом Магеллановом Облаке (БМО), спутнике нашей Галактики, и за это время свет преодолел расстояние около 51,4 кпк. Нейтрино и гравитационные волны пришли на южную полусферу Земли, с направления на БМО от этой сверхновой. Первый нейтринный импульс зарегистрировали: Liquid Scintillation Detector (LSD) под горой Mont Blanc, в количестве 5 событий [5]; K II (Super-Kamiokande, цинковая шахта, Kamioka, Япония) – 2 - 4 событий; Баксанская нейтринная обсерватория (Baksan Underground Scintillation Telescope, BUST) в Кабардино-Балкарии – 1 событие. Данные нейтрино вследствие расположения детекторов по отношению к источнику излучения должны были пройти почти сквозь всю Землю и только после этого попасть в детекторы. Затем через 4,7 часа второй нейтринный импульс общей длительностью порядка 12,4 секунды был зарегистрирован детекторами: LSD – 2 события; K II – 12 событий; Irvine-Michigan-Brookhaven IMB (США, Ohio, соляная шахта под озером Lake Erie) – 8 событий; BUST – 6 событий. Из теории сферического коллапса вещества при образовании нейтронной звезды предполагается, что большинство этих событий было вызвано электронными антинейтрино. Через три часа и пять минут после второго нейтринного импульса сверхновая была обнаружена в оптике.

Одновременно с появлением первого нейтринного сигнала на LSD гравитационная антенна GEOGRAV (в виде металлического цилиндра) близ

Рима зафиксировала некоторый сигнал [6]. В течение 6 часов, ещё перед первым нейтринным импульсом и кончая после второго импульса, наблюдались аномальные гравитационные сигналы [7]. Гравитационные аномалии в это же время проявились в США на гравитационном детекторе в Мэриленде.

Недавно мы получили сообщение [8], в котором описывается возможное влияние сверхновой SN 1987A на скорость альфа-распада плутония-239. Опыты производились в Институте биофизики, расположенном в г. Пущино Московской области. Скорость счёта частиц на двух отдельных счётчиках составляла 100 частиц за каждые 6 секунд. Анализ записей результатов показал, что в момент прихода первого нейтринного импульса и гравитационных волн от сверхновой в скорости счёта почти на уровне шумов обнаружилось три последовательные волны, каждая длительностью 2 минуты. Это можно интерпретировать как увеличение скорости альфа-распада на 1 %. Но что если эффект действительно существует и какая-нибудь близкая сверхновая значительно сильнее повлияет на радиоактивный распад? По мнению автора сообщения, это может привести к всемирной катастрофе за счёт одновременного взрыва множества атомных бомб, находящихся в предкритическом состоянии в отношении цепной реакции распада плутония.

Действительно, мы не обладаем ещё полной информацией ни в отношении свойств нейтрино, ни в отношении структуры квантов гравитационных и электромагнитных полей и процессов их происхождения. Описание воздействия полей с помощью некоторых математических формул мало приближает к истинным причинам физических явлений. Это хорошо видно в критических экспериментальных точках, когда известные закономерности перестают работать и теоретики ищут всё новые формулы для предсказания результатов. Что же нам известно о свойствах самых мощных излучений? Прежде чем делать какие-нибудь выводы, изложим результаты некоторых наблюдений и теоретические предположения.

В статье [9] ситуация с разделёнными во времени двумя нейтринными сигналами от SN 1987A описывается приблизительно следующим образом:

Во время сверхновой происходит коллапс ядра, но вследствие нарушения устойчивости при избыточном моменте импульса вращающееся ядро в момент нейтронизации могло расщепиться на две компоненты, с массой M_1 не более 1,5 солнечной массы, и $M_2 < M_1$. Это приводит к первому нейтринному импульсу. Затем за время порядка 4,7 часа компоненты сближаются из-за потерь энергии на гравитационное излучение, вещество перетекает с меньшей массы на большую, и в конце концов остатки массы M_2 , порядка 0,1 солнечной массы, взрываются вследствие неустойчивости вещества нейтронной фазы. Происходит второй нейтринный импульс, сопровождаемый падением вещества на массу M_1 за счёт потери его вращения. При этом компоненты ядра разлетаются друг от друга с высокими скоростями, порядка 7500–15000 и 500–1000 км/с для M_2 и M_1 соответственно.

Из расчётов следует, что начальная скорость разлёта вещества в оболочке сверхновой за счёт возникающей ударной волны достигает 40000 км/с. Напомним, что характерная скорость частиц вещества в типичной нейтронной звезде равна $C_s = 68000$ км/с, представляя собой скорость, определяющую энергию связи звезды и максимально возможную скорость частиц при гипотетическом распаде звезды в случае, если бы гравитация вдруг исчезла (смотри [1] и уточнение в комментарии 16). Разлёт компонент ядра мог бы объяснить также невозможность обнаружения нейтронной звезды в центре сверхновой SN 1987A.

Не исключено, что указанные две компоненты ядра могли возникнуть ещё при слиянии двух массивных звёзд задолго до сверхновой. Например, за 20000 лет до сверхновой, что могло бы помочь объяснить три удивительные кольца возле SN 1987A, сфотографированные космическим телескопом Hubble. Внутреннее кольцо было обнаружено в августе 1990 г., ещё два внешних кольца – в 1994 г. Внутреннее кольцо имело радиус $r_1 = 6 \cdot 10^{15}$ м и скорость расширения порядка 10 км/с, в центре его находилось расширяющееся и сильно излучающее радиоактивное облако от сверхновой (в основном от β -распада никеля ^{56}Ni , половина которого превращается в течение недели в кобальт ^{56}Co и далее следует более замедленное превращение кобальта в железо ^{56}Fe). Плоскости двух внешних колец параллельны внутреннему кольцу, размеры этих колец больше внутреннего, и они расположены по разные стороны от внутреннего кольца на одной оси. Вещество колец могло быть выброшено из звёздных оболочек в результате процессов, происходящих обычно в предсверхновых при выгорании термоядерного топлива, либо при медленном сближении двух тесно связанных звёзд. Ультрафиолетовое и рентгеновское излучение от сверхновой высветило кольца как сгущения медленно движущегося вещества, находящегося достаточно далеко от самой сверхновой [10].

В работе [11] феномен колец возле SN 1987A объясняется на основе газовой гидродинамики за счёт осесимметричного выброса газа при слиянии двух звёзд с массами 15 и 5 масс Солнца. В свою очередь мы хотим описать здесь нашу модель возникновения колец. Она основана на следующих предположениях. На месте сверхновой раньше был голубой сверхгигант Sanduleak -69° 202a с массой M_{sg} порядка 17 масс Солнца. Он терял свою массу за счёт звёздного ветра, кроме этого вокруг звезды могло иметься разрежённое и ионизированное излучением газовое вещество от общей оболочки при возможном слиянии звёзд двойной системы. Часть выброшенного вещества должна была вращаться вокруг звезды в том же направлении, что и оболочка самой звезды, в силу сохранения момента импульса. Предположим теперь, что звезда имела магнитный момент P_m и магнитное поле с индукцией B вокруг себя согласно дипольной формуле:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\frac{3(\mathbf{P}_m \cdot \mathbf{r})\mathbf{r}}{r^5} - \frac{\mathbf{P}_m}{r^3} \right], \quad (10')$$

где μ_0 – магнитная постоянная,

\mathbf{r} – радиус-вектор от центра звезды до точки, где определяется поле.

Полагая, что радиус звезды равен приблизительно 6,8 радиусов Солнца как у звёзд главной последовательности соответствующей массы, а на полюсе звезды индукция магнитного поля не превышает 0,015 Тл согласно данным измерений типичных полей массивных звёзд в [12], из (10') оцениваем возможный магнитный момент: $P_m = 8 \cdot 10^{33}$ Дж/Тл.

На заряженные положительно ионы газового вещества вокруг звезды могут действовать сила гравитационного притяжения, магнитная сила Лоренца и центробежная сила, а электрическая сила у электрически нейтральной звезды отсутствует. Непосредственным расчётом можно убедиться, что гравитационная сила притяжения ионов к звезде очень мала и ею можно пренебречь по сравнению с магнитной силой. Если магнитный момент звезды направлен вдоль оси OZ , на которой находятся три наблюдаемых кольца возле SN 1987A, то для образования колец ионы должны двигаться перпендикулярно магнитному полю. В этом случае возникающая сила Лоренца будет играть роль центробежной силы, необходимой для движения ионов по окружностям. Уравнение движения ионов в плоскостях колец можно записать следующим образом:

$$M_i \mathbf{G}_c = q[\mathbf{V} \times \mathbf{B}], \quad (11')$$

где M_i и q – масса и заряд иона,

$\mathbf{G}_c = [\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{V}]$ – вектор центробежного ускорения,

$\boldsymbol{\omega}$ – вектор угловой скорости вращения ионов,

\mathbf{V} – вектор скорости движения ионов в кольцах, являющийся частью вектора полной скорости (ионы не только вращаются в кольцах, но и могут вместе с кольцами удаляться от звезды, что добавляет к \mathbf{V} другие компоненты скорости).

В приближении равномерного вращения ионов и неподвижных в пространстве колец для векторов и их проекций вдоль осей координат можно в декартовых и сферических координатах записать:

$$\boldsymbol{\omega} = (0, 0, \omega), \quad \mathbf{r} = (x, y, z) = (r \cos \omega t \sin \theta, r \sin \omega t \sin \theta, r \cos \theta),$$

$$V = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = (-\omega r \sin \omega t \sin \theta, \omega r \cos \omega t \sin \theta, 0) = (-\omega y, \omega x, 0),$$

$$\mathbf{G}_c = [\boldsymbol{\omega} \times V] = (-\omega^2 x, -\omega^2 y, 0).$$

Подставляя эти вектора в (11') с учётом (10'), в котором можно записать $\mathbf{P}_m \cdot \mathbf{r} = P_m z$, для движения ионов в плоскостях колец получим соотношение:

$$M_i \boldsymbol{\omega} = -\frac{q\mu_0 P_m}{4\pi r^3} \left(\frac{3z^2}{r^2} - 1 \right). \quad (12')$$

Внутреннее кольцо расположено в плоскости XOY и для него в (12') $z = 0$. Предположим, что скорость $V = \omega r_1$ вращения ионов в кольце не превышает скорости расширения колец, равной приблизительно 10 км/с. Находя отсюда угловую скорость ω при радиусе внутреннего кольца $r = r_1 = 6 \cdot 10^{15}$ м и подставляя в (12'), вычисляем верхнее значение магнитного момента звезды для движения в кольце ионов в виде протонов: $P_m = 4 \cdot 10^{34}$ Дж/Тл. Это значение лишь в пять раз больше типичного магнитного момента, ожидаемого нами для звезды как голубого гиганта. На самом деле вещество во внутреннем кольце может вращаться с меньшей скоростью, чем скорость расширения кольца, уменьшая тем самым верхнюю оценку P_m . Кроме этого, мы полагали радиус голубого гиганта равным 6,8 радиусов Солнца как для звезды главной последовательности. Но вблизи предсверхновой радиус звезды мог стать больше вследствие эволюции вещества, что при том же магнитном поле увеличит магнитный момент. Таким образом магнитный момент звезды вполне мог иметь подходящую величину для образования колец как раз в тех местах, где мы их наблюдаем. Добавим, что для ряда магнитных звёзд спектральных классов О и В магнитные поля превышают типичные значения 0,015 Тл даже на порядок, достигая величины в доли Тесла [63].

Для внешних колец величина z обозначает расстояние от плоскостей колец до центра системы, где находилась сверхновая. Из наблюдений следует, что $z = 1,2 \cdot 10^{16}$ м. Если обозначить радиус внешних колец через r_2 , то для них в (12') $r = \sqrt{z^2 + r_2^2}$, при этом можно положить, что $\frac{r_2}{r_1} \approx 2,2$. Тогда в (12')

$\frac{3z^2}{r^2} - 1 = -0,39$. Это означает, что угловая скорость вращения вещества во внешних кольцах имеет то же направление, что и во внутреннем кольце,

совпадая с направлением оси OZ и с направлением магнитного момента P_m . Угловая скорость вращения вещества во внутреннем кольце превышает почти на порядок угловую скорость во внешних кольцах.

Поскольку внутреннее кольцо расширяется, то под действием магнитного поля звезды на его вещество должны действовать силы, увеличивающие момент импульса кольца по мере расширения. Сила Лоренца действует так, что вещество снаружи кольца отходит от кольца, а вещество между центром системы и кольцом имеет возможность присоединяться к кольцу. Это и приводит к повышенной плотности вещества во внутреннем кольце, где осуществляется равновесие между центробежной и магнитной силами. Для внешних колец ситуация похожая, но в них на вещество колец действует ещё дополнительная магнитная сила, тормозящая разлёт колец вдоль оси OZ . Устойчивые во времени кольцевые структуры возле SN 1987A не являются уникальными, они повторяются во многих других сверхновых, с аналогичным отношением радиусов колец [13], [14], что указывает на всеобщность порождающего их механизма.

Возвращаемся теперь к описанию свойств нейтрино. По данным в [13], [15], общая излучаемая во время возникновения нейтронной звезды энергия нейтрино близка к энергии связи звезды. Значение общей энергии нейтрино по [15] равно $2,2 \cdot 10^{46}$ Дж, а согласно ротационной модели сверхновой энергия потока нейтрино, излучаемая за 6 секунд в первом нейтринном импульсе, равна $8,9 \cdot 10^{45}$ Дж [16]. В применяемой нами модели нейтронной звезды её масса $M_s = 2,7 \cdot 10^{30}$ кг и радиус $R_s = 12$ км. Используя приближение однородной по плотности звезды и теорему вириала, когда энергия связи по модулю равна половине гравитационной энергии, находим энергию связи согласно (9'):

$$-\frac{E_g}{2} = 1,25 \cdot 10^{46} \text{ Дж.}$$

Такая энергия должна быть излучена для того, чтобы

вещество звезды могло стать компактным релятивистским объектом. При этом вещество нейтронной звезды после её образования оказывается сильно нагретым и продолжает остывать путём излучения нейтрино и гамма-квантов, а по мере остывания электромагнитное излучение становится всё более слабым. Если бы звезда остыла полностью, в излучение нейтрино и фотонов ушла бы вся гравитационная энергия звезды. Но остыть полностью звезде не даёт та же гравитация. Как мы рассматривали в § 7, за счёт взаимодействия гравитонов с веществом должна выделяться энергия, которая не превышает внутренней тепловой энергии, наблюдаемой в космических объектах.

В стандартной теории гравитационного поля при сферическом коллапсе работа гравитационного поля по сжатию вещества должна превратиться в энергию гравитационных волн и в тепловую энергию сжатого вещества. Аналогично уменьшение размера системы заряженных частиц за счёт электрических сил сопровождается излучением электромагнитных волн и

увеличением кинетической энергии движения частиц. В случае сближения двух пульсаров за счёт излучения ими гравитационных волн баланс энергии выполняется, как это видно для двойного радиопульсара J1913+16 [17]. Однако при строго симметричном сферическом коллапсе гравитационных волн быть не должно. Во что же превращается тогда энергия гравитационного поля? В случае сверхновых с образованием нейтронных звёзд мы видим, что энергия реализуется в основном в нейтринном и фотонном излучении. Это приводит нас к мысли о том, что гравитонами на самом деле являются нейтрино, играющие роль ожидаемого гравитационного излучения. Мы можем пойти дальше и считать нейтрино также ещё и одним из видов электромагнитного излучения.

Попробуем теперь обосновать эти утверждения. В § 7 мы согласно модернизированной теорией гравитации Лесажа находили плотность энергии гравитации ε_G как величину порядка $4 \cdot 10^{34}$ Дж/м³ (смотри ещё (6') в комментарии 1). Данной плотности энергии согласно (132') в § 7 соответствует мощность потока энергии гравитонов через единичную площадку из единицы телесного угла:

$$U = pcB_0 = \frac{\gamma c M_n^2}{4\sigma^2} = 10^{42} \text{ Вт/(ср}\cdot\text{м}^2), \quad (13')$$

где M_n – масса нуклона,

$\sigma = 7 \cdot 10^{-50}$ м² – сечение взаимодействия гравитонов с нуклонным веществом,

γ – гравитационная постоянная,

c – скорость света как предполагаемая скорость гравитонов,

p – импульс одного гравитона,

$B_0 = \frac{dN_0}{dt d\alpha dS}$ – поток гравитонов, пересекающих в единицу времени

перпендикулярную потоку единичную площадку dS из единичного телесного угла $d\alpha$.

В соответствии с (6') и (13'), выполняется соотношение: $\varepsilon_G = \frac{4\pi U}{c}$.

Попробуем теперь вычислить плотность энергии, возникающую в нейтронной звезде вследствие излучения нейтрино и фотонов большой энергии. С целью упрощения будем считать, что из звезды излучается вся гравитационная энергия E_g согласно (9'), а время излучения основного количества нейтрино по [15] не превышает $t = 5$ секунд. В этом же приближении положим, что средняя энергия

нейтрино равна $E_\nu = -\frac{E_g}{\kappa\Phi}$, где $\Phi = 1,62 \cdot 10^{57}$ есть коэффициент подобия по массе между уровнями нуклонов и нейтронных звёзд и одновременно количество нуклонов в звезде, κ – малый коэффициент, не превышающий 10.

Приблизительность такого определения энергии E_ν следует из того, что для излучения нейтрино одной из реакций является соединение электронов с протонами атомных ядер в ходе нейтронизации массивных ядер наподобие железа, приводящее к распаду ядер и превращению их в нейтронную жидкость как основной компоненты вещества звезды. Нейтрино успевают излучиться также в обратных реакциях – например, при распаде нейтрона на протон, электрон и электронное антинейтрино. Энергии E_ν соответствует ситуация с возникновением нейтрино в количестве κ штук на один нуклон звезды. Заменим теперь в (13') величину ρc (это энергия одного гравитона) на энергию нейтрино

E_ν , а величину B_0 заменим на $B_\nu = \frac{\kappa\Phi}{(4\pi)^2 t R_s^2}$, причём $\kappa\Phi$ есть число

излучённых за время t нейтрино, 4π есть полный телесный угол, а $4\pi R_s^2$ – площадь поверхности звезды. Плотность энергии от излучения нейтрино в звезде будет равна:

$$\varepsilon_\nu = \frac{4\pi U_\nu}{c} = \frac{4\pi E_\nu B_\nu}{c} = -\frac{4\pi}{c} \frac{E_g}{\kappa\Phi} \frac{\kappa\Phi}{(4\pi)^2 t R_s^2} = -\frac{E_g}{4\pi c t R_s^2}.$$

Заменим в данном выражении отношение $-\frac{E_g}{t}$ через пиковую мощность излучения нейтрино, равную $W_\nu = 7 \cdot 10^{45}$ Вт согласно [15]. Тогда можно записать:

$$\varepsilon_\nu < \frac{W_\nu}{4\pi c R_s^2} = 1,3 \cdot 10^{28} \text{ Дж/м}^3.$$

Совершим теперь преобразование величин с тем, чтобы найти плотность энергии излучения типа нейтрино от частиц вещества нуклона в процессе рождения нуклона, подобного рождению нейтронной звезды при сверхновой. В § 6 частицы, из которых состоит нуклон, мы назвали праонами. Количество их в нуклоне в соответствии с теорией подобия уровней материи [3] равно $\Phi = 1,62 \cdot 10^{57}$, то есть такое же, как и количество нуклонов в нейтронной звезде. За счёт сжатия праонного вещества в нуклон выделяется энергия сильной

гравитации, путём излучения из объёма нуклона частиц наподобие нейтрино. Назовём для определённости эти частицы пранейтрино. В соответствии с теорией размерности, отношение плотности энергии \mathcal{E}_ν излучаемых нейтрино в звезде к плотности энергии $\mathcal{E}_{p\nu}$ излучаемых пранейтрино в нуклоне равно отношению коэффициентов подобия, соответствующих размерности плотности энергии. Это даёт соотношение:

$$\frac{\mathcal{E}_\nu}{\mathcal{E}_{p\nu}} = \frac{\Phi S^2}{P^3}, \quad (14')$$

где $S = 0,23$ – коэффициент подобия по скоростям,

$P = 1,4 \cdot 10^{19}$ – коэффициент подобия по размерам между нейтронными звёздами и нуклонами.

Из (14') находим $\mathcal{E}_{p\nu} < 4,1 \cdot 10^{29}$ Дж/м³, то есть плотность энергии \mathcal{E}_ν увеличилась в $\frac{P^3}{\Phi S^2} = 32$ раз. Если мы ещё трижды умножим $\mathcal{E}_{p\nu}$ на 32, то

получим значение плотности энергии, равное $\mathcal{E}_{0\nu} = 1,3 \cdot 10^{34}$ Дж/м³. А эта величина близка к значению плотности энергии \mathcal{E}_G сильной гравитации из (6'), за счёт которой скрепляется вещество элементарных частиц и которая почти достигается в самом центре нейтронных звёзд. Отсюда мы можем предположить, что причина гравитации на каком-либо уровне материи лежит в излучении мельчайших нейтринных частиц, осуществляемых веществом, принадлежащим уровню материи, лежащим на три масштабных уровня ниже рассматриваемого уровня. В применении к обычной известной нам гравитации, её причиной могут быть нейтрино, излучаемые частицами вещества, из которого состоят праоны. Если же мы будем рассматривать гигантские объекты, много большие чем Метагалактика, и содержащие в своём составе $\Phi = 1,62 \cdot 10^{57}$ нейтронных звёзд, то для этих объектов гравитонами могут быть пранейтрино, излучаемые из праонов внутри нуклонов при образовании нуклонов.

Но почему же мы считаем, что причиной гравитации являются в итоге именно нейтринные частицы, во множестве распределённые в пространстве? Во первых, проникающая способность гравитонов, найденная нами в § 7, сравнима лишь с проникающей способностью нейтрино. Во вторых, энергия гравитационного поля в сверхновых выделяется в основном не в виде ожидаемых гравитационных волн, а в виде нейтринного и электромагнитного излучения.

В третьих, из вышеприведённых расчётов следует, что плотность энергии обычной гравитации (находимая как отношение гравитационной энергии к объёму нейтронной звезды по формуле $\frac{3\gamma M_s^2}{40\pi R_s^4} = 5,6 \cdot 10^{32}$ Дж/м³) почти такая

же, как и плотность энергии $\frac{P^6 \epsilon_{pv}}{\Phi^2 S^4} = 4,2 \cdot 10^{32}$ Дж/м³, соответствующая средней

плотности энергии нейтрино, излучаемых частицами вещества, из которого образуются праоны. Праоны по своим размерам так же соотносятся с нуклонами, как нуклоны соотносятся с нейтронными звёздами, а праонное вещество состоит из ещё более мелких частиц. Поскольку однотипные процессы на нижних масштабных уровнях материи происходят практически мгновенно по сравнению со временем подобных процессов на высоких уровнях материи, вещество на уровне ниже праонов имело возможность превратить всю свою доступную энергию в энергию нейтринных частиц и в электромагнитные кванты. Но процесс конвертации энергии разных видов в энергию излучения имеет свой предел, и этот предел конвертации энергии достигается каждый раз в тот момент, когда после различных трансформаций вещество образует какой-либо праон (аналогично образованию нейтронной звезды). Энергия внешнего излучения, при соответствующей энергии квантов излучения, не может быть больше определённого предела, иначе эта энергия разрушила бы праоны и тогда были бы невозможны и нуклоны, составленные из праонов. В применении к нашему миру это означает, что со временем в космосе будет расти плотность энергии излучения (нейтрино и фотонов) за счёт непрерывной светимости звёзд, превращения их в нейтронные звёзды и в белые карлики, за счёт столкновений звёзд, при слиянии звёзд в звёздные ядра и в звёздное вещество, то есть в процессах с выделением гравитационной энергии, а также и энергии сильной гравитации для объектов типа нейтронных звёзд. В настоящее же время плотность энергии обычных нейтрино и фотонов, происходящих от звёзд, в наблюдаемом нами космосе пока ещё невелика и далеко не достигла своего возможного максимума. Этот максимум, как мы показали в комментарии 1, приводит к определённому соотношению между плотностями гравитационных и электромагнитных сил, и к соотношению между величинами заряда и массы протона. Со временем нарастающие по своей мощности электромагнитные излучения станут основой новых гравитационных сил на уровне сверхбольших объектов, превышающих по своим размерам даже метагалактики.

Изложенное объясняет различие преобразований формул для электрических и гравитационных сил при переходе между уровнями материи. Как было показано в [1], электрическая постоянная остаётся одной и той же при преобразованиях SPФ-симметрии, так что формула электрической силы может быть применена без изменений к заряженным системам любых размеров от праонов до галактик. Однако для гравитации это не так – на уровне

элементарных частиц вместо постоянной обычной гравитации γ следует использовать постоянную сильной гравитации Γ , значительно превышающую γ по величине. По мере увеличения количества вещества сильная гравитация заменяется обычной гравитацией. Как указывалось в комментарии 1, это связывается с экранированием сильной гравитации электронными облаками, быстровращающимися вокруг ядер в атомах вещества, а также с небольшой величиной свободного пробега гравитонов сильной гравитации в обычном веществе. Различие постоянных гравитации на разных уровнях материи отражает тот факт, что на объекты разных размеров и с разным состоянием вещества действуют эффективные гравитационные силы, происходящие от гравитационных квантов различающихся размеров и энергий и рождённых на более низких уровнях материи. При этом мы полагаем, что гравитационными квантами являются нейтрино, причём сами нейтрино являются определёнными комбинациями мельчайших электромагнитных квантов.

В итоге сила гравитации сводится к действию электромагнитных квантов, происходящих от заряженного вещества разных уровней материи. Первичным становится электромагнитное поле, в силу своей многокомпонентности периодически обнаруживаемое на разных уровнях материи как гравитационное поле. Существует и обратный переход гравитационного поля в электромагнитное – за счёт гравитации по схеме гравитации Лесажа образуются всё более массивные и релятивистские объекты, порождающие более энергичные электромагнитные кванты нового уровня. При этом гравитация может сжимать вещество лишь до той степени, пока это вещество во вспышках сверхновых само не начнёт излучать нейтрино в своём объёме, с переходом от сил обычной гравитации к силам сильной гравитации, противодействующим дальнейшему сжатию. Отсюда вытекает невозможность чёрных дыр как объектов, всё поглощающих и ничего не выпускающих наружу.

В связи с описанным вспомним результаты § 11, в котором было обнаружено, что нейтрино любого вида состоят снова из нейтрино, но принадлежащих более низкому уровню материи. В частности, мы показали, что звёздное антинейтрино, излучаемое из нейтронной звезды при превращении её в магнитар (это аналог β -распада нейтрона на протон, электрон и электронное антинейтрино), состоит из смеси электронных нейтрино и антинейтрино, излучаемых нуклонами самой нейтронной звезды. Вследствие ориентации этих нуклонов магнитным полем звезды излучаемые нейтрино и антинейтрино поляризованы соответствующим образом относительно спина и магнитного момента звезды, что приводит к различию поляризации звёздных нейтрино и антинейтрино. Если приложить эту идею к обычным нейтрино, рассматриваемым в физике элементарных частиц, то мы должны считать, что нейтрино в свою очередь состоят из потоков нейтринных и антинейтринных частиц (назовём их для определённости пранейтрино), принадлежащих уровню материи праонов. Различие нейтрино и антинейтрино заключается тогда в их разной поляризации и в разной пропорции составляющих их пранейтрино и праантинейтрино. Из примера со звёздами и

анализа ядерных реакций мы также обнаружили, что мюонные нейтрино и антинейтрино, как и электронные нейтрино и антинейтрино, должны состоять из тех же пранейтрино, то есть из нейтринных и антинейтринных частиц. Различие между электронными и мюонными нейтрино лежит по всей видимости в уровнях типичных энергий составляющих их пранейтрино.

Данная картина позволяет объяснить многие факты, связанные с нейтрино. Известно например, что нейтронные звёзды имеют увеличенные скорости движения (в среднем 300 – 400 км/с) вследствие асимметрии во взрывах сверхновых. Так, звезда RX J0822-4300 в остатке сверхновой Puppis A имеет скорость порядка 1500 км/с [18], измеренную по её собственному движению. Мы можем оценить максимальную скорость движения нейтронной звезды с помощью закона сохранения импульса. Для этого возьмём полный импульс нейтрино, находящийся в виде отношения энергии нейтринного импульса (равной

у нас энергии связи звезды $\frac{|E_g|}{2} = 1,25 \cdot 10^{46}$ Дж) к скорости света. Этот импульс

должен равняться максимальному импульсу звезды. Из равенства $\frac{E_g}{2c} = M_s V_s$

находим, что $V_s = 15500$ км/с. В идеальном случае для полной поляризации излучённых нейтрино и достижения звездой наибольшего импульса необходимо, чтобы нуклоны вещества были строго ориентированы в одном направлении. Добиться этого можно с помощью сильного магнитного поля. Тогда β -распады и реакции слабого взаимодействия были бы пространственно ориентированы, задавая необходимое направление нейтрино. В реальных сверхновых и в молодых нейтронных звёздах магнитное поле ещё не может быть достаточно эффективным для управления потоками нейтрино, и скорости отдачи звёзд на порядок меньше максимальных теоретических значений. Тем не менее обнаружены явные корреляции скоростей движения некоторых пульсаров и осей симметрии окружающих их туманностей – остатков сверхновых. Это проявляется у пульсара NP 0532 в Крабовидной туманности (Crab) и у пульсара в Парусах (Vela) [19], указывая на управление окружающим веществом с помощью магнитного поля. Так, в § 14 мы объяснили удивительные купола возле пульсара в Крабе путём прямого расчёта компонент быстровращающегося магнитного поля звезды на больших расстояниях (смотри также [58]). У нас получились при этом два конуса с углом раствора 45° с общим центром на пульсаре. Заряды двигаются по окружностям конусов и излучают, показывая тем самым форму куполов. Похожая форма наблюдается также у звезды Eta Carinae [59].

Если нейтрино содержат в себе потоки пранейтрино и праантинейтрино, причём все эти частицы являются электромагнитными квантами, то это позволяет по другому взглянуть на проблему осцилляции нейтрино. Осцилляции рассматриваются обычно как превращения одних видов нейтрино в другие по мере распространения нейтрино в пустом пространстве и в веществе. В

последнем случае обнаруживается ещё так называемый MSW-эффект (по фамилиям исследователей, его описавших: Михеев, Смирнов, Wolfenstein) влияния вещества на скорость осцилляций [20]. В подходе квантовой хромодинамики считается, что основное состояние нейтрино (электронного, мюонного или τ -лептонного) является некоторой смесью массовых состояний всех этих трёх нейтрино одновременно. По мере распространения нейтрино фазы отдельных массовых состояний согласно их волновой функции изменяются с разной скоростью из-за различия массы-энергии, что с течением времени изменяет основное состояние и превращает одно нейтрино в другое.

В нашем подходе нейтрино как частица скорее есть двухкомпонентные потоки частиц, чем трёхкомпонентное состояние трёх видов нейтрино. Это также позволяет нейтрино осциллировать, особенно при прохождении их в веществе, где сечения взаимодействия пранейтрино и праантинейтрино не одинаковы так же, как и сечения взаимодействия нейтрино и антинейтрино с веществом. В модели нейтрино как двухкомпонентных потоков они могут быть синхронно движущимися несимметричными по амплитуде потоками электромагнитных ультравысокочастотных квантов противоположной поляризации, как это бывает у право и лево-эллиптически поляризованных фотонов. При взаимодействии с веществом данные кванты взаимодействуют не с нуклонами непосредственно, а с мельчайшими частицами их вещества – праонами (точно также падающее на нейтронную звезду какое-либо нейтрино будет взаимодействовать не со звездой в целом, а лишь с некоторыми нуклонами). Суммарный эффект действия нейтрино на нуклон будет определяться воздействием потоков пранейтрино и праантинейтрино на вещество нуклона, соотношением этих потоков друг с другом и с составом вещества нуклона. Аналогично эффект от падения синхронных нейтринного и антинейтринного потоков на нейтронную звезду зависит от направления падения по отношению к ориентированному магнитным полем веществу, от соотношения нейтронов и протонов в веществе, от свойств и энергий нейтрино, требуемых для осуществления реакций слабого взаимодействия с нуклонами. Типичным свойством нейтрино считается например то, что нейтрино имеют левую спиральность, а антинейтрино – правую спиральность, так что у антинейтрино спин направлен параллельно импульсу, а у нейтрино наоборот.

Указанные факторы могут повлиять на выявленный систематический недобор электронных нейтрино от Солнца, хотя общий нейтринный поток от всех видов нейтрино по видимому близок к ожидаемому на Земле. Мы можем предположить, что электронные нейтрино во многом меняют свои свойства при прохождении внутри Солнца и становятся менее эффективными, когда детектируются на Земле способами, ожидаемыми для стандартных электронных нейтрино. Известно, что цикл солнечной активности появления пятен и изменения магнитного поля находится в антикорреляции со скоростью счёта солнечных нейтрино перхлорэтиленовым детектором в эксперименте Дэвиса [21]. В § 15 при представлении электрокинетической модели возникновения

магнитного поля мы объясняли это взаимодействием нейтрино с перемещением заряженного вещества в недрах Солнца и с периодической сменой знака электрического поля. В экспериментах по детектированию нейтрино, приходящих от каких-либо удалённых источников типа ускорителей частиц и от реакторов атомных станций, или от нейтрино, образующихся в атмосфере от космических лучей, также обнаруживается изменение ожидаемого состава нейтрино, их вероятные осцилляции.

Но если нейтрино являются электромагнитными квантами, мы уже не можем говорить, что нейтрино имеет массу (в стандартной теории элементарных частиц это считается необходимым для объяснения осцилляций). В то же время нейтрино будут взаимодействовать с электронами вещества приблизительно так же, как пучки фотонов очень малых размеров с какими-то большими электрическими зарядами. В стандартной электрослабой теории это описывается как взаимодействие нейтрино посредством заряженных токов. В теории имеется также взаимодействие нейтрино посредством нейтральных токов, то есть без переноса заряда. Для объяснения короткодействия слабого взаимодействия вводятся массивные W^\pm и Z^0 бозоны, которые были обнаружены при энергиях порядка 80 – 90 ГэВ. Со своей стороны мы в § 12 нашли, что данные массивные бозоны возникают при столкновениях элементарных частиц при таких энергиях, когда вещество частиц (состоящее из праонов) приобретает пороговую энергию для удаления на бесконечность. Точно также нейтронные звёзды можно столкнуть при такой энергии, что нуклонное вещество этих звёзд будет свободно выбрасываться в стороны, несмотря на удерживающую его гравитацию. Очевидно, что наличие энергетического порога ещё не говорит о реальности существования W^\pm и Z^0 бозонов как настоящих элементарных частиц, причём возникающих как следствие нарушения симметрии гипотетического поля Хиггса. Скорее их можно рассматривать как эвристический приём при описании явлений и как некоторые квазичастицы.

В стандартной теории фундаментальными частицами объявляются лептоны (электрон, мюон, τ -лептон и соответствующие им нейтрино) и шесть кварков. В отношении последних мы также нашли, что кварки являются квазичастицами и их можно выразить как различные комбинации двух состояний нуклонного вещества. Отсюда следует, что стандартная теория может описывать явления и давать в первом приближении правильные оценки величин, но как и общая теория относительности, в отсутствие субстанциональных моделей не способна объяснить суть явлений. В целом это проистекает из того, что от практической науки в первую очередь требуют вывода закономерностей и численных предсказаний, а развитие глубокой фундаментальной физики остаётся в удел малочисленным теоретикам с особым философским складом ума.

На наш взгляд, сама возможность того, что слабое взаимодействие в середине прошлого века удалось соединить с электромагнитным в электрослабое взаимодействие, говорит в сущности о единой природе нейтрино и электромагнитных квантов. В комментарии 1 мы приводили доводы в пользу

того, что гравитонами могут быть фотоны низлежащих уровней материи. Теперь же мы объединяем нейтрино, гравитоны и фотоны как нейтральные частицы и кванты единого гравиелектромагнитного поля. Одним из следствий этого становится равенство скоростей распространения гравитационного и электромагнитного полей. В таком случае становится неважным выбор волнового представления (на основе гравитационных или электромагнитных волн), так что в ковариантной теории гравитации (КТГ), которую мы описали в § 20, на равных используются тензоры энергии-импульса обоих полей как источники, влияющие на метрику.

Если гравитонами являются в основном низкоэнергетичные фотоны мельчайших уровней материи, то это позволяет понять отрицательность вектора плотности потока энергии гравитационного поля и поперечность гравитационных волн. Когда мы анализировали гравитационное излучение в § 14, из картины излучения было видно, что излучающее тело как бы экранирует часть гравитонов поперёк плоскости своего ускоренного движения, в обе стороны от плоскости соответственно движению гравитонов. Всё выглядит так, как будто вместо самой волны в пространстве распространяются какие-то провалы в плотности потоков гравитонов, так что в каждой точке поток гравитационной энергии оказывается направлен против движения волны. На самом деле отрицательность потока энергии волны вытекает из того, что когда встречный поток гравитонов встречается с провалом в волне, он вносит в него энергию, поток которой противоположен движению волны.

Вращающееся по окружности тело излучает и в плоскости своего движения в разные направления, но среднее излучение на бесконечности стремится к нулю за счёт компенсации прямого и обратного движения источника излучения, в отличие от излучений под углом к плоскости. Из-за гравитационного излучения тело должно терять свою энергию, а при вращении вокруг притягивающего центра уменьшать свой момент импульса. Возникновение эффективной силы торможения как результат потери энергии от гравитационных сил можно сравнить со следующей ситуацией: на стоящее под вертикальным дождём тело не действует горизонтальная сила, но как только тело начинает двигаться, для него капли дождя начинают падать наклонно и возникает сила торможения. В случае с гравитацией также происходит изменение направления потоков гравитонов, падающих на тело, но для возникновения гравитационного излучения и силы торможения требуется ещё ускорение тела относительно потоков гравитонов. С другой стороны, положительность потока энергии электромагнитного поля говорит о том, что при электромагнитном излучении от ускоренных зарядов энергия передаётся квантам поля.

Всё это коррелирует с модернизированной теорией гравитации Лесажа, описанной в § 7, согласно которой многочисленные потоки гравитонов проходят через вещество и передают ему импульс силы гравитации. Полагая гравитоны фотонами, можно легче понять причину отсутствия существенного нагрева вещества гравитонами, которое раньше полагалось неизбежным в теории Лесажа

и даже приводящим к мгновенному перегреву массивных тел. Хотя фотоны и могут быть поглощены веществом, они не обязательно приводят к нагреву вещества. Хорошим примером являются планеты, непрерывно получающие от Солнца энергию его излучения, и переизлучающие точно такую же энергию в космическое пространство, но уже в более длинноволновом диапазоне и в разных направлениях. В то же время поглощение фотона означает передачу им частице вещества своего импульса. Для множества мельчайших фотонов, появляющихся извне и попадающих в вещество, это приводит к возникновению сил, которые мы полагаем силами гравитации.

Итогом наших рассуждений становится объединение известных взаимодействий (сильного, слабого, электромагнитного и гравитационного) в единое целое на основе идеи вложенности квантов фундаментальных полей как квантов электромагнитного поля. Сильное взаимодействие мы рассматриваем как сумму сильной гравитации и электромагнитных сил (подробнее об этом в § 10). Слабое взаимодействие появляется как результат долговременной эволюции вещества объектов, не только элементарных частиц при их медленных распадах, но и например при аналогичном распаде объектов звёздных масс. Слабые взаимодействия объектов как правило включают в себя слабые взаимодействия частиц, из которых состоят эти объекты, с участием нейтринных частиц. В § 11 мы построили субстанциональные модели протона и нейтрона и рассмотрели взаимодействие их вещества с нейтрино и антинейтрино в реакциях слабого взаимодействия. Затем мы анализировали состав мюонного нейтрино и реакции с его участием, связь мюонного с электронным нейтрино. Представление нейтрино в качестве пучков электромагнитных квантов позволяет понять причину возможности построения электрослабой теории как некоторого развития квантовой электродинамики. Сведение основной части гравитонов к нейтрино и следовательно к электромагнитным квантам, гравитации к электромагнетизму объясняет двуполярность электрических зарядов и однополярность массы, строгое подобие уравнений лоренц-инвариантной теории гравитации (ЛИТГ) и уравнений Максвелла для электромагнитного поля. Получается, что все физические явления сводятся к электромагнитным силам и взаимодействиям, передающимся электромагнитными квантами и релятивистскими заряженными частицами различных размеров и энергий. Присутствие в потоках гравитонов быстрых заряженных частиц даёт возможность построить динамическую модель возникновения кулоновской электростатической силы между зарядами, описанную в § 19.

Что можем теперь мы сказать в отношении сообщения [8] в самом начале данного комментария о возможности влияния сверхновых на скорость альфа-распада плутония-239? Исходя из сценария сверхновой, она излучает огромный поток нейтрино, электромагнитного излучения в разных диапазонах, а также гравитационные волны. Все эти излучения мы сводим к потокам электромагнитных квантов разных энергий в различных состояниях. У сверхновых предполагается излучение нейтрино с энергиями до 60 – 80 МэВ.

Несмотря на малое сечение взаимодействия нейтрино с веществом, вследствие своей многочисленности они могли бы способствовать увеличению скорости альфа-распада радиоактивного вещества. Нейтринные импульсы от SN 1987A сопровождалась гравитационными волнами, которые были зарегистрированы как аномалии в гравитационных антеннах в Риме и Мэриленде. Интенсивные волны могли быть: при сближении звёздных нейтронных ядер, при падении на них вещества, при взрыве одного из ядер. Вполне возможно, что эти волны вместе с нейтрино действительно повлияли на альфа-распад в опытах с плутонием ^{239}Pu . Ведь плотность энергии сильной гравитации, которая по нашему мнению ответственна за целостность нуклонов и атомных ядер, очень велика, до $4 \cdot 10^{34}$ Дж/м³ [22]. Из расчётов следует, что для существенного экранирования потоков гравитонов достаточно трёх нейтронных звёзд. Поэтому события с близкими нейтронными звёздами и их слияния, происходящие достаточно быстро, могут давать гравитационные и нейтринные всплески заметной энергии, влияя на различные события на Земле.

Дата публикации комментария №2: 22.12.2009.

3. О причинах формирования стационарных планетных орбит

Данный вопрос находится в компетенции планетной космогонии, использующей ряд моделей для описания возникновения планетных систем звёзд. Пробным камнем становится Солнечная система как результат долговременной эволюции протопланетного диска, окружавшего Солнце миллиарды лет назад. Как правило, рассматриваются следующие подходы: 1) Одновременное образование Солнца и планет, либо наличие достаточно большого интервала между этими событиями. 2) Образование планет из газового либо из твёрдого вещества. В разное время у каждой из этих возможностей появлялись среди учёных свои сторонники и противники. Однако любая из теорий должна объяснить почти круговые орбиты планет, их орбитальное вращение в одном направлении с вращением Солнца, и весьма гладкую зависимость от номера планеты расстояний между планетами и Солнцем (выражаемую законом Тициуса-Боде).

В теории аккумуляции планет изучается эволюция протосолнечного газопылевого облака, образование в нём роя твёрдых тел, рост этих тел и последующее формирование планет [23]. Одной из проблем при этом остаётся необходимость передачи излишнего момента импульса от центральных частей облака, превращающихся после этого в звезду, наружу к внешнему диску. До сих пор однозначного и эффективного механизма для переноса момента импульса не найдено. Исходя из низкой температуры в околосолнечном газопылевом диске (не более 200 К на орбите Меркурия) и в отсутствие ионизации вещества перенос момента импульса наружу с помощью магнитного поля исключается. Однако наличие дисковидных структур возле звёзд со значительным моментом импульса является весьма общим явлением и должно иметь некоторое стандартное

объяснение. В последнее время становится всё больше данных о наличии планетных систем у других звёзд, причём часто обнаруживаются большие планеты наподобие Юпитера. Что же управляет процессом распределения вещества в зачатки будущих планет в протопланетных облаках?

Для начала обратимся к результатам в [1], где мы ставили вопрос о справедливости образования планетных систем из газопылевых облаков. Исходя из подобия между атомами и звёздами, подсчитывался общий момент импульса планетной системы, вклад в который делали как планеты, так и сами звёзды за счёт собственного вращения. Экстраполяция зависимости к звёздам самых малых масс дала значение звёздной постоянной Дирака [24] как характерного момента импульса. Несмотря на значительное различие атомных и звёздных систем, в них оказывается нечто общее, приводящее к квантованию удельных орбитальных и спиновых моментов импульса планет Солнечной системы [1], [25]. Квантование обнаруживается также и у спутников планет (смотри § 2).

Вспомним теперь результаты § 14, где мы нашли источник квантования уровней энергии электронов в атомах. Мы предположили, что электрон в атоме находится в стационарном состоянии тогда, когда при его вращении вокруг ядра он имеет вид осесимметричной фигуры типа диска, и потому не излучает за счёт такой своей формы. Но ещё более важно то, что в стационарном состоянии поток кинетической энергии вещества электрона равняется сумме потоков электромагнитной и гравитационной (в поле сильной гравитации) энергий. В этом случае на вещество электрона не действуют электромагнитные или гравитационные силы такие, которые могли бы изменять орбитальную скорость вращения. Расчёт показывает, что квантованию энергий электрона соответствуют дискретные стационарные состояния, в простейшем случае выражающиеся в виде боровской закономерности для квантования момента импульса.

Применим теперь этот же подход для газопылевого облака, из которого когда-то образовалась Солнечная система. Выберем в облаке кольцо с плотностью вещества ρ , и с орбитальной скоростью вращения V . Вектор плотности потока кинетической энергии будет равен:

$$\mathbf{s}_k = \frac{\rho V^2 V}{2}, \quad (15')$$

где величина ρV есть поток массы или масса, проходящая в единицу времени через единичное сечение кольца.

Если в центральной части облака находится масса вещества M_c , равная массе Солнца, то на расстоянии r вектор гравитационного ускорения есть:

$$\mathbf{G} = -\frac{\gamma M_c \mathbf{r}}{r^3},$$

где γ – гравитационная постоянная.

Для оценки поля гравитационного кручения используем вначале дипольную формулу (305) из § 13:

$$\mathbf{\Omega} = \frac{\gamma}{2c^2} \left(\frac{\mathbf{L}}{r^3} - \frac{3(\mathbf{L} \cdot \mathbf{r})\mathbf{r}}{r^5} \right), \quad (16')$$

где \mathbf{L} – вектор момента импульса тела, создающий поле кручения $\mathbf{\Omega}$.

Хотя формула (16') справедлива за пределами вращающегося тела, её можно использовать для оценки амплитуды поля кручения внутри тела, в нашем случае внутри протопланетного облака. Если облако вращается с угловой скоростью, направленной вдоль оси OZ , то основной вклад во внутреннее поле кручения будут делать внешние слои облака за счёт своего большого момента импульса. Это означает, что поле кручения в основной части облака направлено против оси OZ и для него можно приблизительно записать:

$$\mathbf{\Omega} = -\frac{\gamma \mathbf{L}}{c^2 r^3}. \quad (17')$$

Вектор момента импульса облака \mathbf{L} в (17') направлен вдоль оси OZ . Теперь мы можем по формуле (354) из § 14 найти вектор потока гравитационной энергии в некотором кольце внутри облака:

$$\mathbf{S}_g = -\frac{c^2}{4\pi\gamma} [\mathbf{G} \times \mathbf{\Omega}] = -\frac{\gamma M_c}{4\pi r^6} [\mathbf{r} \times \mathbf{L}]. \quad (18')$$

Из равенства векторов потоков энергии (15') и (18') вытекает следующее соотношение:

$$\frac{\rho V^3}{2} = \frac{\gamma M_c L}{4\pi r^5}. \quad (19')$$

Если подставить в (19') орбитальную скорость вращения вещества вокруг Солнца на орбите Юпитера $V = 13,1$ км/с, радиус орбиты Юпитера

$r = 7,75 \cdot 10^{11}$ м, массу Солнца $M_c = 1,989 \cdot 10^{30}$ кг, а в качестве момента импульса облака взять полный орбитальный момент импульса всех планет Солнечной системы (задаваемый в основном орбитальным вращением Юпитера) $L = 3,14 \cdot 10^{43}$ Дж·с, то тем самым определяется средняя плотность вещества облака: $\rho = 10^{-9}$ кг/м³. Умножая эту плотность вещества на объём облака в виде сферы внутри радиуса орбиты Юпитера, получим следующую массу: $\frac{4\pi r^3 \rho}{3} = 1,9 \cdot 10^{27}$ кг. Данная масса равна практически массе Юпитера.

Отсюда можно сделать следующий вывод: Основная масса вещества протопланетного облака сконцентрировалась в Юпитере потому, что на его орбите выполнялось условие равенства потока кинетической энергии вещества и потока гравитационной энергии облака. На этой орбите осуществлялось долговременное стационарное орбитальное вращение вещества, что позволяло быстрее наращивать массу по сравнению с другими орбитами. При этом Юпитер собирал массу не только изнутри своей орбиты, но и с внешней стороны, граничащей с Сатурном. Влияние Юпитера оказалось настолько сильным, что от планеты, ожидаемой между Марсом и Юпитером на расстоянии 2,9 а.е. согласно плавной зависимости орбитальных радиусов планет от номера планет, осталось лишь кольцо астероидов.

Как следует из моделей протопланетного облака [23], в формуле для плотности вещества присутствует экспоненциальный множитель, обеспечивающий падение плотности с расстоянием. С учётом этого (19') является соотношением для скоростей вращения V вещества и расстояний r , которое должно выполняться для стационарных орбит (имея в виду также приближение, использованное при оценке поля кручения внутри облака). Другое соотношение между V и r следует из равенства гравитационного и центростремительного ускорений на орбите:

$$\frac{\gamma M_c}{r^2} = \frac{V^2}{r}. \quad (20')$$

Соотношения (19') и (20') задают те выделенные радиусы орбит и скорости вращения на них вещества, при которых выполняются одновременно условие устойчивости под действием радиальных сил, и условие равенства потоков энергии как условие отсутствия моментов сил, которые могли бы изменять орбиты. Условия устойчивости должны быть важны на начальном этапе, когда на некоторых выделенных орбитах в протопланетном облаке возникают первоначальные сгущения вещества. С течением времени вещество аккумулируется всё ближе к выделенным орбитам, где впоследствии и формируются планеты.

Представленное выше доказывает на наш взгляд важность гравитационного поля кручения не только в происхождении джетов в галактиках [26], вблизи быстровращающихся нейтронных звёзд, но даже и в масштабах звёздных и планетных систем. Так, в [27] при описании планетной системы 55 Cancri, в которой было обнаружено 5 планет, расположение планет неплохо аппроксимируется экспоненциальной формулой для закона Тициуса-Боде. Последняя из этих планет самая большая, достигая массы в три большей, чем масса Юпитера. Это обстоятельство, а также близость массы звезды к массе Солнца показывает подобие распределения вещества в протопланетных облаках. Однако в системе 55 Cancri планеты расположены существенно ближе к звезде, что можно объяснить особым характером распределения момента импульса протопланетного облака, отличающегося от распределения в Солнечной системе.

Дата публикации комментария №3: 26.12.2009.

4. Масса и радиус нуклона

Как мы нашли в комментарии 1, между массой и зарядом протона существует связь в силу предельного отношения между плотностями энергии гравитационного и электромагнитного полей, достигаемого при образовании протона. Рассмотрим теперь вопрос о том, какими параметрами определяются масса и радиус нуклона. Для этого вначале обратимся к нейтронным звёздам, согласно теории бесконечной вложенности материи являющимися аналогами нуклонов на уровне звёзд. Для оценки величин удобно использовать интегральный энергетический метод [25]. Полагая справедливой теорему вириала, полную энергию E_s звезды в момент её образования можно считать равной половине гравитационной энергии E_g :

$$E_s = E_g + E_k = \frac{E_g}{2} = -\frac{\delta\gamma M^2}{2R}, \quad (21')$$

где E_k – внутренняя энергия вещества, заключённая в движении нуклонов,

δ – коэффициент, зависящий от распределения вещества в звезде, для однородного случая $\delta = 0,6$,

γ – гравитационная постоянная,

M и R – масса и радиус звезды.

Будем считать, что каждый нуклон находится в потенциальной яме шириной x , а число нуклонов в звезде равно N . Тогда внутренняя энергия всех нуклонов согласно квантовой механике может быть представлена так:

$$E_k = \frac{Nh^2}{8M_n x^2}, \quad (22')$$

где h – постоянная Планка,

M_n – масса нуклона,

$$N = \frac{M}{M_n}.$$

Учтём теперь, что объём звезды состоит из N объемов, равных x^3 каждый. Отсюда следует:

$$x = \left(\frac{4\pi R^3}{3N} \right)^{1/3}. \quad (23')$$

Подставляя (23') в (22') и учитывая (21') и равенство $N = \frac{M}{M_n}$, находим связь между радиусом и массой звезды:

$$R = \left(\frac{3}{4\pi} \right)^{2/3} \frac{h^2}{4\delta\gamma M^{1/3} M_n^{8/3}} = \left(\frac{1,4M_c}{M} \right)^{1/3} \cdot 19 \text{ км}. \quad (24')$$

Отсюда следует, что при типичной массе нейтронной звезды, равной $1,4M_c$ (где M_c – масса Солнца), радиус только что образовавшейся звезды будет порядка 19 км. С учётом использованного простейшего подхода оценка радиуса звезды даёт правильный порядок величины. Для сравнения, в качестве типичного радиуса нейтронной звезды мы используем значение 12 км (смотри комментарий 16). Согласно (24') с ростом массы M радиус звезды уменьшается.

При образовании звезды из неё излучается энергия связи, равная в первом приближении модулю полной энергии звезды (21'). Очевидно, что энергия связи звезды должна быть меньше суммы энергий связи всех нуклонов звезды. Под энергией связи одного нуклона мы подразумеваем величину $M_n c^2$, а число

нуклонов в звезде равно $N = \frac{M}{M_n}$. Тогда соотношение между энергиями связи

можно записать так:

$$\frac{\delta\gamma M^2}{2R} = DMc^2, \quad (25')$$

где D – некоторое число, меньшее единицы.

Соотношение (25') задаёт связь между массой и радиусом звезды, также как и (24'). Решая эти соотношения совместно, находим массу и радиус нейтронной звезды как функции числа D :

$$M = \left(\frac{3}{4\pi}\right)^{1/2} \left(\frac{hc}{\delta\gamma}\right)^{3/2} \frac{D^{3/4}}{2^{3/4} M_n^2}, \quad R = \left(\frac{3}{4\pi}\right)^{1/2} \left(\frac{hc}{\delta\gamma}\right)^{1/2} \frac{h}{2^{7/4} c M_n^2 D^{1/4}}. \quad (26')$$

Если в (26') подставить $M = 1,4M_c$, то получаем оценку коэффициента $D = 0,033$. Это означает, что гравитационная энергия связи есть величина порядка 3,3 % от энергии покоя вещества звезды. Как видно из (26'), масса нейтронной звезды определяется физическими константами вещества – постоянной Планка h , скоростью света c , гравитационной постоянной γ , массой нуклона M_n . Небольшой коэффициент δ носит геометрический смысл, так как зависит только от распределения вещества в звезде. Остаётся ещё коэффициент D , связанный с различием плотности энергий сильной и обычной гравитации – за энергию связи звезды отвечает обычная гравитация, а за энергию связи нуклона отвечает сильная гравитация. Как бы то ни было, масса и радиус нейтронной звезды отнюдь не случайные величины, они жёстко связаны с параметрами вещества, из которого состоит звезда, и со свойствами гравитации на разных уровнях материи.

В силу подобия уровней материи [3] и SPФ-симметрии [28], для нуклонов также должны быть справедливы соотношения (26'), в которых следует заменить параметры вещества звезды на параметры вещества нуклона. Вместо постоянной Планка h необходимо использовать величину:

$$h_p = \frac{h}{\Phi_{SP}} = 1,3 \cdot 10^{-109} \text{ Дж}\cdot\text{с},$$

где h_p – постоянная действия для праонов, из множества которых состоит нуклон,

$\Phi = 1,62 \cdot 10^{57}$ – коэффициент подобия по массе между основными уровнями материи,

$S = 0,23$ – коэффициент подобия по скоростям,

$P = 1,4 \cdot 10^{19}$ – коэффициент подобия по размерам.

Название праоны мы ввели в § 6, когда на основе одного дополнительного предположения разрешили сразу несколько космологических проблем, включая эффект красного смещения удалённых галактик, тёмную материю и тёмную энергию, микроволновое фоновое излучение.

Если мы дополнительно заменим в (26') постоянную гравитации γ на постоянную сильной гравитации $\Gamma = 1,514 \cdot 10^{29} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$, скорость света c на величину $\frac{c}{S}$, массу нуклона M_n на массу праона $M_{pr} = \frac{M_n}{\Phi} = 10^{-84} \text{ кг}$, то получим соотношения для массы и радиуса нуклона, подобные (26'):

$$M_n = \left(\frac{3}{4\pi} \right)^{1/2} \left(\frac{h_p c}{\delta S \Gamma} \right)^{3/2} \frac{D^{3/4}}{2^{3/4} M_{pr}^2},$$

$$R_n = \left(\frac{3}{4\pi} \right)^{1/2} \left(\frac{h_p c}{\delta S \Gamma} \right)^{1/2} \frac{S h_p}{2^{7/4} c M_{pr}^2 D^{1/4}}.$$

Как и в случае с нейтронной звездой, масса нуклона определяется свойствами его собственного вещества, а также постоянной сильной гравитации, обеспечивающей целостность нуклона. Таким образом мы утверждаем, что в каждом гравитационном поле того или иного основного уровня материи у объектов существует одно такое соотношение массы и радиуса, при котором достигается наибольшая плотность гравитационной энергии. При этом значение массы и радиуса фиксируются с помощью законов квантовой механики, что указывает на значительное вырождение вещества. Чем выше масштабный уровень материи, тем меньшая плотность гравитационной энергии на этом уровне может быть достигнута. Такое положение обеспечивает существование объектов низших уровней материи внутри объектов высших уровней материи (пример – нуклоны внутри нейтронной звезды) и отсутствие чёрных дыр.

Дата публикации комментария №4: 27.12.2009.

5. Размер дейтрона

Описанию сил, действующих между элементарными частицами, а также между нуклонами в атомах, посвящён § 10. Исходя из этого сильное взаимодействие было сведено нами к сильной гравитации, взаимодействию между полями кручения в поле сильной гравитации, а также к электромагнитным силам различного типа (сила Лоренца, спиновые и спин-орбитальные эффекты). Затем мы нашли устойчивые конфигурации между нуклонами и построили

модели простейших атомных ядер вплоть до ядра атома лития ${}^6_3\text{Li}$. Для ядра дейтерия, состоящего из протона и нейтрона, мы с учётом баланса действующих сил, баланса энергии и экспериментальных результатов по рассеянию электронов определили расстояние $s \leq 0,78 \cdot 10^{-15}$ м между ближайшими поверхностями нуклонов. В расчёте энергий основной вклад делают энергия сильной гравитации при сближении частиц, кинетическая энергия вращения частиц друг возле друга, энергия поля кручения нуклонов и энергия взаимодействия спинов, энергия связи дейтрона. Если считать, что радиус нуклона $R_p = 8,73 \cdot 10^{-16}$ м, то радиус дейтрона не превышает величины $2R_p + \frac{s}{2} \leq 2,136 \cdot 10^{-15}$ м. Для сравнения, по экспериментальным данным из рассеяния электронов на дейтроне для среднеквадратичного радиуса дейтрона было найдено значение $1,95 \cdot 10^{-15}$ м [29], а согласно [75] это значение равно $2,14 \cdot 10^{-15}$ м. Если использовать величину внутреннего квадрупольного момента дейтрона $Q_0 = 2,74 \cdot 10^{-30}$ м² из [30], то это также позволяет оценить радиус дейтрона: $2,04 \cdot 10^{-15}$ м (подробнее об этом в § 10).

При рассмотрении ядра атома гелия мы нашли, что вследствие увеличения количества взаимодействующих нуклонов по сравнению с дейтроном расстояние между центрами соседних нуклонов уменьшается. В частности, оценка расстояния между центрами протонов даёт величину $R_{pp} = 1,89$ Фм. Пусть протон и нейтрон вращаются синхронно в одну сторону, находясь на одной оси вращения, например, вдоль оси OZ . Центр системы отсчёта расположен посередине между нуклонами, как на рисунке 9. Тогда экваториальные плоскости нуклонов будут параллельны плоскости XOY . Запишем предельное условие равенства ускорений в точках на экваторах нуклонов следующим образом:

$$\frac{\Gamma M_p}{R_p^2} + \frac{\Gamma M_p \sin \theta}{R^2 + R_p^2} = \frac{V_p^2}{R_p}, \quad (27')$$

где M_p – есть масса протона как мера массы нуклонов в дейтроне,

$\Gamma = 1,514 \cdot 10^{29}$ м³·кг⁻¹·с⁻² – постоянная сильной гравитации,

$\sin \theta = \frac{R_p}{R}$, угол θ образуется осью OZ и линией между центром одного нуклона и точкой экватора другого нуклона,

R – расстояние между центрами нуклонов,

V_p – скорость вращения экватора нуклона.

В (27') первый член определяет ускорение собственного тяготения сильной гравитации на поверхности нуклона в направлении экватора, второй член является проекцией ускорения, вызываемого сильной гравитацией от одного нуклона на экваторе другого нуклона в экваториальной плоскости последнего. Сумма этих членов равняется максимальному центростремительному ускорению, достигаемому на экваторе нуклонов. Используем теперь условие равенства силы гравитации вдоль оси OZ и силы отталкивания спинов нуклонов в поле сильной гравитации согласно (205) из § 10:

$$\frac{0,26GM_n M_p}{R^2} = \frac{3\eta\Gamma L^2}{2c^2 R^4}, \quad (28')$$

где L – максимальный спин нуклона, который можно выразить формулой для вращения шара:

$$L = 0,4M_p R_p V_p. \quad (29')$$

Коэффициент 0,26 в (28') появляется как следствие учёта экспоненциального спадания потока гравитонов в веществе нуклонов, а коэффициент η отражает соответствующее изменение силы взаимодействия спинов.

Соотношения (27') – (29') связывают четыре неизвестные величины R , η , L и V_p . Если считать, что среднеквадратичный зарядовый радиус дейтрона не превышает величины $R_{sq} = 2,13$ Фм, причём $R_{sq} = 0,5R + R_p$, то будет $R \leq 2,52$ Фм. Подставляя в (27') – (29') $R_p = 8,7 \cdot 10^{-16}$ м, получаем оценки величин: $\eta = 2,7$, $L = 3\hbar$, $V_p = 1,8c$, где \hbar – постоянная Дирака, c – скорость света.

То, что максимальная экваториальная скорость нуклона в дейтроне в 1,8 раза превышает скорость света, не является противоречивым или парадоксальным. Поскольку в специальной теории относительности всё измеряется с помощью скорости света, в ней возникает проблема с измерением скорости объектов, превышающей скорость света. Данную проблему обходят тем, что скорости и массы считаются вторичными физическими величинами, их находят путём вычисления по известным импульсам и энергиям. При этом энергия и импульс оцениваются с помощью лоренцевского фактора $\sqrt{1 - V^2/c^2}$, где скорость V движения объектов всегда предполагается меньшей скорости света.

Исходя из концепции энергии покоя как энергии связи нуклона в поле сильной гравитации (§ 17), мы принимаем, что скорость света равна характерной

скорости частиц внутри нуклона. В качестве максимальной скорости движения частиц вещества, из которого состоят нуклоны, предполагается скорость $c_p = 4,3c$. На уровне звёзд нуклонам соответствует нейтронная звезда с характерной скоростью частиц её вещества, равной $C_s = 6,8 \cdot 10^7$ м/с. В то же время нуклоны, из которых состоит нейтронная звезда, под действием гравитационных и электромагнитных сил можно разогнать лишь до скорости света, причём выполняется соотношение: $c = 4,3 C_s$. Для звезды можно также подсчитать первую космическую скорость из равенства гравитационного ускорения и центростремительного ускорения на экваторе:

$$\frac{\gamma M_s}{R_s^2} = \frac{V_s^2}{R_s}, \quad V_s = \sqrt{\frac{\gamma M_s}{R_s}} = 1,8 C_s, \quad (30')$$

где γ – гравитационная постоянная обычной гравитации, $M_s = 2,7 \cdot 10^{30}$ кг и $R_s = 12$ км – масса и радиус используемой нами модели нейтронной звезды.

Первая космическая скорость соответствует скорости вращения вокруг звезды на орбите минимального радиуса под действием силы гравитации. Выражение (30') аналогично найденному нами условию $V_p = 1,8c$ для нуклона в дейтроне.

Следует учесть, что поля кручения в дейтроне действуют таким образом, что при сближении нуклонов происходит раскрутка нуклонов до предельного значения с увеличением их спина. Эффект раскрутки осуществляется за счёт гравитационной индукции и носит характер обратной положительной связи – увеличение поля кручения в одном нуклоне ускоряет вращение этого нуклона, что в свою очередь приводит к ускорению вращения другого нуклона. Это приводит согласно (28') к быстрому росту силы отталкивания в поле кручения от спинов нуклонов, компенсирующей действие силы тяготения. Спин L каждого нуклона в дейтерии превышает квантовый спин $\hbar/2$, предполагаемый для свободных нуклонов. По мере сближения нуклонов в ядре растёт по модулю отрицательная энергия сильной гравитации и одновременно увеличиваются положительная кинетическая энергия вращения и положительная энергия поля кручения от спинов. В итоге энергия связи дейтрона оказывается невелика. Если к дейтрону подвести энергию, равную энергии связи, дейтрон распадется на нейтрон и протон. При этом энергия вращения и поля кручения будет компенсирована работой гравитационного поля по разделению нуклонов, и спины нуклонов уменьшатся до стандартных значений.

Приведённый выше расчёт дополнительно уточняет поведение нуклонов в атомном ядре и их устойчивость в поле сильной гравитации.

Дата публикации комментария №5: 27.01.2010.

6. Сильная гравитация и элементарные частицы

В комментарии 4 мы приводили формулу (24'), связывающую радиус и массу нейтронной звезды. Эта формула получалась из анализа состояния вещества с помощью квантовой механики. Очевидно, что в силу симметрии теории подобия между различными уровнями материи (СПФ-симметрии [28]) для элементарных частиц также возможно применить аналогичное соотношение. В таком случае для радиусов и масс адронов можно записать:

$$RM^{1/3} = const = R_p M_p^{1/3}, \quad R = R_p \left(\frac{M_p}{M} \right)^{1/3}. \quad (31')$$

где $const$ зависит только от свойств вещества, из которого состоят элементарные частицы, и от сильной гравитации, скрепляющей это вещество,

R_p и M_p обозначают радиус и масса протона.

Полагая радиус и массу протона известными, мы с помощью (31') можем оценить радиусы некоторых адронов по их массам. Результаты приведены в Таблице 1. В качестве радиуса протона взято значение $R_p = 8,7 \cdot 10^{-16}$ м.

Для оценки энергии связи частиц используем формулу (181) из § 10, записанную там для полной энергии протона и учитывающую теорему вириала:

$$E_p = -M_p c^2 = \frac{E_\Gamma}{2} = -\frac{\delta \Gamma M_p^2}{2R_p}. \quad (32')$$

Таблица 1.

Таблица 1. Характеристики некоторых элементарных частиц

Частица	Энергия покоя, МэВ	Масса, 10^{-27} кг	Радиус, 10^{-16} м	Энергия связи, МэВ
Протон p^+	938,272	1,6726	8,7	938,272
Пион π^+	139,567	0,249	16,4	11
Мюон μ^+	105,658	0,188	10900	0,095
Мезон f_0^0	600	1,1	10	354

В (32') полная энергия протона E_p , являющаяся отрицательной величиной, с точностью до знака равна положительной энергии связи протона $W_p = M_p c^2$, и может быть приблизительно вычислена как половина гравитационной энергии E_G в поле сильной гравитации.

Подставляя в (32') постоянную сильной гравитации $\Gamma = 1,514 \cdot 10^{29} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$, можно оценить значение постоянной: $\delta = 0,62$. Если бы протон имел однородную плотность вещества, было бы $\delta = 0,6$. По всей видимости, протон неоднороден и в его центре плотность вещества увеличена.

Мы считаем, что в протоне характерная скорость частиц вещества равна скорости света c . Тогда из равенства модуля полной энергии и энергии связи в (32') для протона следует, что его энергия покоя в Таблице 1 численно равна его энергии связи в поле сильной гравитации. Напомним, что для получения массы частицы в килограммах во второй колонке Таблицы 1, необходимо разделить энергию покоя частицы из первой колонки на квадрат скорости света, учитывая, что $1 \text{ МэВ} = 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$.

Для пиона энергия связи получается как модуль полной энергии аналогично (32'):

$$W_\pi = M_\pi C_\pi^2 = |E_\pi| = \frac{\delta \Gamma M_\pi^2}{2R_\pi}. \quad (33')$$

В отличие от протона, характерная скорость частиц C_π в пионе должна быть меньше скорости света. По определению, энергия связи есть величина энергии, добавление которой в систему необходимо для разделения системы на её составные части. Поэтому если к пиону с его полной энергией E_π (которая отрицательна) добавить положительную энергию связи W_π , суммарная энергия станет равна нулю и тогда вещество пиона может быть расплыено на бесконечность без затрат какой-либо ещё энергии. На основе формулы вида (33'), при значении $\delta = 0,62$ и исходя из радиусов и масс, были определены энергии связи частиц в Таблице 1.

Предположим, что для вещества нейтронных звёзд в приближении идеального газа выполняется соотношение между давлением P_{ns} , объёмом V_{ns} звезды и температурой T как в газовом законе:

$$P_{ns} V_{ns} = \frac{M}{\mu} R_g T = N k T, \quad (34')$$

где M – масса звезды,

μ – масса одного моля вещества,
 R_g – газовая постоянная,
 N – количество нуклонов в звезде,
 k – постоянная Больцмана.

Внутренняя энергия E_k звезды, рассматриваемая как тепловая энергия, в силу теоремы вириала может быть оценена как половина модуля гравитационной энергии согласно (21'):

$$E_k = -\frac{E_g}{2} = \frac{\delta\gamma M^2}{2R} = \frac{3}{2}NkT, \quad (35')$$

Приравнивая температуру в (34') и (35') и используя соотношение для объёма $V_{ns} = \frac{4\pi R^3}{3}$, выразим среднее давление в звезде:

$$P_{ns} = \frac{\delta\gamma M^2}{4\pi R^4}. \quad (36')$$

Массу M звезды можно найти через плотность вещества и объём:
 $M = \rho V_{ns} = \frac{4\pi\rho R^3}{3}$. Подставляя это в (36') и сочетая с формулой (24') в виде:

$$RM^{1/3} = d = R_s M_s^{1/3},$$

где постоянная d выражается через массу M_s и радиус R_s типичной нейтронной звезды, находим среднее давление:

$$P_{ns} = \frac{(4\pi)^{2/3}}{3^{5/3}} d \delta\gamma \rho^{5/3} = \frac{(4\pi)^{2/3}}{3^{5/3}} R_s M_s^{1/3} \delta\gamma \rho^{5/3} = K_s \rho^{5/3}, \quad (37')$$

здесь $K_s = \frac{(4\pi)^{2/3}}{3^{5/3}} R_s M_s^{1/3} \delta\gamma = 5,99 \cdot 10^3$ в единицах СИ при значении $\delta = 0,62$.

Если в качестве средней плотности нейтронной звезды взять величину $\rho = 3,7 \cdot 10^{17}$ кг/м³, находимую как отношение массы к объёму, то для среднего давления из (37') получается значение $1,1 \cdot 10^{33}$ Па.

Соотношение (37') описывает связь средних физических величин звезды. Аналогичное уравнение состояния вещества нейтронной звезды, задающее связь между плотностью вещества и давлением в каждой точке звезды, называется политропой. Для каждого класса политропии из общей теории политропных систем может быть определено отношение центральной плотности звезды к средней плотности. Показатель степени у плотности вещества в (37') равен $\frac{5}{3} = 1 + \frac{1}{n}$, что даёт показатель политропии $n = 1,5$. Однако этот показатель пригоден только для описания средних параметров звезды. Считается, что на самом деле политропа для вещества звезды имеет вид $P_{ns} = K \rho^{1+\frac{1}{n}}$, где $0,5 < n < 1$. Можно также оценить, исходя из различия между $\delta = 0,62$ для звезды и $\delta = 0,6$ для идеального случая с веществом однородной плотности, что отношение центральной плотности звезды к средней плотности равно 1,57.

Запишем теперь (37') для адронов с учётом (31'), сделав соответствующие замены:

$$P_a = \frac{(4\pi)^{\frac{2}{3}}}{3^{\frac{5}{3}}} R_p M_p^{\frac{1}{3}} \delta \Gamma \rho^{\frac{5}{3}} = K \rho^{\frac{5}{3}}, \quad (38')$$

где $K = \frac{(4\pi)^{\frac{2}{3}}}{3^{\frac{5}{3}}} R_p M_p^{\frac{1}{3}} \delta \Gamma = 8,4 \cdot 10^4$ в единицах СИ.

При средней плотности вещества в протоне $\rho_p = 6,1 \cdot 10^{17}$ кг/м³ давление в нём согласно (38') будет равно $3,7 \cdot 10^{34}$ Па. С другой стороны, давление внутри протона можно оценить по классической формуле:

$$P_p = \frac{\rho_p V_m^2}{2}, \quad (39')$$

где V_m – эффективная скорость частиц вещества внутри протона.

Если считать, что $V_m \approx c$, где c – скорость света, то из (39') получается давление $P_p = 2,7 \cdot 10^{34}$ Па, что достаточно близко к значению давления, находимому с помощью (38').

В Таблице 1 мы привели значения радиуса и энергии связи для мезона f_0^0 , время жизни которого очень мало. Ширина ΔE_f уровня энергии этого мезона находится в пределах от 600 до 1000 МэВ. Отсюда время жизни будет $\tau_f = \frac{\hbar}{\Delta E_f} = 8 \cdot 10^{-25}$ с. За такое время свет пройдёт путь не более, чем радиус

самого мезона. Это означает, что до начала распада мезон мог быть в состоянии, близком по форме к шару, что позволяет применить формулу вида (33') для оценки его энергии связи.

Рассмотрим снова результаты из § 12 в отношении массивных W^\pm и Z^0 векторных бозонов с энергиями покоя 80,398 ГэВ и 91,19 ГэВ соответственно. Они были обнаружены при столкновениях встречных пучков протонов и антипротонов и регистрировались по возникновению противоположно направленных позитронов (электронов) и нейтрино (антинейтрино) для W^\pm и по парам электрон – позитрон для Z^0 . Для возникновения векторных бозонов необходимо, чтобы протоны и антипротоны при столкновении обладали энергией по 270 ГэВ каждый. Это в 287 раз больше энергии покоя нуклона. Поскольку давление внутри нуклона пропорционально плотности полной энергии, мы предполагаем, что при столкновении нуклонов большой энергии пропорционально должно увеличиться давление в зоне столкновения. В таком случае максимальное динамическое давление может быть равным величине $P'_p = 287P_p$. Применяя (38'), для максимальной плотности вещества следует ожидать значения $\rho'_p = 287^{3/5} \rho_p$. Оценим с этими данными скорость частиц в зоне столкновения из (39'):

$$V_m = \sqrt{\frac{2P'_p}{\rho'_p}} = 287^{1/5} \sqrt{\frac{2P_p}{\rho_p}} = 3,1c, \quad (40')$$

где c – скорость света.

В комментарии 5 мы приводили значение первой космической скорости для нуклона: $V_p = 1,8c$. Вторая космическая скорость (скорость испарения вещества нуклона) получается приравниванием потенциальной энергии поля сильной гравитации и кинетической энергии, необходимой для выброса вещества массы m с поверхности нуклона на бесконечность:

$$\frac{\Gamma M_p m}{R_p} = \frac{m V_{p2}^2}{2}, \quad V_{p2} = \sqrt{\frac{2\Gamma M_p}{R_p}} = 2,5c. \quad (41')$$

Значение V_{p2} в $\sqrt{2}$ раз больше, чем V_p . Известно, что средний поперечный импульс пионов, рождающихся при взаимодействии адронов, лежит в пределах $p_\pi = \frac{1}{c} \cdot (0,3 - 0,5) \text{ ГэВ}$ и мало зависит от типа и энергии сталкивающихся частиц, от множественности рождения частиц и т.д. Разделив импульс пиона p_π на массу пиона, находим скорость в диапазоне $V_\pi = (2,2 - 3,6)c$, причём скорости (40') и (41') находятся внутри этого диапазона.

Из (40') и (41') видно, что V_m превышает V_{p2} . Это означает, что при столкновении с достаточной энергией часть вещества может преодолеть притяжение сильной гравитации и вылететь из протона или антинейтрона таким образом, что вылетевшее вещество окажется парой лептонов, как при обнаружении векторных бозонов W^\pm и Z^0 . Мы предполагаем, что векторные бозоны, а точнее соответствующие им пары лептонов, являются следствием достижения того порога энергии столкновения, когда во всём веществе нуклонов достигаются скорости, превышающие скорости V_{p2} . В этом случае вещество имеет возможность свободно испаряться с поверхности нуклона не в виде пионов, а в виде лептонов.

Рассмотрим теперь взаимодействия протонов и антипротонов с ещё большей энергией, порядка 980 ГэВ на нуклон. В 1995 г. в экспериментах на коллайдере Теватрон был обнаружен t-кварк с энергией 173,1 ГэВ, по его распаду на b-кварк и W -бозон. Энергия 980 ГэВ в 1045 раз превышает энергию покоя протона. Делая вычисления динамического давления в веществе нуклонов и оценивая при этом максимальную плотность вещества, как в (40'), находим эффективную скорость частиц этого вещества:

$$V_m = \sqrt{\frac{2P'_p}{\rho'_p}} = 1045^{1/5} \sqrt{\frac{2P_p}{\rho_p}} = 4c. \quad (42')$$

Конечно, мы не можем утверждать, что формулы (38') и (39') остаются достаточно точными при больших энергиях столкновений. Тем не менее из (42') видно, что эффективная скорость частиц вещества внутри нуклонов увеличивается при росте энергии столкновения. По нашему мнению, эта скорость не может превысить скорость $c_p = 4,3c$ (смотри комментарий 5).

Данная скорость является предельной для движения частиц в веществе нуклонов, и точно также скорость света $c = 4,3 C_s$ является предельной для движения нуклонов внутри нейтронной звезды. Очевидно, что при определённой энергии столкновения может быть достигнута скорость V_m такая, что она будет достаточно близка к скорости c_p . Допустим, что это как раз и происходит в тех процессах, когда обнаруживают t-кварк. В таком случае появление резонансного состояния и t-кварка можно понимать как указание на то, что в веществе сталкивающихся нуклонов достигаются скорости, при которых осуществляется особое граничное состояние взаимодействия частиц этого вещества. Можно заметить, например, что энергия t-кварка очень близка к сумме энергий W – бозона и Z – бозона. Время жизни t-кварка составляет крайне малую величину – в стандартной теории оно может быть оценено из соотношения неопределённости Гейзенберга как время порядка 10^{-25} с. Результатом столкновения при таких энергиях неизбежно является развал нуклонов на отдельные части, разлетающиеся в виде струй нуклонного вещества в разных направлениях.

Ожидается, что при очень больших энергиях столкновений нуклонов на большом адронном коллайдере могут быть обнаружены также бозоны Хиггса, с энергией от 123 до 277 ГэВ [53]. Бозоны Хиггса считаются квантами гипотетического хиггсовского поля, вследствие взаимодействия с которым кварки, векторные бозоны W^\pm и Z^0 , и даже лептоны приобретают свою массу. С другой стороны, при скоростях взаимодействия, равных $c_p = 4,3 c$, само вещество адронов должно начать разрушаться. Это же будет происходить и в веществе двух нейтронных звёзд, если столкнуть их так сильно, что в результате столкновения скорости всех нуклонов вещества звёзд достигнут скорости света. При $c_p = 4,3 c$ адронное вещество по уровню энергонасыщенности будет приобретать свойства квантов поля, то есть фотонов, связанных с адронным уровнем вещества. По своему смыслу это может соответствовать проявлению бозонов Хиггса из стандартной теории. Из соотношений типа (40') и (42') можно оценить, что для достижения скорости $V_m = 4,3 c$ частиц вещества нуклонов последние в столкновениях должны иметь энергии до 1,4 ТэВ, что попадает в диапазон энергий протонов, ускоряемых на большом адронном коллайдере.

С помощью данных Таблицы 1 попробуем понять, почему считают, что лептоны не участвуют в сильном взаимодействии. Рассмотрим также взаимосвязь между релятивистской формулой для энергии в специальной теории относительности, используемой для расчётов в физике элементарных частиц, с энергиями связи в Таблице 1. Для примера вычислим с помощью (41') максимальную скорость, которую приобретает вещество при падении из бесконечности с нулевой начальной скоростью на поверхность пиона. Используя массу и радиус пиона из Таблицы 1, для скорости падения получается значение

$$V_{\pi 2} = \sqrt{\frac{2\Gamma M_{\pi}}{R_{\pi}}} = 0,71c. \text{ Данная скорость почти достигает скорости света. За}$$

счёт действия сильной гравитации взаимодействие с пионами происходит так, что становится необходимым учитывать релятивистские эффекты даже при минимальных кинетических энергиях движения пионов. В гипотетическом случае слияния двух положительно и отрицательно заряженных пионов с малыми начальными импульсами должна образоваться нейтральная частица с массой, равной сумме масс двух пионов. Радиус этой частицы можно оценить с помощью (31'), что даёт $R_{2\pi} = 1,3 \cdot 10^{-15}$ м. Энергия связи как модуль полной энергии согласно формуле (33') будет равна:

$$W_{2\pi} = \frac{\delta \Gamma M_{2\pi}^2}{2R_{2\pi}} = 56 \text{ МэВ.} \quad (43')$$

До взаимодействия у каждого пиона была энергия связи по 11 МэВ, после взаимодействия энергия связи возникшей частицы увеличилась до 56 МэВ. Следовательно, в результате слияния пионов должна выделиться энергия, равная по величине $56 - 11 - 11 = 34$ МэВ. Мы не учитываем в данном расчёте электрическую энергию пионов из-за её небольшого значения. Если избыточная энергия 34 МэВ рассеется в пространстве изотропно в виде мельчайшего нейтринного и электромагнитного излучения от вещества пионов, то оно не сможет быть зарегистрировано в эксперименте в виде достаточных для измерения квантов (для фиксации фотона или нейтрино из области реакции они должны быть первоначально сфокусированы в узком пространственном угле). Возникшая нейтральная частица, если она не распадётся или не провзаимодействует с другими частицами, также не сможет быть обнаружена в эксперименте.

С точки зрения специальной теории относительности, энергия E тела массы m складывается из двух частей по формуле:

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}, \quad (44')$$

где импульс тела $p = \frac{E V}{c^2}$.

Поскольку mc^2 есть энергия покоя, то согласно (44') энергия E определяется вкладом энергии покоя и вкладом кинетической энергии от импульса p . В свою очередь, импульс зависит не только от скорости V , но и от значения E . Если подставить $p = \frac{E V}{c^2}$ в (44'), получится следующее:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}. \quad (45')$$

При нулевой скорости энергия тела становится равной энергии покоя: $E_0 = mc^2$. Если применить (44') и (45') к рассмотренному выше случаю слияния двух пионов при условии $V = 0$ (начальная скорость пионов равна нулю), то видно, что до столкновения пионы имели лишь свою энергию покоя. После столкновения пионов образуется новая частица с массой, равной двум исходным массам пионов (мы не учитываем здесь тот эффект, который в общей теории относительности связан с отрицательной энергией гравитации и уменьшает массу тела пропорционально этой энергии). Таким образом, до и после столкновения энергия покоя не меняется и для двух пионов равна сумме их энергий покоя. Учёт импульсов взаимодействующих частиц добавляет необходимость использования закона сохранения импульса и приводит к изменению энергий частиц согласно (44'). В данной картине совершенно не учитываются внутренние процессы в системе взаимодействующих частиц и обмен их энергии с полем сильной гравитации – рассматриваются лишь входные и выходные параметры энергии и импульса. Поэтому детали взаимодействия, физические параметры частиц (радиусы, энергии связи, состав вещества и его изменение) оказываются во многих случаях никак не определяемыми. Таким образом, использование формул для сильной гравитации необходимо не только для нахождения условий равновесия нуклонов в атомных ядрах, но и для более глубокого описания взаимодействий и превращений элементарных частиц.

Для случая, когда частицы 1 и 2 взаимодействуют между собой с образованием новых частиц 3 и 4, баланс энергий и импульсов в СТО имеет вид:

$$E_1 + E_2 = E_3 + E_4, \quad \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 = \mathbf{p}_3 + \mathbf{p}_4.$$

Этот же самый случай с учётом полных энергий E частиц, находимых по формуле типа (32'), и кинетических энергий движения T частиц может быть записан так:

$$E_1 + T_1 + E_2 + T_2 = E_3 + T_3 + E_4 + T_4 + E_f + E_f, \quad \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 = \mathbf{p}_3 + \mathbf{p}_4,$$

где $T_i = E_i - m_i c^2 = \sqrt{p_i^2 c^2 + m_i^2 c^4} - m_i c^2$ – кинетическая энергия i -ой частицы согласно СТО.

В приведённой записи подразумевается, что количество вещества частиц 1 и 2 перешло в количество вещества частиц 3 и 4, а в результате взаимодействия выделилась (или наоборот, добавилась) энергия сильной гравитации E_G , связанная с изменением радиусов и масс частиц. Кроме этого, приведена энергия возникающего электромагнитного и нейтринного излучения E_f . Очевидно, что балансы энергии различаются по своей сущности, отражая ситуацию либо извне, как в СТО, либо учитывая внутренние процессы с участием сильной гравитации.

Выше мы нашли, что скорость свободно падающего на поверхность пиона вещества должна быть не менее $0,71c$. Пион является наилегчайшим из всех адронов, поэтому у остальных адронов скорость падения вещества будет ещё больше. При малых кинетических энергиях взаимодействия с адронами вклад в общую энергию от работы поля сильной гравитации либо меньше, либо сопоставим с энергией покоя. Это приводит к тому, что вещество адронов при взаимодействиях движется со скоростями, достаточно близкими к скорости света. Вещество при таких скоростях может быть удержано только сильной гравитацией. Следовательно, если в реакции с элементарными частицами имеется хотя бы один адрон, то заметно проявляется и сильное взаимодействие между этим адроном и другими частицами.

Почему же считается, что лептоны вообще не участвуют в сильном взаимодействии? Возьмём для примера мюон, имеющий энергию покоя 105,658 МэВ и массу, в 8,88 раз меньше, чем у протона. На уровне звёзд протону соответствует нейтронная звезда (магнитар) с массой $1,35M_c$, где M_c – масса Солнца, а мюону соответствует белый карлик с массой $0,16M_c$. Радиус такого белого карлика должен быть около $R_{wd} = 1,5 \cdot 10^7$ м, а центральная плотность вещества достигает 10^8 кг/м³. Подобные белые карлики не устойчивы, поскольку их масса $0,16M_c$ при данной плотности вещества практически совпадает с минимальным пределом Чандрасекхара для гелиевых белых карликов [32]. Из наблюдений, масса одного из самых легчайших гелиевых белых карликов SDSS J0917+46 равна $0,17M_c$ [37]. Переходя обратно к мюону, оценим его радиус с

помощью теории подобия и пропорции: $\frac{R_{wd}}{R_s} = \frac{R_\mu}{R_p}$, где $R_s = 12$ км – радиус нейтронной звезды. Значение радиуса мюона получается равным $R_\mu = 1,1 \cdot 10^{-12}$ м. Мы можем также вычислить энергию его связи аналогично (33') и (43'), и скорость падения вещества на его поверхность по формуле (41'):

$$W_\mu = \frac{\delta \Gamma M_\mu^2}{2R_\mu} = 9,5 \text{ кэВ}, \quad V_{\mu 2} = \sqrt{\frac{2\Gamma M_\mu}{R_\mu}} = 7,2 \cdot 10^6 \text{ м/с}.$$

Оценим теперь спин мюона. В [1] было введено понятие характерного момента импульса объекта, который находился по формуле: $L_x = M C_x R$, причём характерная скорость C_x частиц вещества объекта связывалась с модулем полной энергии объекта по формуле типа (33'):

$$W = M C_x^2 = \frac{\delta \Gamma M^2}{2R}. \quad (46')$$

С другой стороны, там же для протона была найдена формула $\hbar = 2M_p c R_p$, так что для характерного спина протона получается: $\frac{\hbar}{2} = \frac{M_p c R_p}{2\pi}$. Здесь c – скорость света и характерная скорость частиц вещества протона. Если применить такой же подход для характерного спина мюона с учётом (46'), получится следующее:

$$L_\mu = \frac{M_\mu C_\mu R_\mu}{2\pi} = \frac{M_\mu R_\mu}{2\pi} \sqrt{\frac{\delta \Gamma M_\mu}{2R_\mu}} = 9,3 \cdot 10^{-35} \text{ Дж}\cdot\text{с}.$$

Характерный спин мюона оказывается достаточно близким к значению квантового спина $\frac{\hbar}{2} = 5,27 \cdot 10^{-35}$ Дж·с, как это принято для фермионов и лептонов. Применяя такой же расчёт для пиона с его радиусом из Таблицы 1, находим спин равным $0,052 \hbar$, то есть значительно меньше минимального спина фермиона, равного $\frac{\hbar}{2}$. Вероятно поэтому квантовый спин пиона полагается равным нулю, а сам пион считается бозоном. Поскольку пион отличается от протона (являющегося фермионом) лишь уменьшенной массой, то отсюда видно, что общепринятое подразделение элементарных частиц по значению спина на фермионы и бозоны не совсем корректно в свете того, что бозонам и фермионам предписывается кардинальное различие в поведении за счёт действия принципа Паули.

Мюоны не устойчивы относительно распада своего вещества, как и соответствующие им белые карлики, у которых силы гравитации оказываются недостаточно для удержания вещества в состоянии плотной ионно-электронной плазмы. В связи с этим мюоны в зависимости от своего заряда распадаются на электрон (позитрон), мюонное и электронное нейтрино (антинейтрино). Из-за

большого радиуса энергия связи мюона мала, так же как и скорость падения на него вещества.

Положительный мюон и электрон могут образовать мюоний, напоминающий атом водорода, в котором роль протона играет мюон. В § 14 мы писали, что вследствие малой массы сильная гравитация не способна удержать вещество электрона против силы электрического расталкивания от собственного заряда электрона, так что электрон не может считаться самостоятельной частицей. Лишь в атоме, где на электрон, находящийся в виде вращающегося облака вокруг ядра, действует сильная гравитация, возможна стабилизация электрона. В атоме водорода на заряженное вещество электрона действует электрическая сила притяжения от ядра, но она компенсируется электрической силой от самого заряда электрона. В теории Бора последняя сила никак не учитывалась (электрон считался не облаком, а точкой), и электрическая сила приравнивалась к центростремительной силе от вращения вокруг ядра. На самом же деле к центростремительной силе следует приравнивать силу от действия сильной гравитации между ядром и электроном. Из равенства четырёх указанных сил вытекало наше определение постоянной сильной гравитации:

$$\frac{\Gamma M_p M_e}{R^2} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R^2}, \quad \Gamma = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 M_p M_e}. \quad (47')$$

Из (47') видно, что вследствие меньшей массы мюона по сравнению с массой протона сильная гравитация между мюоном и электроном значительно слабее, чем электрическая сила. Поэтому состояние мюония определяется в основном электрическими силами. Отсюда видна историческая причина того, что лептонам принципиально было отказано в участии в сильном взаимодействии – из-за небольшой массы и значительного электрического заряда у лептонов почти всегда преобладает электромагнитное взаимодействие.

Такие лептоны, как нейтрино, ведут себя подобно мельчайшим фотонам (подробнее об этом в комментарии 2). В таком случае их взаимодействие с сильной гравитацией должно сводиться к изменению энергии при прохождении в гравитационном поле, аналогично эффекту гравитационного красного смещения. Этот эффект практически незаметен в современных экспериментах с нейтрино. Однако уже при взаимодействии двух мюонов между собой сильная гравитация будет превышать электрическую силу в 23 раза. В 2005 г. в научном центре Фермилаб было исследовано состояние с энергией 214,3 МэВ, распадающееся на положительный и отрицательный мюоны [52]. Очевидно, что для правильного описания взаимодействия этих лептонов необходим учёт сильной гравитации.

Рассмотрим теперь τ – лептон, энергия покоя которого велика и равна 1,777 ГэВ, при времени жизни $2,9 \cdot 10^{-13}$ с. Этот лептон обнаруживается при столкновениях электронов и позитронов с энергией в системе центра масс более 3,54 ГэВ, когда рождаются лептонные пары τ^+ и τ^- . Затем τ – лептоны

распадаются либо на τ –лептонное нейтрино плюс адроны типа пионов или ρ –мезонов, либо на τ –лептонное нейтрино плюс мюон (электрон) и мюонное (электронное) антинейтрино [33], [34].

На уровне звёзд τ –лептому соответствует звёздный объект с массой $2,56M_c$ со временем жизни до 0,5 года (для получения этих значений необходимо умножить массу и время жизни τ –лептона на соответствующие коэффициенты подобия: по массе $\Phi = 1,62 \cdot 10^{57}$, и по времени $\Pi = 6,1 \cdot 10^{19}$ согласно [3]). Существует предположение, что данный звёздный объект может быть горячей нейтронной звездой максимально возможной массы, распадающейся после охлаждения либо на нейтронные звёзды меньшей массы (являющиеся аналогом мезонов при распаде τ –лептона), либо на объекты, соответствующие мюону, электрону и нейтрино. При этом мюону на уровне звёзд соответствует белый карлик, электрону – заряженный и замагниченный объект с массой порядка $0,78M_J$, где M_J – масса Юпитера. Практически все нейтронные звёзды имеют сильные магнитные поля, приводящие к появлению джетов, вдоль которых происходит излучение. Магнитное поле ориентирует вещество звезды, поэтому нейтринное излучение оказывается поляризованным. Точно также при распаде τ –лептона может осуществляться поляризация нейтрино и его фиксация как отдельной элементарной частицы.

Расчёты состояния вещества нейтронных звёзд предсказывают верхний предел массы для этих звёзд в диапазоне $2,5 - 3M_c$, это так называемый предел Оппенгеймера-Волкова [36]. При превышении массы выше данного предела давление вырожденного нейтронного газа может оказаться неспособным компенсировать силу гравитации. Масса $2,56M_c$ для звёздного объекта-аналога τ –лептона как раз лежит внутри предела Оппенгеймера-Волкова, так что нейтронная звезда такой массы, если она возникнет, будет распадаться (здесь мы не разделяем идею о том, что чёрные дыры существуют и достаточно массивная нейтронная звезда может в них превратиться).

Одним из таинственных вопросов в картине образования τ –лептона, а также и ряда других элементарных частиц, является следующий вопрос: каким образом кинетическая энергия ускоренных электронов и позитронов преобразуется в массу возникающих при столкновении частиц? В специальной теории относительности (СТО) данный вопрос практически не ставится, в ней считается достаточным баланс энергий, учитывающий энергии покоя и кинетические энергии частиц, и баланс импульсов в начале и в конце происходящей реакции. Из (44') и (45') видно, что энергия покоя фактически сводится к массе согласно определению $E_0 = mc^2$. А масса элементарной частицы пропорциональна количеству тех мельчайших частиц, из которых составлено вещество данной элементарной частицы. Точно также масса звёздных объектов определяется количеством нуклонов в этих объектах. Таким образом энергия частиц E в (44')

отражает взаимосвязь двух энергий – одна из них связана с массой-энергией вещества, взаимодействующего со скоростью света, а другая – с кинетической энергией движения вещества за счёт движения частиц. Потенциальная энергия тел и соответствующие гравитационные и электромагнитные силы в расчётах в СТО обычно не участвуют, так как наличие сил приводит к ускорениям и к неинерциальности систем отсчёта. Между тем, формулы СТО выведены в предположении лишь инерциальных систем отсчёта. Поэтому в СТО допускается возникновение состояний элементарных частиц с энергией покоя такой, что вклад в неё делают не только энергии покоя исходных взаимодействующих частиц, но и их кинетическая энергия.

С другой стороны, можно говорить не столько о массе частиц, сколько об их энергии. Тогда энергия покоя τ -лептона означает не его реальную массу согласно равенству $E_0 = mc^2$, а только ту энергию согласно СТО, которую получают частицы в результате распада τ -лептона. В таком случае выполняется баланс энергий частиц до и после образования τ -лептона, а то состояние, которое возникает при столкновении электрона с позитроном, лишь соотносится по энергии с массой τ -лептона.

Каким же образом тогда возникают мюоны в событиях с τ -лептоном? В § 14 мы описывали звёздную модель электрона в атоме водорода в виде заряженного и замагниченного облака вокруг магнитара. Вещество облака должно быть обогащено железом, что следует из возможных процессов образования облака – либо при распаде планет при их приближении к магнитару в ходе длительной эволюции остаются лишь железные ядра планет, либо нейтронные звёзды сбрасывают свои железные оболочки в процессах, аналогичных β -распаду нейтрона. Звёздный аналог позитрона отличается от звёздного аналога электрона только знаком заряда, а не составом вещества облака. При достаточно большой энергии столкновения таких облаков (как при столкновении электрона и позитрона) может произойти частичная нейтронизация железа и вещества, входящего в состав этих облаков, с образованием фазы вещества белых карликов. Для маломассивных белых карликов справедливо соотношение (в системе единиц СИ) между давлением и плотностью вещества [38]:

$$P_{wd} = \frac{1,0036 \cdot 10^7}{\mu_z^{5/3}} \rho^{5/3}, \quad (48')$$

где μ_z – количество нуклонов на один электрон.

Полагая, что $\mu_z = 2$, при средней плотности вещества $2,3 \cdot 10^7$ кг/м³ из (48') получается среднее давление в белом карлике: $P_{wd} = 5,9 \cdot 10^{18}$ Па. Разделив это

давление на коэффициент подобия по давлению аналогично (14'), оценим давление внутри мюона:

$$P_{\mu} = \frac{P_{wd} P^3}{\Phi S^2} = 5,9 \cdot 10^{20} \text{ Па}, \quad (49')$$

здесь $\Phi = 1,62 \cdot 10^{57}$, $S = 0,23$, $P = 1,4 \cdot 10^{19}$ – коэффициенты подобия по массе, скоростям и размерам между нейтронными звёздами и нуклонами.

Найдём плотность вещества электрона, для чего разделим плотность железа $\rho_{Fe} = 7900 \text{ кг/м}^3$, из которого предположительно состоят звёздные облака-аналоги электронов вокруг магнитаров, на коэффициент подобия по плотности:

$$\rho_e = \frac{\rho_{Fe} P^3}{\Phi} = 1,3 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3. \quad (50')$$

Если электрон и позитрон сталкиваются друг с другом со скоростью света, то давление в зоне столкновения по формуле типа (39') будет равно:

$$P_{ee} = \frac{\rho_e c^2}{2} = 5,8 \cdot 10^{20} \text{ Па}. \quad (51')$$

Давление P_{μ} внутри мюона из (49') того же порядка, что и давление P_{ee} . Следовательно, при столкновении релятивистских электронов и позитронов возможно образование мюонной фазы вещества. Масса этой фазы может увеличиться за счёт слияний при нескольких близких столкновениях электронов и позитронов вплоть до масс, типичных для отдельных мюонов. При энергии электрон-позитронных пучков порядка 2 ГэВ и более мюонная фаза при слиянии достаточного количества вещества под действием сильной гравитации может превратиться также в пионы и другие маломассивные мезоны. Описанное позволяет объяснить возникновение мюонов и пионов в столкновениях электронных и позитронных пучков в событиях, связанных с τ – лептоном.

В настоящее время одним из самых массивных мезонных резонансов является $Y^0(11020)$ с энергией 11019 МэВ, со спином 1 и состоящий из комбинации $b\bar{b}$ кварков. Среди барионов самый массивный вероятно Ξ_b^- с энергией 5792,9 МэВ, со спином $\frac{1}{2}$ в единицах постоянной Дирака, временем жизни 1,42 пс и комбинацией кварков dsb . В § 12 мы предположили, что кварки являются не настоящими частицами, а квазичастицами, и сами могут быть представлены как некоторые комбинации двух фаз адронного вещества. Данные

фазы вещества, получившие название α – фаза и β – фаза, образуют нейтрон и протон. Так как все адроны считаются состоящими из кварков, то это даёт возможность выразить состав каждого адрона через комбинации α – фазы и β – фазы адронного вещества. Это позволило приблизиться к представлению о возможной структуре вещества адронов и показать, что кварки являются материальным представлением симметрии, присущей адронам и их резонансным состояниям. В частности, различие свойств адронов возникает из-за разного количества входящего в них адронного вещества в двух его состояниях (α – фаза и β – фаза), имеющего возможность быть по-разному заряженным и намагниченным по отношению друг к другу и находящегося в различных пространственных конфигурациях.

При образовании адронов в реакциях взаимодействия элементарных частиц необходимо учитывать следующие факторы:

1. Закон сохранения массы-энергии взаимодействующих частиц.
2. Закон сохранения импульса.
3. Закон сохранения момента импульса с учётом преобразования линейного импульса частиц в квантованный момент импульса результирующего состояния, при условии ограниченного радиусами частиц прицельного расстояния.
4. Неэквивалентность сложения и вычитания орбитального момента импульса с точки зрения преобразования энергии движения и вращения во внутреннюю энергию частиц, что приводит к отличиям возникающих состояний.
5. Сочетания различных состояний адронного вещества взаимодействующих частиц, зависящих в свою очередь от электромагнитной упорядоченности этого вещества (магнитные моменты, заряды, токи в веществе, их ориентация относительно спина).
6. Возможность соединения частиц подобно тому, как это происходит в атомном ядре.

Дополнительными факторами, усложняющими внутреннюю структуру адронов, могут быть следующие:

- 1) сверхпроводящие слои и оболочки, разделяющие разные фазы вещества друг от друга или существующие в них;
- 2) электрические токи, протекающие в оболочках и создающие дополнительные магнитные моменты;
- 3) взаимодействие между магнитными моментами от различных фаз вещества и от токов;
- 4) передача момента импульса посредством магнитного поля и гравитационного поля кручения;
- 5) гиромангнитные и магнитоиндукционные эффекты при взаимодействии частиц;

- 6) взаимодействие электрических зарядов, как в веществе частиц, так и между частицами;
- 7) предельное и сверхпредельное вращение, приводящее к неустойчивости относительно вращения и к разделению резонансов на более мелкие адроны;
- 8) неустойчивости вещества под действием гравитационных и электромагнитных сил, вследствие протекания в веществе реакций сильного, электромагнитного и слабого взаимодействий.

В стандартной теории кварки участвуют в четырёх фундаментальных взаимодействиях – сильном, слабом, электромагнитном и гравитационном. Лептоны наряду с кварками рассматриваются как основные элементарные частицы, но для лептонов сильное взаимодействие не допускается. Если же рассматривать сильную гравитацию в нашей модели, то она является основной частью сильного взаимодействия, дополнительной частью которого являются силы от полей гравитационного кручения и электромагнитные силы. В таком случае лептоны также должны участвовать в сильном взаимодействии, как и любые другие материальные частицы (если не считать квантов поля, особым образом взаимодействующих с гравитацией).

Дата публикации комментария №6: 11.02.2010.

7. Странные адроны

Гиперон Λ^0 относится к так называемым странным барионам. Его энергия равна 1115,683 МэВ, время жизни 0,2631 нс, спин равен $\frac{1}{2}$ в единицах постоянной Дирака. Особенностью данного бариона является то, что он распадается либо на протон и отрицательный пион (64,1 % случаев), либо на нейтрон и нейтральный пион (35,7 % случаев). Это указывает на то, что Λ^0 может состоять из нуклона и пиона и распасться вследствие возникающей неустойчивости. Для проверки этой гипотезы рассмотрим стационарное состояние протона и отрицательного пиона, когда они вращаются друг возле друга вдоль одной оси вращения так, что их поля кручения от спинов отталкиваются друг от друга. В равновесии сила отталкивания спинов частиц должна компенсировать действие притяжения от сильной гравитации. По аналогии с результатами комментария 5 и § 10, где мы изучали равновесное состояние нуклонов в дейтроне, можно записать уравнения для сил и для энергий:

$$\frac{\beta \Gamma M_p M_\pi}{R^2} = \frac{3\eta \Gamma L_p L_\pi}{2 c^2 R^4}, \quad (52')$$

$$-\frac{\beta \Gamma M_p M_\pi}{R} + U_p - U_{p0} + U_\pi - U_{\pi0} + \eta U_o + \frac{L_p^2}{2I_p} - \frac{L_{p0}^2}{2I_p} + \frac{L_\pi^2}{2I_\pi} - \frac{L_{\pi0}^2}{2I_\pi} + \mathcal{E}_{p\pi} \approx 0, \quad (53')$$

где β – небольшой коэффициент, оценка которого для случая взаимодействия двух нуклонов даёт значение $\beta = 0,26$,

$\Gamma = 1,514 \cdot 10^{29} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ – постоянная сильной гравитации,

M_p и M_π – массы протона и пиона соответственно,

R – расстояние между центрами протона и пиона,

η – коэффициент, учитывающий изменение силы и энергии взаимодействия спинов за счёт поглощения гравитонов в теории гравитации Лесажа, для случая взаимодействия двух нуклонов $\eta < 2,8$,

L_p и L_π – спины протона и пиона соответственно,

c – скорость света,

$U_p = -\frac{83\Gamma L_p^2}{252c^2 R_p^3}$ – энергия поля кручения протона при соединении с пионом,

$U_\pi = -\frac{83\Gamma L_\pi^2}{252c^2 R_\pi^3}$ – энергия поля кручения пиона при соединении с протоном,

U_{p0} – энергия поля кручения протона до соединения с пионом,

$U_{\pi0}$ – энергия поля кручения пиона до соединения с протоном,

$U_o = -(\mathbf{L} \cdot \mathbf{\Omega}) \approx \frac{\Gamma L_p L_\pi}{c^2 R^3}$ – внешняя энергия поля кручения как энергия двух

спинов в поле друг друга, равная удвоенной энергии одного спина во внешнем поле кручения от второго спина,

L_{p0} и $I_p = 0,4M_p R_p^2$ – начальный спин и момент инерции протона,

$L_{\pi0}$ и $I_\pi = 0,4M_\pi R_\pi^2$ – начальный спин и момент инерции пиона,

$\mathcal{E}_{p\pi}$ – энергия связи протона и пиона.

В (53') не учитываются электромагнитные силы между протоном и пионом из-за их небольшой величины. Будем считать, что величины U_π , $U_{\pi0}$ можно отбросить, так как они значительно меньше, чем U_o . Полагая, что $L_p \gg L_\pi$,

пренебрежём членами с L_π и с $L_{\pi 0}$. Для предварительного расчёта положим, что $\varepsilon_{p\pi} = 0$, тогда (53') приводится к виду:

$$\frac{\beta \Gamma M_p M_\pi}{R} = \frac{\eta \Gamma L_p L_\pi}{c^2 R^3} + \frac{L_p^2 - L_{p0}^2}{2I_p} - \frac{83 \Gamma (L_p^2 - L_{p0}^2)}{252 c^2 R_p^3}. \quad (54')$$

Добавим теперь условие устойчивости вещества на экваторе пиона аналогично (27'):

$$\frac{\Gamma M_\pi}{R_\pi^2} + \frac{\Gamma M_p \sin \theta}{R^2 + R_\pi^2} = \frac{V_\pi^2}{R_\pi}, \quad (55')$$

где $\sin \theta = \frac{R_\pi}{R}$, угол θ образуется осью OZ вращения протона и пиона, и линией между центром протона и точкой экватора пиона,
 V_π – скорость вращения экватора пиона.

Можно считать, что протон вращается с максимальной скоростью, находимой по формуле: $\frac{\Gamma M_p}{R_p^2} \approx \frac{V_p^2}{R_p}$. Тогда

$L_p \approx 0,4 M_p R_p V_p = 0,4 M_p \sqrt{\Gamma M_p R_p} = 3,14 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. Соотношения (52'), (54') и (55') совместно с условием $L_\pi = 0,4 M_\pi R_\pi V_\pi$ можно решить как уравнения для L_π , V_π , R . Беря значения R_p и R_π из Таблицы 1 в комментарии 6, при $\beta = 0,26$ и $\eta \approx 2,8$ находим: $L_\pi \leq 5 \cdot 10^{-35}$ Дж·с, $V_\pi \approx 2,3 \cdot 10^8$ м/с, $R \approx R_p + R_\pi = 2,51 \cdot 10^{-15}$ м. Таким образом, равновесие пиона возле протона достигается при самом малом расстоянии между поверхностями частиц. Экваториальная скорость вращения пиона $V_\pi = 2,3 \cdot 10^8$ м/с не превышает скорости света. Из (54') следует, что величины L_p и L_{p0} не должны сильно отличаться друг от друга, то есть при соединении с пионом протон должен быть уже раскрученным.

Мы можем ещё вычислить угловые скорости вращения пиона и протона: $\omega_\pi = \frac{V_\pi}{R_\pi} = 1,4 \cdot 10^{23} \text{ с}^{-1}$, $\omega_p = \frac{L_p}{I_p} = \frac{L_p}{0,4 M_p R_p^2} = 6,2 \cdot 10^{23} \text{ с}^{-1}$. В отличие от дейтрона, в котором нуклоны вращаются в одну сторону с одинаковой угловой

скоростью, в барионе Λ^0 скорости вращения протона и пиона различаются по величине. Это означает, что магнитное поле протона вероятно проскальзывает относительно пиона, создавая в веществе последнего электрические токи в соответствии с законом электромагнитной индукции. Данные токи разогревают вещество и уменьшают скорости вращения частиц за счёт перекачки энергии вращения в электромагнитную энергию. В этом мы усматриваем одну из причин нестабильности Λ^0 – время его жизни (0,2631 нс) заметно меньше, чем время жизни отрицательного пиона 26,033 нс. При постепенном сближении частиц, из-за потери энергии вращения и уменьшения силы отталкивания спинов, они могут соприкоснуться, после чего будет происходить быстрое выделение энергии вследствие разных скоростей вращения и механического разогрева вещества. В результате частицы могут разлететься друг от друга от резкого импульса торможения при соприкосновении. При этом энергия притяжения сильной гравитации будет конвертироваться в поле кручения таким образом, что по мере удаления частиц энергии их вращения уменьшаются до обычных значений. В частности, спин пиона становится существенно меньше $\frac{\hbar}{2}$ и потому в стандартной теории полагается всегда равным нулю.

В Λ^0 возможно перетекание отрицательно заряженного вещества пиона на протон, что приводит к перезарядке протона и превращению его в нейтрон. Одновременно с этим отрицательный пион становится нейтральным. В § 12 было описано, как нейтральный пион распадается непосредственно на поверхности нуклона. От магнитного поля нуклона возникают два джета, приводя к излучению двух гамма-квантов, сопровождающих распад нейтрального пиона. Так Λ^0 мог бы распадаться на нейтрон и нейтральный пион.

В вышеприведённый расчёт состояния Λ^0 следует внести поправку в связи с тем, что мы полагали равенство нулю энергии связи: $\mathcal{E}_{p\pi} = 0$. На самом деле это не так, поскольку энергия покоя Λ^0 превышает суммарную энергию покоя протона и пиона на 37,79 МэВ, так что $\mathcal{E}_{p\pi} = -37,79$ МэВ. Следует предположить, что эта разница энергий связана с увеличенным вращением протона. Что касается пиона, то он полагается вращающимся с предельной скоростью и его энергия существенно увеличиться не может. Отрицательное значение энергии связи означает, что полная энергия системы положительная. Хотя протон и пион связаны друг с другом, но энергия вращения частиц совместно с энергией поля кручения превышает потенциальную энергию гравитации по её модулю.

У Λ^0 наблюдается отрицательный магнитный момент, равный $P_{m\Lambda} = -0,613\mu_N$, где μ_N есть ядерный магнетон. Можно предположить, что в Λ^0 магнитный момент $P_{m\pi}$ от пиона π^- по модулю превышает магнитный

момент протона, равный $P_{mp} = 2,7929\mu_N$, и направлен противоположно. Это даёт равенство $P_{m\Lambda} = P_{mp} + P_{m\pi}$ и значение $P_{m\pi} = -3,41\mu_N$. Если бы пион был шаром, отрицательный электрический заряд величиной e которого был бы рассредоточен только на поверхности, то магнитный момент за счёт вращения можно было бы рассчитать по формуле: $P_m = -\frac{e\omega R^2}{3}$. Подставляя сюда угловую скорость вращения пиона $\omega_\pi = \frac{V_\pi}{R_\pi} = 1,4 \cdot 10^{23} \text{ с}^{-1}$ и радиус пиона R_π , получаем значение $P_m = -3,96\mu_N$, что даже больше, чем требуемое значение $P_{m\pi} = -3,41\mu_N$.

Для объяснения необыкновенно большого времени жизни и других свойств странных частиц, включая Λ^0 , в своё время (в 1964 г. в трудах М. Гелл-Манна и Д. Цвейга) в кварковую схему адронов был введён третий кварк, называемый s-кварком. В нашей модели кварковых квазичастиц в § 12 было предположено, что кварки отражают с одной стороны различные фазы адронного вещества, а с другой – свойства симметрии взаимодействий и дискретность физических величин, присущие адронам и их резонансам. Описанная выше схема устройства бариона Λ^0 позволяет дать особую интерпретацию странным частицам – они могут быть относительно устойчивыми соединениями барионов между собой, напоминая простейшие атомные ядра. Например, при соединении нейтрона n^0 с отрицательным пионом π^- по нашему мнению может возникать гиперон Σ^- , при соединении n^0 и π^+ – гиперон Σ^+ , а нейтральный гиперон Σ^0 является связью между n^0 и π^0 . Это следует из того, что в 99,848 % случаев Σ^- , живущий до 0,1479 нс, распадается на n^0 и π^- . Поскольку оболочка нейтрона заряжена отрицательно, а сердцевина нейтрона – положительна, то при падении пиона на поверхность нуклона перезарядки вещества не происходит. У гиперона Σ^+ пропорция иная – в 51,57 % случаев он за время до 0,0818 нс распадается на протон p^+ и π^0 , а в 48,3 % случаев – на n^0 и π^+ . Возникновение протонов при распаде Σ^+ можно объяснить тем, что в момент соединения пиона π^+ с нейтроном может произойти электрическая перезарядка и нейтрон превратится в протон. Гиперон Σ^0 за очень малое время (не более $7,4 \cdot 10^{-20} \text{ с}$) почти стопроцентно превращается в Λ^0 с излучением фотона.

По отношению к Λ^0 гипероны Σ имеют энергию на 74 – 82 МэВ больше. Это означает, что как и в Λ^0 , у гиперонов Σ должна быть увеличенная энергия вращения нуклона, причём нейтрон в Σ имеет большую энергию вращения, чем протон в Λ^0 . За счёт добавочной энергии вращения нейтрона при распадах

гиперонов Σ продуктам распада будет передаваться соответствующая дополнительная энергия. Не точное совпадение масс у гиперонов Σ^+ , Σ^0 и Σ^- также объясняется различием энергий вращения нуклона. Расчёт состояния гиперонов Σ может быть сделан аналогично тому, как это было сделано выше для Λ^0 .

Рассмотрим теперь странные мезоны, самые маломассивные из которых мезоны K . Энергии заряженных мезонов K^\pm равны 493,677 МэВ, а их время жизни 12,38 нс. Нейтральный мезон K^0 с энергией 497,614 МэВ имеет две разновидности: K_S^0 со временем жизни 89,53 пс, и K_L^0 со временем жизни 51,16 нс. Как видно, мезон K_L^0 существует заметно дольше, чем K_S^0 . В теории кварков это объясняется на основе квантового подхода, когда K_S^0 и K_L^0 рассматриваются как различные квантовые суперпозиции состояний K^0 и его античастицы \tilde{K}^0 .

Поскольку нам нужна не математическая схема, а реальная модель странных мезонов, предположим, что мезоны K состоят из трёх пионов, которые связаны между собой сильной гравитацией и противодействующими ей силами от спиновых полей кручения. Все три пиона можно представить расположенными вдоль одной линии и вращающимися в одну сторону. В этом случае силы от полей кручения могут компенсировать силы гравитационного притяжения и возможно устойчивое состояние пионов. Хотя спин пионов считается равным нулю, однако вследствие образования пионов в столкновениях частиц больших энергий или вблизи нуклонов возникающие пионы могут приобретать быстрое вращение и затем участвовать в образовании странных частиц.

Нейтральный мезон K^0 должен состоять из пионов π^- , π^+ и π^0 . Их суммарная энергия покоя равна 414,107 МэВ, что на 83,564 МэВ меньше энергии покоя K^0 . Разница энергий приводит к отрицательной энергии связи $\mathcal{E}_K = -83,564$ МэВ, означающей в нашей модели, что кинетическая энергия вращения пионов превышает модуль отрицательной энергии сильной гравитации между пионами на величину $|\mathcal{E}_K|$. По аналогии с (52') – (54') уравнения для сил между пионами и энергий принимают следующий вид:

$$\frac{\beta\Gamma M_\pi^2}{R^2} + \frac{\beta\Gamma M_\pi^2}{(2R)^2} = \frac{3\eta\Gamma L_\pi^2}{2c^2 R^4} + \frac{3\eta\Gamma L_\pi^2}{2c^2 (2R)^4}, \quad (56')$$

$$-\frac{2\beta\Gamma M_\pi^2}{R} - \frac{\beta\Gamma M_\pi^2}{2R} - \frac{83\Gamma(L_\pi^2 - L_{\pi^0}^2)}{84c^2 R^3} + \frac{2\eta\Gamma L_\pi^2}{c^2 R^3} + \frac{\eta\Gamma L_\pi^2}{c^2 (2R)^3} + \frac{3(L_\pi^2 - L_{\pi^0}^2)}{2I_\pi} + \mathcal{E}_K = 0, \quad (57')$$

где R – расстояние между центрами двух соседних пионов.

В (56') слева находится сумма модулей сил гравитационного притяжения одного из крайних пионов, возникающих от центрального пиона и от удалённого на расстояние $2R$ второго пиона, соответственно. В правой части (56') стоит сумма сил отталкивания спинов – между центральным пионом и крайним пионом, и между крайними пионами, соответственно. Соотношение энергий (57') учитывает: гравитационную энергию взаимодействия крайних пионов с центральным пионом и крайних пионов друг с другом, изменение энергии поля кручения, энергию взаимодействия спинов крайних пионов с центральным пионом и спинов крайних пионов между собой, изменение энергии вращения всех трёх пионов, энергию связи каона.

В отличие от нуклонов для пионов коэффициенты β и η в (56') и (57') должны стремиться к единице, что связано с уменьшенной плотностью их вещества по отношению к нуклонам. В результате пионы в каоне могут быть в равновесии только при сверхпредельном вращении и при минимальных расстояниях друг от друга, почти касаясь друг друга. Не исключено, что пионы из-за предельного вращения меняют свою форму, преобразуя её от шаровидной к эллипсоидальной форме, увеличивая тем самым свой спин. Кроме этого, центральный пион может вращаться несколько быстрее, чем крайние пионы, так как в нём суммарное поле кручения больше.

Остановимся теперь на различии каонов K_S^0 и K_L^0 . Мы предполагаем, что различие между ними связано с расположением пионов. А именно, в K_S^0 пионы расположены в последовательности $\pi^+ \pi^- \pi^0$ либо в последовательности $\pi^- \pi^+ \pi^0$, а в K_L^0 – в симметричной последовательности $\pi^- \pi^0 \pi^+$. Наличие двух соседних заряженных пионов за счёт увеличенной энергии их электрического взаимодействия приводит к уменьшенному времени жизни K_S^0 и к различию характера распадов K_S^0 и K_L^0 . В частности, K_S^0 распадается на $\pi^+ \pi^-$ в 68,6 % случаев и на $\pi^0 \pi^0$ в 31,39 % случаев. Для распада K_L^0 , ввиду его большого времени жизни, превышающего время жизни отдельных пионов, характерно появление в продуктах распада электронов и мюонов вместе с соответствующими нейтрино, а также трёх пионов в виде $\pi^0 \pi^0 \pi^0$ и $\pi^+ \pi^- \pi^0$.

Причиной распада каонов является малое расстояние между составляющими их быстровращающимися пионами, взаимодействие между противоположно направленными магнитными полями пионов π^+ и π^- , превращения вещества внутри пионов в реакциях слабого взаимодействия. В K_S^0 пионы π^+ и π^- расположены рядом, а скорости их вращения могут различаться, приводя к наведённым электрическим токам в их веществе, к магнитному торможению и сближению частиц. Свободные пионы из-за превращения своего вещества в

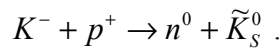
реакциях слабого взаимодействия обычно распадаются на мюоны и мюонное нейтрино (антинейтрино), при этом радиус пиона увеличивается почти на три порядка и достигает радиуса мюона. Но достаточно самого малого изменения радиуса у одного из пионов в каоне для того, чтобы пионы столкнулись между собой и затем разлетелись в стороны.

Мы можем считать, что для K_S^0 в виде $\pi^+ \pi^- \pi^0$ античастицей \tilde{K}_S^0 является другая возможная комбинация $\pi^- \pi^+ \pi^0$. Античастицей для K_L^0 в виде $\pi^- \pi^0 \pi^+$ является снова $\pi^- \pi^0 \pi^+$, как следствие симметрии. Это позволяет объяснить, почему возможна реакция:

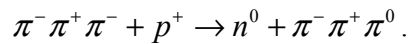


Так как Λ^0 составлен из $p^+ \pi^-$, то в реакции (58') протон сближается с отрицательным пионом в комбинации $\pi^- \pi^+ \pi^0$, типичной для \tilde{K}_S^0 , и соединяется с π^- . Далее \tilde{K}_S^0 распадется, положительный пион π^+ и нейтральный пион π^0 разлетаются в разные стороны. Если вместо \tilde{K}_S^0 в (58') подставить K_S^0 в виде $\pi^+ \pi^- \pi^0$, то реакция с выходом Λ^0 будет невозможна, что и наблюдается. Известен ещё другой факт – после прохождения некоторого слоя мишени в пучке K_L^0 могут вновь появиться K_S^0 . На наш взгляд, это происходит вследствие распадов K_L^0 от взаимодействий с веществом на два и один пионы и последующего обмена отдельными пионами с образованием комбинаций пионов, типичных для K_S^0 .

В отличие от K^0 , заряженные каоны могут иметь состав вида $\pi^+ \pi^- \pi^+$ для K^+ , $\pi^- \pi^+ \pi^-$ для K^- , а также вероятно, составы вида $\pi^+ \pi^0 \pi^0$, $\pi^- \pi^0 \pi^0$. Исходя из этого, рассмотрим известную реакцию для получения \tilde{K}_S^0 :



Подставим вместо странных частиц их составы:



При соединении протона с одним из пионов π^- каона вдоль линии вращения всех частиц и направления общего поля кручения, вещество пиона разряжает протон и превращает его в нейтрон. Это сопровождается выделением энергии и

сбросом нейтрального вещества с поверхности нуклона, отталкиванием остальных пионов от возникшего нейтрона с превращением K^- в \tilde{K}_S^0 .

Дипионное состояние (в случае связи π^+ и π^- называемое пионий) является простейшей системой из двух пионов, связанных полем сильной гравитации и электромагнитными силами. Равновесие этой системы можно определить с помощью соотношений типа (54') и (55'). Это даёт расстояние между центрами пионов, приблизительно равное сумме радиусов пионов. Дипионные состояния обнаруживаются в самых различных реакциях с пионами, а также при бомбардировке вещества протонами. Пионий как правило распадается на два нейтральных пиона. При распаде каона на три пиона или на два пиона и лептоны на зависимости числа событий от энергии виден небольшой подъём при энергии, равной сумме энергий покоя двух пионов [47]. Малая величина подъёма по-видимому связана с тем, что лишь небольшому количеству пионов удаётся объединиться в дипион. В работе [48] дипионное состояние пытаются объяснить при помощи введения в сильное взаимодействие анизотропной компоненты за счёт деформации метрики пространства Минковского. В нашей интерпретации роль такой анизотропной компоненты играет спин-спиновое взаимодействие между пионами, возникающее от полей гравитационного кручения.

Считается, что мезоны η^0 (и некоторые другие) являются квантовой суперпозицией кварков (антикварков) u, d, s . Энергия мезона η^0 равна 547,853 МэВ, время жизни невелико, порядка $5,06 \cdot 10^{-19}$ с. Мезон распадается на два гамма-кванта либо на три пиона, по крайней мере один из которых является нейтральным. Мезон η^0 возникает в разных процессах – при облучении вещества гамма-квантами, при столкновениях с протонными пучками, в электрон-позитронных встречных пучках. Для образования η^0 необходимо достаточное количество адронной материи, с общей массой порядка массы четырёх пионов. Наличие s -кварка в нашей трактовке означает, что в странном адроне некоторое время может быть связь между составляющими его более простыми адронными частицами, поддерживаемая сильной гравитацией и полями гравитационного кручения. Можно предположить, что за время порядка $5,06 \cdot 10^{-19}$ с состояние равновесия между адронными частицами нарушается и они сливаются с последующим распадом, типичным для η^0 .

Векторный мезон Φ^0 с энергией 1019,455 МэВ и шириной уровня $\Delta E_\Phi = 4,26$ МэВ также рассматривается как квантовая суперпозиция кварков (антикварков) u, d, s . Для оценки времени его жизни можно использовать стандартную формулу: $\tau_\Phi = \frac{\hbar}{\Delta E_\Phi} = 1,5 \cdot 10^{-22}$ с. За это время частица, движущаяся со скоростью света, может пройти путь порядка $5 \cdot 10^{-15}$ м.

Поскольку Φ^0 в 49,2 % случаев распадается на мезоны K^- и K^+ , а в 34 % случаев – на K_L^0 и K_S^0 , то Φ^0 можно считать двумя различными динамически связанными состояниями, по два каона в каждом. Размер каона, состоящего из трёх пионов, может быть порядка шести пионных радиусов, то есть быть около $9,84 \cdot 10^{-15}$ м. Это вполне коррелирует со временем пролёта каонов мимо друга и со временем их взаимодействия.

По аналогии с каонами рассмотрим массивные странные барионы Ξ^0 с энергией 1314,86 МэВ и временем жизни 0,29 нс, а также Ξ^- с энергией 1321,31 МэВ и временем жизни 0,1639 нс. Барион Ξ^0 практически всегда распадается на Λ^0 и π^0 , а Ξ^- – на Λ^0 и на π^- . Таким образом, Ξ^0 можно представить как цепочку из трёх частиц, внутри находится протон p^+ , а с краёв находятся пионы π^- и π^0 . Все три частицы для устойчивости в поле сильной гравитации должны вращаться в одну сторону вдоль одной оси, чтобы спиновые силы от поля кручения были направлены противоположно силам тяготения. В Ξ^- протон окружён с двух сторон отрицательными пионами. Распад барионов Ξ^0 и Ξ^- должен происходить с уменьшением энергии вращения протона и передачей части энергии вылетающему пиону. В итоге энергии не хватает для превращения в гипероны Σ^0 , возникают лишь Λ^0 . Расчёт условий равновесия Ξ^0 и Ξ^- в данном случае аналогичен тому, что был сделан выше для каонов и Λ^0 .

Существует ещё одна возможность для связи частиц в Ξ^0 и Ξ^- . В § 10 мы рассматривали модели ядер трития ${}^3_1\text{H}$, гелия ${}^3_2\text{He}$ и других атомов и вывели условия их равновесия. Если аналогично построить барион Ξ^0 , то нём пионы π^- и π^0 должны быть расположены на концах некоторого угла, в вершине которого находится протон. При этом спины протона и π^- направлены вдоль одной стороны угла, например вертикально, а π^0 находится на горизонтальной стороне угла, а его спин направлен противоположно спинам протона и π^- . В такой конфигурации также возможно равновесие частиц. Однако положение π^0 менее устойчиво из-за меньшей силы отталкивания спинов, что и может стать причиной распада с выбросом π^0 . Для Ξ^- соответственно один из пионов π^- также будет менее устойчив и первым подвергнется распаду.

Если гипероны Λ^0 и Σ имеют одну связь нуклона с пионом и странность 1, то гипероны Ξ имеют две связи с пионами и странность, равную 2. Логично тогда предположить, что гиперон Ω^- , имеющий энергию 1672,45 МэВ, время жизни 0,0821 нс и странность 3, включает в себя один барион и три или даже четыре пиона. Например, частицы могут быть в виде цепочки $\pi^- \pi^+ \pi^- p^+ \pi^-$. Не исключается и другой случай, когда частицы располагаются приблизительно так

же, как в нашей модели гелия ${}^4_2\text{He}$ в § 10. При этом в одной цепочке находятся протон p^+ и π^- , а в другой параллельной цепочке три пиона в последовательности $\pi^-\pi^+\pi^-$, причём спины частиц каждой цепочки противоположны друг другу. Если протон и пион π^+ находятся друг перед другом, то это увеличивает устойчивость системы частиц. Подобные конфигурации частиц предлагаются для объяснения того, что Ω^- в 67,8 % случаев распадается на Λ^0 , состоящий в нашей модели из $p^+\pi^-$, и K^- , состоящий из $\pi^-\pi^+\pi^-$. В экспериментах на протонном ускорителе в лаборатории Ферми в Батавии (США) в среднем возникал один Ω^- на каждые 10^{11} падающих протонов, что почти в 100 раз меньше, чем рождается Ξ^- . Пионы, входящие в состав Ω^- , генерировались в момент столкновения пучка быстрых протонов с энергией порядка 800 ГэВ с ядрами атомов мишени (для этой цели часто используют бериллиевую мишень).

Существует ряд адронов, в которых кроме странного кварка присутствуют очарованные и красивые кварки. Примером являются Ξ_c^+ с энергией 2467,9 МэВ и временем жизни 0,442 пс, и Ξ_c^0 с энергией 2471 МэВ и временем жизни 0,112 пс. Кварковые составы данных частиц *usc* и *dsc* соответственно. При распадах барионов Ξ_c^+ часто наблюдаются Ξ^- и два пиона π^+ . У Ξ^- мы предполагаем состав из протона p^+ и двух пионов π^- . Но если сделать расчёт энергии Ξ_c^+ как для системы частиц из одного протона и четырёх вращающихся около него пионов по формулам типа (56') и (57') в системе центра масс, то этой энергии может не хватить для энергии покоя Ξ_c^+ . С точки зрения баланса энергии как будто более реалистичным выглядит наблюдаемый распад $\Xi_c^+ \rightarrow \Lambda^0 + K^- + \pi^+ + \pi^+$, в котором в итоге обнаруживаются нуклон и шесть пионов. Одним из способов получения Ξ_c^+ и Ξ_c^0 был пучок частиц, состоящий из π^- и Σ^- с энергией порядка 340 ГэВ, который направлялся на мишень в виде одной тонкой медной пластины и трёх пластин из углерода [39]. Очарованные адроны с достаточно большим выходом получаются и при меньших энергиях – при 30 ГэВ для адронных столкновений и 200 ГэВ в случае фоторождения. Общим здесь является то, что среди возникающих на мишени частиц необходим один нуклон и несколько пионов, летящих в одну сторону, взаимодействующих между собой и затем распадающихся. При анализе вторичных частиц можно восстановить их исходное состояние до распада, в виде Ξ_c^+ или Ξ_c^0 . По-видимому, данная ситуация является особенностью очарованных адронов – их энергия не просто связана с входящими в их состав адронными частицами как таковыми, но и имеет значительную начальную компоненту, возникающую в

момент образования вторичных частиц. Если рассматривать события, аналогичные Ξ_c^+ и Ξ_c^0 на звёздных моделях, то можно представить столкновение двух или нескольких групп объектов, состоящих из магнитаров и нескольких маломассивных нейтронных звёзд, связанных друг с другом в различных сочетаниях. В результате столкновения должна выделяться значительная энергия, достаточная для последующего разделения звёзд на отдельные группы.

Примером сочетания странного и красивого кварков является барион Ξ_b^- с энергией порядка 5792,9 МэВ, временем жизни 1,42 пс и кварковым составом bds . Он был обнаружен по распадам $\Xi_b^- \rightarrow J/\Psi^0 + \Xi^-$, причём происходили последующие распады: $J/\Psi^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-$, $\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$, $\Lambda^0 \rightarrow p^+ + \pi^-$. Данный барион возникал в протон-антипротонных столкновениях с энергией 1,96 ТэВ [46]. Сумма энергий J/Ψ^0 (3096,916 МэВ) и Ξ^- (1321,31 МэВ) равна 4418,226 МэВ и меньше энергии бариона Ξ_b^- . Это означает в частности, что состояние Ξ_b^- за время до 1,42 пс становится неустойчивым настолько, что он взрывным способом разделяется на короткоживущий мезон J/Ψ^0 и долгоживущий барион Ξ^- , передавая им импульс движения с кинетической энергией порядка 1374 МэВ. Данная энергия достигает 24 % от энергии Ξ_b^- и может происходить от энергии движения и вращения частиц, при взаимодействии которых возникает Ξ_b^- . Другим источником энергии могут быть реакции в веществе сталкивающихся адронов, наподобие взрывной термоядерной реакции.

Из изложенного следует, что значительная часть адронов, обнаруживаемая в экспериментах, является связанными состояниями маломассивных адронов, таких как нуклоны и пионы. Некоторые из этих состояний можно назвать динамически связанными, поскольку в них время взаимодействия практически равно времени пролёта частиц друг возле друга. К динамическим состояниям относятся почти все резонансные состояния адронов. Типичным примером являются барионы N и Δ , как результат взаимодействия между нуклонами и мезонами типа пионов и каонов, и мезоны типа f и ρ как двухпионные состояния (подробнее об этом в § 12). Большое время жизни странных частиц вытекает из способа их образования, устойчивость достигается благодаря действию сильной гравитации и сил от полей кручения частиц.

Описанная картина возникновения и распада адронов не требует необходимости привлечения идеи кварков и говорит в пользу того, что кварки являются не настоящими частицами внутри адронов, а некоторыми квазичастицами, воспроизводящими свойства симметрии, присущие адронам. Сошлёмся также на ряд работ, в которых делаются попытки вместо использования кварковой схемы описывать состояния адронов на уровне более

простых адронных составляющих. Например, в [40] гиперон $\Lambda^0(1405)$ рассматривается как динамически связанное состояние нуклона и каона, в [41] скалярные мезоны $f^0(980)$ и $a^0(980)$ полагаются молекулой из каона K и антикаона \bar{K} . Адронные молекулы из каонов и нуклонов вида $K\bar{K}N$ рассматриваются в [42] путём решения уравнения Шрёдингера для волновой функции трёх частиц и использования двух предполагаемых в модели потенциалов взаимодействия. В [43] доказывається, что многие резонансные состояния N , Δ , Λ , Σ , Ξ , Ω являются динамическими связанными состояниями векторных мезонов (типа ρ и ω) с барионами, входящими в барионные октет с нуклонами и декуплет с Δ .

Одной из причин того, что изучение адронов обычно производится на основе кварковых симметрий, является отсутствие достоверной информации о взаимодействии частиц и использование формул специальной теории относительности для энергий и импульсов частиц до и после их взаимодействия. Таким образом достигается внешнее описание происходящих реакций с адронами. В то же время точный учёт потенциалов взаимодействия и характеристик (массы, радиусы, заряды, магнитные моменты, спины, состав вещества и способы его трансформации в реакциях, и т.д.) частиц позволяет построить физические модели их взаимодействия и как следствие вывести наблюдаемые симметрии без обращения к кварковой схеме. В частности, образование мезонных и барионных мультиплетов на основе uds -кварков может быть понято не как следствие симметрии кварков, а как результат комбинаций α -фазы и β -фазы адронного вещества, входящих в состав нуклонов и пионов, со свойством соединения этих частиц в адронные состояния, характерные для странных частиц.

Напомним, что среди нескольких аналогичных организаций, сбором данных о свойствах элементарных частиц и их ежегодным обновлением занимается Particle Data Group [44]. Эта же группа собрала внушительную коллекцию ссылок на экспериментальные работы [45], согласно которым обнаруживается множество состояний частиц, явно не вписывающихся в стандартную кварковую модель.

Дата публикации комментария №7: 11.02.2010.

8. Фоторождение пионов

Среди самых загадочных вопросов в физике элементарных частиц отметим два – аннигиляция и фоторождение частиц. В первом процессе происходит уничтожение частиц при их соединении с античастицами, с излучением гамма-квантов и образованием более мелких частиц. Наиболее известным примером здесь является аннигиляция электрона и позитрона, когда энергия излучения оказывается практически равной энергии покоя этих лептонов. Способ

преобразования энергии покоя электрона и позитрона в энергию излучения был описан нами в § 14. По нашему мнению, массы лептонов и антилептонов не могут полностью перерабатываться в энергию излучения в отсутствие адронов типа нуклонов. В то же время, энергии гравитационного поля сильной гравитации оказывается достаточно, чтобы преобразовать её в излучение после падения лептонов на поверхность нуклона. В этом случае оказывается справедливым закон сохранения количества вещества в применении к веществу аннигилирующих лептонов, и прямого преобразования массы лептонов в энергию излучения не происходит.

Фоторождение частиц в определённом смысле является обратным процессом по отношению к аннигиляции частиц. Как правило, фоторождение наблюдается при облучении вещества гамма-излучением достаточной энергии. Рассмотрим, как трактуется фоторождение пионов в системе центра масс (СЦМ) сталкивающихся между собой нуклонов и фотонов. В СЦМ суммарный 3-импульс всех частиц по определению равен нулю, так что 3-импульсы нуклона и фотона до столкновения равны по величине и противоположны. Простейшие реакции с образованием пионов при взаимодействии нуклонов и фотонов имеют вид:

$$p^+ + \gamma \rightarrow p^+ + \pi^0, \quad p^+ + \gamma \rightarrow n^0 + \pi^+, \quad (59')$$

$$n^0 + \gamma \rightarrow p^+ + \pi^-, \quad n^0 + \gamma \rightarrow n^0 + \pi^0.$$

Для определённости будем рассматривать первые две реакции в (59'), с образованием пионов на протоне p^+ при взаимодействии с гамма-квантом γ . Четыре-импульсы протона и гамма кванта можно записать так:

$$P_p^i = \left(\frac{E_p}{c}, \mathbf{p}_p \right), \quad P_\gamma^i = \left(\frac{E_\gamma}{c}, \mathbf{p}_\gamma \right), \quad (60')$$

где $E_p = \sqrt{p_p^2 c^2 + M_p^2 c^4}$ – энергия протона согласно определения (44') в специальной теории относительности,

$E_\gamma = p_\gamma c$ – энергия фотона с учётом равенства нулю его массы покоя,

$\mathbf{p}_p = \frac{E_p \mathbf{V}_p}{c^2}$ и \mathbf{p}_γ – 3-импульсы протона и фотона соответственно,

c – скорость света и 3-скорость движения фотона,

M_p и V_p – масса и 3-скорость движения протона.

Сложим 4-импульсы частиц в (60') в один общий 4-импульс, возведём его в квадрат по правилу для 4-векторов, и получим инвариантную величину для всех инерциальных систем отсчёта:

$$(P_p^i + P_\gamma^i)^2 = \frac{E_{p\gamma}^2}{c^2} - p_{p\gamma}^2 = M_{p\gamma}^2 c^2 = \left(\frac{E_p + E_\gamma}{c}, \mathbf{p}_p + \mathbf{p}_\gamma \right)^2 = \frac{(E_p + E_\gamma)^2}{c^2} - (\mathbf{p}_p + \mathbf{p}_\gamma)^2, \quad (61')$$

где $E_{p\gamma} = E_p + E_\gamma$, $\mathbf{p}_{p\gamma} = \mathbf{p}_p + \mathbf{p}_\gamma$ обозначают энергию и импульс системы, состоящей из фотона и протона до их столкновения. Масса покоя системы $M_{p\gamma}$ получается после применения в (61') формулы (44').

В силу закона сохранения энергии сумма энергий системы не изменится и после взаимодействия, когда образуется нейтральный пион, и будет равна:

$$E_{p\gamma} = E_p + E_\gamma = E'_{p\pi} = E'_p + E_\pi, \quad (62')$$

где E'_p есть энергия протона после его взаимодействия с фотоном, E_π – энергия возникшего в ходе реакции пиона.

Аналогично в силу закона сохранения импульса можно записать:

$$\mathbf{p}_{p\gamma} = \mathbf{p}_p + \mathbf{p}_\gamma = \mathbf{p}'_{p\pi} = \mathbf{p}'_p + \mathbf{p}_\pi. \quad (63')$$

Соотношения (62') и (63') являются следствием закона сохранения 4-импульса системы частиц, состоящей вначале из протона и фотона, а затем из рассеянного протона и пиона:

$$\sum_k P_k^i = P_p^i + P_\gamma^i = \left(\frac{E_p + E_\gamma}{c}, \mathbf{p}_p + \mathbf{p}_\gamma \right) = P_p'^i + P_\pi^i = \left(\frac{E'_p + E_\pi}{c}, \mathbf{p}'_p + \mathbf{p}_\pi \right) = const,$$

где символ k и штрих обозначают различные частицы, а символ $i = 0, 1, 2, 3$ обозначает различные компоненты 4-векторов.

Из соотношений для энергий и импульса следует, что в (61') $M_{p\gamma}^2 c^2 = M_{p\pi}^2 c^2$ как энергия есть инвариантная величина, так что $M_{p\gamma} = M_{p\pi}$ есть инвариантная масса системы.

Запишем (62') с учётом (44'):

$$\sqrt{p_p^2 c^2 + M_p^2 c^4} + E_\gamma = \sqrt{p_p'^2 c^2 + M_p^2 c^4} + \sqrt{p_\pi^2 c^2 + M_\pi^2 c^4}, \quad (64')$$

где $E_\gamma = p_\gamma c$ – энергия фотона,

p_π и M_π – импульс и энергия пиона.

В системе центра масс (СЦМ) импульсы протона и фотона равны по модулю: $p_p = p_\gamma$. Аналогично будет и для импульсов пиона и рассеянного протона: $p_\pi = p_p'$. Для случая близких к нулю импульсов p_π и p_p' из (64') следует равенство:

$$\sqrt{E_\gamma^2 + M_p^2 c^4} + E_\gamma = M_p c^2 + M_\pi c^2,$$

позволяющее оценить минимальную энергию фотона, необходимую для фоторождения пиона:

$$E_\gamma = \frac{M_\pi c^2}{2} \left(1 + \frac{M_p}{M_p + M_\pi} \right). \quad (65')$$

Из (65') для фоторождения в СЦМ нейтрального пиона на протоне требуется энергия гамма-кванта не менее 126,48 МэВ. Для второй реакции в (59'), с образованием нейтрона и положительного пиона, в (62') и в (64') вместо

$E_p' = \sqrt{p_p'^2 c^2 + M_p^2 c^4}$ нужно подставить энергию нейтрона

$E_n = \sqrt{p_n^2 c^2 + M_n^2 c^4}$. Тогда вместо (65') будет равенство:

$$E_\gamma = \frac{(M_n - M_p + M_\pi) c^2}{2} \left(1 + \frac{M_p}{M_n + M_\pi} \right). \quad \text{Это даёт для заряженного пиона}$$

минимальную энергию фотона 131,67 МэВ. Энергии данных пионов равны 134,96 МэВ и 139,567 МэВ соответственно, что больше энергии E_γ приблизительно на 8,5–7,9 МэВ. Необходимая добавочная энергия берётся из кинетической энергии протона, обладающего импульсом

$$p_p = \frac{M_p V_p}{\sqrt{1 - V_p^2 / c^2}} = \frac{E_p V_p}{c^2} = p_\gamma = \frac{E_\gamma}{c}, \quad \text{и} \quad \text{относительной} \quad \text{скоростью}$$

$$\frac{V_p}{c} = \frac{E_\gamma}{E_p} = \frac{E_\gamma}{\sqrt{E_\gamma^2 + M_p^2 c^4}}.$$

Рассмотрим теперь ситуацию в лабораторной системе отсчёта. Как правило, в этой системе отсчёта фотоны налетают на неподвижные вначале протоны и передают им, а также возникающим пионам свой импульс. В лабораторной системе отсчёта энергии фотонов должны быть больше, чем в СЦМ (это следует из доплеровского преобразования частоты излучения при лоренцевском преобразовании из СЦМ в лабораторную систему отсчёта). Для случая образования заряженного пиона минимальная энергия фотона в СЦМ $E_\gamma = 131,67$ МэВ, и $\frac{V_p}{c} = 0,139$. Для перехода в лабораторную систему отсчёта, в которой протон вначале покоился, нужно сделать лоренцевское преобразование для системы отсчёта, движущейся со скоростью V_p относительно СЦМ и покоящейся в лабораторной системе отсчёта. Тогда по релятивистской формуле Доплера в лабораторной системе отсчёта минимальная энергия фотона для образования заряженного пиона должна быть:

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma \sqrt{1 + V_p / c}}{\sqrt{1 - V_p / c}} = 151,4 \text{ МэВ.} \quad (66')$$

Из (64') в лабораторной системе отсчёта при нулевом импульсе вначале неподвижного протона следует:

$$M_p c^2 + E_\gamma = \sqrt{p_p'^2 c^2 + M_p^2 c^4} + \sqrt{p_\pi^2 c^2 + M_\pi^2 c^4}, \quad (67')$$

причём $E_\gamma = p_\gamma c$, и согласно (63'), $p_\gamma = p_p' + p_\pi$.

Поскольку сумма импульсов пиона и рассеянного протона равна импульсу фотона, она не может обратиться в нуль. Максимум на зависимости полных сечений фоторождения заряженных пионов лежит вблизи энергии фотонов 300 МэВ и около 318 МэВ для нейтральных пионов (экспериментальные зависимости для фоторождения пионов на нуклонах и дейтерии, взятые из различных источников, сведены воедино в [49]). Минимальная энергия фотона для образования пиона π^+ на протоне в лабораторной системе отсчёта, судя по

экспериментальным данным, равна 218 МэВ, а пиона π^- на нейтроне – около 180 МэВ. Эти цифры больше теоретически минимального значения (66').

Из (67') и величины энергии фотонов E_γ видно, что импульс фотона приблизительно поровну делится между протоном и возникающим нейтральным пионом. Для образования нейтрона и заряженного пиона при взаимодействии фотона и протона вместо (67') следует записать:

$$M_p c^2 + E_\gamma = \sqrt{p_n^2 c^2 + M_n^2 c^4} + \sqrt{p_\pi^2 c^2 + M_\pi^2 c^4}, \quad (68')$$

где $E_\gamma = p_\gamma c$, и $p_\gamma = p_n + p_\pi$.

С помощью (61') и (68') можно найти инвариантную массу-энергию состояния, из которого возникает нейтрон и заряженный пион:

$$M_{p\gamma}^2 c^2 = \frac{E_{p\gamma}^2}{c^2} - p_{p\gamma}^2 = \frac{(M_p c^2 + E_\gamma)^2}{c^2} - p_\gamma^2, \quad M_{p\gamma} c^2 = \sqrt{(M_p c^2 + E_\gamma)^2 - E_\gamma^2}.$$

Если подставить сюда $E_\gamma = p_\gamma c = 300$ МэВ, то получится значение $M_{p\gamma} c^2 = 1200$ МэВ. Можно заметить, что это значение меньше энергии состояния 1232 МэВ, наблюдаемого у резонанса $\Delta(1232)$ и возникающего при рассеянии пионов на нуклонах.

Все оценки энергий и импульсов, сделанные выше, основывались на реакциях (59') и допущении того, что энергия и импульс фотона могли конвертироваться полностью в энергии и импульсы нуклонов и пионов. Но есть ещё одна проблема, мало кем замечаемая. Так как фотон не обладает массой покоя, то каким образом возникает вещественная масса пиона, дополнительно к массам нуклонов в реакциях (59')? Данный вопрос вытекает из существенного различия свойств частиц вещества и волновых квантов в теории бесконечной вложенности материи [2]. В этой теории вещество бесконечно дробится на всё более мелкие части, которые могут быть расположены по уровням материи. Это же самое следует и для волновых квантов, которые могут быть разложены на более мелкие кванты. Кванты поля переносят энергию и импульс и почти не переносят вещество. Поэтому пионы в реакциях (59') могут быть созданы только за счёт вещества нуклонов, участвующих в реакциях. В таком случае в (67') под массой рассеянного протона следует понимать массу протона, уменьшенную на массу пиона: $M'_p = M_p - M_\pi$. Следовательно, вместо (67') должно быть равенство:

$$M_p c^2 + E_\gamma = \sqrt{p_p'^2 c^2 + (M_p - M_\pi)^2 c^4} + \sqrt{p_\pi^2 c^2 + M_\pi^2 c^4}. \quad (69')$$

Аналогично, вместо (68') должно быть:

$$M_p c^2 + E_\gamma = \sqrt{p_n^2 c^2 + (M_p - M_\pi)^2 c^4} + \sqrt{p_\pi^2 c^2 + M_\pi^2 c^4}. \quad (70')$$

Но если подставить в (69') и в (70') экспериментальные энергии фотона порядка 300 МэВ и массы пионов M_π , то окажется, что данные соотношения будут выполняться не всегда – импульса фотона не хватит для необходимых значений импульсов пионов и рассеянных нуклонов в том случае, если импульсы этих частиц будут направлены точно вдоль импульса фотона. Значит ли это, что наша идея о необходимости сохранения количества вещества в реакциях (59') неверна и что недостающая масса пиона всё-таки каким-то образом возникает из энергии фотона? В специальной теории относительности, действительно, масса оказывается вторичным параметром. Основными характеристиками считаются энергия и импульс, с помощью которых согласно (44') вычисляется масса. Получается, что вклад в массу могут делать и энергия, и импульс. Покажем тем не менее, как можно трактовать (69') и (70'), не впадая в противоречие.

Для начала мы должны убедиться, действительно ли массы возникающих частиц при рассеянии фотона на протоне равны массам пиона и нуклона? Обычно импульс заряженной частицы определяют по её движению в приложенном электромагнитном поле. Общее определение силы произвольного вида было сделано нами в § 16 в формуле (580):

$$\mathbf{F} = \frac{m}{(1 - V^2/c^2)^{1,5}} \left[\mathbf{g} + \frac{\mathbf{V} \times [\mathbf{V} \times \mathbf{g}]}{c^2} \right], \quad (71')$$

где m – масса тела,

\mathbf{V} и \mathbf{g} – наблюдаемые скорость и ускорение, с помощью которых находится значение силы \mathbf{F} .

Электромагнитная сила определяется так:

$$\mathbf{F}_e = q(\mathbf{E}_e + [\mathbf{V} \times \mathbf{B}]), \quad (72')$$

где q – заряд тела,

\mathbf{E}_e – напряжённость электрического поля,

\mathbf{B} – индукция магнитного поля.

Равенство сил (71') и (72') позволяет определить ускорение в заданном электромагнитном поле как функцию скорости, а значит и движение заряженной частицы в пространстве. При этом видно, что если у частиц с разной массой имеется одно и то же отношение массы к заряду, то мы не сможем отличить одну частицу от другой – они будут двигаться по одним и тем же траекториям. Обычно импульс частицы определяют по её вращению по окружности в магнитном поле. При этом скорость частицы перпендикулярна её ускорению, и из равенства сил (71') и (72') следует выражение для импульса:

$$F_e = qVB = F_c = \frac{mg_c}{\sqrt{1-V^2/c^2}} = \frac{mV^2}{r\sqrt{1-V^2/c^2}}, \quad p = qrB, \quad (71')$$

где F_c и g_c обозначают центростремительную силу и ускорение, r – радиус окружности, по которой вращается частица.

Заряды q элементарных частиц с точностью до знака считаются кратными величине элементарного электрического заряда e . Полагая заряд протона или пиона равным e , из (71') определяется их импульс по наблюдаемому радиусу окружности r .

Энергии частиц обычно оценивают по длине их пути в веществе до полной остановки. Заряженная частица большой энергии при движении в веществе ионизирует атомы и постепенно теряет энергию. Предположим теперь, что при фоторождении пиона на нуклоне часть массы нуклона переходит в массу возникающего пиона. Если при этом у частиц сохраняется отношение массы к заряду, то менее заряженные частицы, невзирая на меньшую массу и энергию, будут проходить в веществе тот же путь, что и нормальные частицы (в предположении, что потери энергии пропорциональны заряду частицы). Другими словами, возможен случай, когда по измерениям импульса и энергии мы определяем значение массы частицы и соотносим её с протоном или пионом, хотя на самом деле масса и заряд частицы могут быть меньше, чем стандартные табличные значения.

Кроме этого, нам следует учесть полный баланс энергий, описанный в комментарии 6 для случая взаимодействия частиц 1 и 2, порождающих частицы 3 и 4:

$$E_1 + T_1 + E_2 + T_2 = E_3 + T_3 + E_4 + T_4 + E_f + E_f, \quad p_1 + p_2 = p_3 + p_4, \quad (72')$$

где $T_i = E_i - m_i c^2 = \sqrt{p_i^2 c^2 + m_i^2 c^4} - m_i c^2$ – кинетическая энергия i -ой частицы,

E_i – полная энергия i -ой частицы в поле сильной гравитации с учётом её внутренней энергии, находящаяся по формуле типа (32'),

В (72') предполагается, что количество вещества частиц 1 и 2 перешло в количество вещества частиц 3 и 4, а в результате взаимодействия выделилась (или наоборот, добавилась) энергия сильной гравитации E_G , связанная с изменением радиусов и масс частиц, а также энергия возникающего электромагнитного и нейтринного излучения E_f .

С учётом (32') вместо (70') запишем соотношение (72') для фоторождения положительного пиона и образования нейтрона при взаимодействии фотона с неподвижным протоном:

$$\begin{aligned} -\frac{\delta \Gamma M_p^2}{2R_p} + E_\gamma = & -\frac{\delta \Gamma M_n'^2}{2R_n'} + \sqrt{p_n'^2 c^2 + M_n'^2 c^4} - M_n' c^2 - \\ & -\frac{\delta \Gamma M_\pi'^2}{2R_\pi'} + \sqrt{p_\pi'^2 c^2 + M_\pi'^2 c^4} - M_\pi' c^2 + E_G + E_f. \end{aligned} \quad (73')$$

В (73') должно выполняться равенство количества вещества: $M_p = M_n' + M_\pi'$, так что массы возникших нейтрона M_n' и пиона M_π' не совпадают с их табличными значениями. Энергия E_G в (73') должна быть отрицательна, поскольку при преобразовании протона в нейтрон и пион радиусы частиц увеличиваются и совершается работа против ускорения сильной гравитации. Выполнение этой работы возможно за счёт двух факторов – от воздействия фотона на протон с нагревом вещества протона, и от работы внутренних сил давления в веществе с выделением энергии связи. За счёт выделения энергии E_G , не компенсируемой полностью балансом полных энергий частиц, протон взрывным способом может разделиться на две частицы типа нейтрона и пиона. Это же может внести в импульсы частиц p_n и p_π дополнительный вклад по отношению к исходному импульсу от фотона.

Описанная картина позволяет представить процесс фоторождения пионов не просто как преобразование энергии фотона в массу пиона, а как результат перераспределения массы исходного нуклона между массами конечного нуклона и пиона при воздействии фотона и поля сильной гравитации. Тем самым остаётся в силе закон сохранения количества вещества, который в философии входит в состав закона сохранения и изменения носителей [54].

Возможность того, что при фоторождении пионов массы пионов могут быть меньше их табличных значений, подтверждается открытиями мезонных состояний с энергиями около 62 МэВ, 80 МэВ и 100 МэВ (смотри обзор экспериментальных результатов в [50]). Обнаруживаются также и другие мезонные состояния с энергиями 181 МэВ, 198 МэВ, 215 МэВ, 227,5 МэВ, 235 МэВ, превышающими энергии пионов.

Отметим ещё, что в рамках кварковой теории весьма не просто объяснить, почему адронные состояния, образуемые разными способами, но имеющие практически одинаковые распады, отличаются друг от друга по своей энергии. Примером являются следующие состояния, распадающиеся на нуклон и пион: а) Резонанс Δ (1232) с энергией 1232 МэВ, возникающий при рассеянии пионов на нуклонах; б) Взаимодействие гамма-кванта с энергией 300 МэВ с неподвижным протоном приводит к образованию нейтрона и пиона с инвариантной энергией состояния 1200 МэВ; в) Рассеяние протонов на протонах даёт целый ряд узких резонансов, таких как 1004 МэВ, 1044 МэВ, 1094 МэВ, 1136 МэВ, 1173 МэВ, 1210 МэВ, 1249 МэВ и т.д. [51]. С нашей точки зрения, несовпадение энергий вызвано как раз различием способов образования адронных состояний, что приводит к изменению компонент слагаемых в балансе энергий типа (73').

Дата публикации комментария №8: 17.02.2010.

9. Сравнение физических взаимодействий

В современной физике предполагается, что все силы природы могут быть сведены к четырём фундаментальным взаимодействиям – гравитационному, слабому, электромагнитному и сильному. Соответственно для энергий в случае взаимодействия двух протонов записывают следующие соотношения:

$$\begin{aligned}
 U_\gamma &= -\frac{\gamma M_p^2}{r}, & U_W &= \frac{g_F^2}{4\pi r} \exp\left(-\frac{M_W cr}{\hbar}\right), \\
 U_e &= \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}, & U_s &= -\frac{g_s}{4\pi r} \exp\left(-\frac{M_\pi cr}{\hbar}\right),
 \end{aligned}
 \tag{74'}$$

где γ – гравитационная постоянная,

M_p – масса протона,

r – расстояние между центрами протонов,

g_F – эффективный заряд слабого взаимодействия,

M_W – масса виртуальной частицы, являющейся переносчиком слабого взаимодействия (W^\pm и Z^0 бозоны),

c – скорость света,

\hbar – постоянная Дирака,
 e – заряд протона, равный элементарному заряду,
 \mathcal{E}_0 – электрическая постоянная,
 g_s – константа сильного взаимодействия,
 M_π – масса виртуальной частицы, являющейся переносчиком сильного взаимодействия.

Квадрат эффективного заряда слабого взаимодействия для протона может быть выражен через постоянную Ферми $G_F \approx 1,43 \cdot 10^{-62}$ Дж·м³ и массу протона следующим образом:

$$g_F^2 = \frac{4\pi G_F M_p^2 c^2}{\hbar^2}.$$

Это даёт для энергии слабого взаимодействия в (74') выражение, с точностью до констант и экспоненты напоминающее формулу для энергии гравитации:

$$U_W = \frac{G_F M_p^2 c^2}{\hbar^2 r} \exp\left(-\frac{M_W cr}{\hbar}\right). \quad (75')$$

В простейшем случае сильного взаимодействия между нуклонами в качестве массы M_π используется масса пиона. В этом случае при замене g_s на $4\pi g^2$ в (74') получается так называемый потенциал Юкавы, имеющий характер притяжения. Иногда вместо g_s используют величину $g_{N\pi}^2$, причём как константа псевдоскалярного пион-нуклонного взаимодействия $g_{N\pi}$, так и константа g задают одну и ту же интенсивность ядерного взаимодействия. Константы g или $g_{N\pi}$ играют роль эффективных зарядов сильного взаимодействия, подобно электрическому заряду e в электромагнитном взаимодействии. Формулы для энергий слабого и сильного взаимодействий в (74') носят приблизительный характер, а экспоненты показывают, что взаимодействия должны быстро спадать с увеличением расстояния (это не касается сильного взаимодействия между кварками внутри адронов, где предполагается другая зависимость от расстояния).

Энергии в (74') записаны для взаимодействия двух протонов, через их массы для гравитации, и эффективные заряды в остальных случаях. Можно рассматривать также потенциал, равный энергии взаимодействия, разделённой на величину массы или соответствующего эффективного заряда. Смысл потенциала в том, что он численно равен энергии взаимодействия между полной

массой (эффективным зарядом), в данном случае протона, с единичной массой (единичным эффективным зарядом) некоторого пробного тела. Соответствующие потенциалы имеют вид:

$$\begin{aligned} V_\gamma &= -\frac{\gamma M_p}{r}, & V_W &= \frac{g_F}{4\pi r} \exp\left(-\frac{M_W cr}{\hbar}\right), \\ V_e &= \frac{e}{4\pi\epsilon_0 r}, & V_s &= -\frac{g_{N\pi}}{4\pi r} \exp\left(-\frac{M_\pi cr}{\hbar}\right), \end{aligned} \quad (76')$$

Вид потенциалов существенно зависит от того, в какой форме взяты конкретные эффективные заряды взаимодействий.

Из энергий (74') и (75') выводятся безразмерные константы связи, показывающие относительную силу взаимодействий для протона:

$$\begin{aligned} \alpha_\gamma &= \frac{\gamma M_p^2}{\hbar c} = 5,907 \cdot 10^{-39}, & \alpha_W &= \frac{G_F M_p^2 c}{\hbar^3} \approx 1,0 \cdot 10^{-5}, \\ \alpha_e &= \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c} = 7,297 \cdot 10^{-3}, & \alpha_s &= \frac{g_{N\pi}^2}{4\pi \hbar c} \approx 14,6. \end{aligned} \quad (77')$$

В (74') и в (77') взаимодействия расположены в порядке увеличения их интенсивности. Константа связи электромагнитного взаимодействия α_e имеет особое название: постоянная тонкой структуры, и обычно пишется просто в виде α . Нетрудно доказать, что отношение скорости вращения электронного облака в атоме водорода на основной орбите к скорости света как раз равно α_e [1]. Из этого видно, что если бы электромагнитное взаимодействие было сильнее, то и электрон мог бы вращаться в атоме быстрее.

Учитывая определение констант сильного взаимодействия, из (77') для межнуклонного взаимодействия находится, что $g_s \approx 5,79 \cdot 10^{-24}$ Дж·м, $g \approx 6,79 \cdot 10^{-13}$ кг^{1/2}·м^{3/2}·с⁻¹, $g_{N\pi} \approx 2,41 \cdot 10^{-12}$ кг^{1/2}·м^{3/2}·с⁻¹.

Значение g_s для сильного взаимодействия выводится из обработки экспериментальных данных, находимых при взаимодействии нуклонов. С точки зрения квантовой хромодинамики, сильное взаимодействие между кварками внутри нуклонов осуществляется не целыми частицами типа виртуальных пионов, а особыми безмассовыми квантами – глюонами. В этом случае считается, что константа связи α_{sq} не совпадает со значением α_s в (77') для

межнуклонного взаимодействия, другими становятся и константы сильного взаимодействия:

$$\alpha_{sq} = \frac{g_{qg}^2}{4\pi\hbar c} \leq 1,$$

здесь g_{qg} – эффективный цветовой заряд кварка, испускающего виртуальные глюоны для осуществления взаимодействия с другим кварком. При уменьшении расстояния между кварками, достигаемого при столкновениях частиц с большой энергией, ожидается уменьшение α_{sq} и ослабление сильного взаимодействия (эффект асимптотической свободы кварков). На масштабе энергий порядка массы-энергии Z^0 бозона (91,19 ГэВ) находится, что $\alpha_{sq} = 0,1187$ согласно [56].

Как и g_s , эффективный заряд слабого взаимодействия g_F и постоянная Ферми G_F определяются феноменологически, то есть аксиоматически вводятся в теорию для описания результатов экспериментов. В целом все четыре взаимодействия в стандартной модели рассматриваются на основе $SU(n)$ -подхода, то есть полагаются проявлениями той или иной симметрии. Например, симметрией электромагнитного взаимодействия является $U(1)$, симметрией слабого взаимодействия – $SU(2)$, а симметрией сильного взаимодействия считается $SU(3)$. Для электрослабого взаимодействия, формально объединяющего электромагнитное и слабое взаимодействия кварков и лептонов, калибровочной группой предполагается $SU(2) \times U(1)$.

Если же использовать теорию бесконечной вложенности материи [2] и подобие уровней материи [3], то можно прояснить смысл известных взаимодействий и их соотношения друг с другом. Связующим звеном здесь является модернизированная теория гравитации Лесажа [55], описанная в § 7, и подобная ей динамическая модель возникновения электростатического поля в § 19. В модели Лесажа гравитационное и электромагнитное взаимодействия материальных тел предстают как фундаментальные полевые взаимодействия, зависящие от свойств потоков гравитонов и соответствующих полевых квантов, проходящих через данные тела и передающих им импульс силы. Отсюда вытекает подобие законов Ньютона и Кулона для сил, подобие уравнений для напряжённостей и потенциалов полей, большой радиус действия сил. Источниками полевых квантов являются частицы вещества, принадлежащие нижним уровням материи (подробнее об этом в комментариях 1 и 6). Вследствие этого у полевых квантов разных уровней материи различается энергия, длина свободного пробега в веществе, проникающая способность и эффективная сила воздействия на разных пространственных масштабах. Одним из результатов

является то, что обычная гравитация, действующая вблизи массивных тел, на уровне элементарных частиц заменяется сильной гравитацией.

На основе идеи сильной гравитации и полей гравитационного кручения в § 10 была обоснована гравитационная модель сильного взаимодействия. В этой модели соединения нуклонов в атомных ядрах, а также странные адроны объясняются действием гравитационных и электромагнитных сил. Сильная гравитация действует не только между всеми элементарными частицами, включая лептоны, но и в их веществе, соединяя его воедино и придавая тем самым форму частицам. Энергия взаимодействия двух нуклонов в поле сильной гравитации равна:

$$U_{pp} = -\frac{\beta \Gamma M_p^2}{r}, \quad (78')$$

где $\Gamma = 1,514 \cdot 10^{29} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ – постоянная сильной гравитации, находимая из условия равновесия электрона в атоме водорода,

где β – небольшой коэффициент как в (53'), оценка которого для случая взаимодействия двух нуклонов даёт значение $\beta = 0,26$ как следствие экспоненциального затухания потока гравитонов в веществе нуклонов в теории гравитации Лесажа. Для менее плотных частиц β стремится к 1.

Аналогично (77') из (78') найдём постоянную связи сильной гравитации:

$$\alpha_{pp} = \frac{\beta \Gamma M_p^2}{\hbar c} = 13,4 \beta.$$

Сравнивая α_{pp} и α_s из (77'), находим, что эти величины одного порядка. Это означает, что сильная гравитация вблизи протона такая же, как это описывается феноменологически с помощью сильного взаимодействия.

В сильном взаимодействии присутствуют ещё силы тензорного вида. Эти силы согласно гравитационной модели сильного взаимодействия возникают от спин-спиновых и спин-орбитальных сил от полей кручения. Благодаря эффекту гравитационной индукции, описанном в § 10, взаимодействующие элементарные частицы могут ускорять или тормозить своё вращение за счёт полей кручения, изменяя как свой момент импульса, так и поля кручения вокруг себя. Кроме гравитационных сил, дополнительный вклад в сильное взаимодействие вносят электрические и магнитные поля частиц. Таким образом, сильное взаимодействие частиц может быть связано с двумя фундаментальными полями – сильной гравитацией и электромагнитным полем, и является сложной композицией этих полей, зависящей от конфигурации взаимодействия частиц.

В отличие от сильного, слабое взаимодействие лишь формально можно рассматривать как какое-то силовое поле. Соответственно, W^\pm и Z^0 бозоны, полагающиеся квантами слабого поля, следует считать квазичастицами, не существующими самостоятельно. Сутью слабого взаимодействия является трансформация вещества элементарных частиц за счёт реакций слабого взаимодействия, происходящих на более низком масштабном уровне материи. В построенных в § 11 и в § 14 субстанциональных моделях нейтрона, протона и электрона видно, какие процессы протекают в веществе элементарных частиц в различных реакциях слабого взаимодействия, при β -распаде или при взаимодействии с нейтрино. Поскольку в веществе элементарных частиц действуют фундаментальные поля (сильная гравитация и электромагнитное поле) и силы отталкивания носителей вещества друг от друга, то их взаимодействие в первую очередь влияет на скорость слабого взаимодействия при распадах элементарных частиц. Внешнее воздействие, например от нейтринных или фотонных потоков, столкновений элементарных частиц друг с другом, также влияет на скорость слабых взаимодействий, происходящих в веществе частиц. С этой точки зрения, энергия слабого взаимодействия U_W в (74') отражает определённый уровень энергий, характеризующих слабое взаимодействие с нуклонами.

В комментарии 2 гравитоны были представлены как нейтрино, а последние – как некоторый вид электромагнитного излучения. Добавляя сюда мельчайшие заряженные релятивистские частицы наподобие космических лучей, получаем сложный субстрат из фотонов и быстрых заряженных частиц разных энергий и концентраций, пронизывающий всю Вселенную и обеспечивающий согласно модели Лесажа все электромагнитные и гравитационные силы между материальными объектами, и приводящий к проявлениям сильного и слабого взаимодействий.

В заключение рассмотрим характерный пример, иллюстрирующий различие подходов в стандартной модели и в теории бесконечной вложенности материи. Считается, что при β^- -распаде нейтрона образуется протон, электрон и электронное антинейтрино, причём и электрон и антинейтрино должны обладать спинами, равными $\hbar/2$, и направленными противоположно (у возникающего протона остаётся тот же квантовый спин $\hbar/2$, что и у нейтрона). Однако с точки зрения субстанциональной модели электрона, спин электрона имеет динамическую природу – он возникает в атоме лишь при переходах электрона с одного уровня на другой и исчезает в стационарных состояниях. Что касается спина свободного электрона вне атома, то он также не имеет постоянного значения. Это обусловлено тем, что электрон в таком состоянии не устойчив – его масса слишком мала, чтобы за счёт сильной гравитации удерживать вещество от электрических сил расталкивания собственного заряда.

Предположим теперь, что в ходе β^- – распада нейтрона вещество электрона отделяется от экваториальных областей нейтрона и сбрасывается прочь. Если спин нейтрона равен $\hbar/2$, то для определения экваториальной скорости u вращения вещества нейтрона должна быть справедлива формула:

$$\frac{\hbar}{2} = I\omega = 0,4M_n R_n u, \quad (79')$$

где $I = 0,4M_n R_n^2$ – момент инерции нейтрона,

$\omega = \frac{u}{R_n}$ – угловая скорость вращения,

M_n и R_n – масса и радиус нейтрона.

Из (79'), подставляя вместо M_n и R_n соответствующие параметры протона ($R_p = 0,87$ Фм), можно оценить экваториальную скорость: $u = 9 \cdot 10^7$ м/с. Спин электрона, понимаемый как момент импульса вещества, сбрасываемого с экватора нейтрона, будет равен: $L_e = M_e R_n u = 6,7 \cdot 10^{-4} \hbar$. Эта величина намного меньше, чем спин $\hbar/2$, приписываемый электрону в квантовой механике.

Для оценки спина антинейтрино рассмотрим ситуацию на звёздной модели. Предположим, что при β^- – распаде нейтронной звезды образуется магнитар, заряженный объект – аналог электрона, а также звёздное антинейтрино. В предельном случае предположим, что каждый нуклон нейтронной звезды излучил нейтрино или антинейтрино со спином $\hbar/2$, так что спин звёздного антинейтрино складывается из этих спинов по формуле: $L_{sv} = \Phi \frac{\hbar}{2}$. Здесь

$\Phi = 1,62 \cdot 10^{57}$ – количество нуклонов в типичной нейтронной звезде, и одновременно коэффициент подобия по массе между двумя уровнями материи, то есть между вырожденными компактными звёздами и элементарными частицами в виде нуклонов. Отношение спина звёздного антинейтрино L_{sv} к типичному спину нейтронной звезды $\hbar_s / 2 = 2,7 \cdot 10^{41}$ Дж·с будет равно:

$$\frac{2L_{sv}}{\hbar_s} = \frac{\Phi \hbar}{\hbar_s} = \frac{1}{PS} = 3,1 \cdot 10^{-19},$$

поскольку $\hbar_s = \hbar \Phi P S$, где $P = 1,4 \cdot 10^{19}$ и $S = 0,23$ – коэффициенты подобия по размерам и скоростям соответственно.

Полученное отношение чрезвычайно мало, так что при излучении звёздного антинейтрино спин звезды никак не изменится. Такой же вывод из теории подобия следует и для электронного антинейтрино – при его излучении спин нейтрона останется прежним, поскольку спин антинейтрино получается пренебрежительно малым по отношению к спину нейтрона. Данный результат кардинально отличается от предсказаний стандартной модели, в которой квантовый спин антинейтрино равен квантовому спину электрона и спину нейтрона.

Дата публикации комментария №9: 05.04.2010.

10. Поляризуемость нуклонов

Если поместить нуклоны в электрическое поле E , то у них обнаруживается наведённый электрический дипольный момент D , зависящий от приложенного поля:

$$D = 4\pi\epsilon_0 \alpha E, \quad (80')$$

где величина α называется электрической поляризуемостью, ϵ_0 – электрическая постоянная.

Оценки поляризуемости дают следующие значения: $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-48} \text{ м}^3$ для протона, $\alpha = 1,16 \cdot 10^{-48} \text{ м}^3$ для нейтрона [44]. В простейшей модели нуклона как проводящей сферы дипольный момент получается как результат перераспределения заряда. Рассмотрим нейтральную проводящую сферу во внешнем однородном электрическом поле E , направленном в положительном направлении оси OY системы координат с началом в центре сферы. Под действием поля произойдёт разделение положительных и отрицательных зарядов, а центры их распределений сдвинутся относительно начала координат на некоторое расстояние $\pm s$ на оси OY . Если обозначить через $\pm q$ величину эффективных зарядов распределений, то дипольный момент сферы будет равен $D = 2sq$. После разделения зарядов они должны быть неподвижны во внешнем поле E , в частности, на полюсе сферы на оси OZ суммарное электрическое поле должно быть равно нулю, чтобы здесь не было переноса зарядов из одной полусферы в другую. Проектируя все электрические поля на полюсе сферы на ось OY , получим соотношение баланса электрических полей:

$$E = \frac{2q}{4\pi\epsilon_0(R^2 + s^2)} \frac{s}{\sqrt{R^2 + s^2}} = \frac{D}{4\pi\epsilon_0(R^2 + s^2)^{1.5}}, \quad (81')$$

где R – радиус сферы,

$\frac{s}{\sqrt{R^2 + s^2}}$ есть значение косинуса угла между направлением электрического поля от заряда $+q$ или $-q$, и осью OY .

Из (80') и (81') следует, что для проводящей сферы $\alpha = (R^2 + s^2)^{1.5} \approx R^3$. Если бы нуклон был такой сферой, то из значения α можно было бы определить радиус нуклона: $R_n = \alpha^{1/3} \approx 10^{-16}$ м. Однако известно, что радиус нуклона на самом деле в 7 – 9 раз больше. Например, в [1] использовалась оценка $R_p = 6,7 \cdot 10^{-16}$ м, а так называемый зарядовый радиус протона равен $R_{pq} = 8,77 \cdot 10^{-16}$ м [44]. В чём же причина несовпадения фактического радиуса нуклона с его оценкой из измерений поляризуемости?

В § 11 мы описывали субстанциональные модели нейтрона и протона, согласно которым нуклоны состоят из множества мельчайших частиц – праонов. Между праонами, нуклонами и нейтронными звёздами существуют соотношения подобия, поскольку эти объекты принадлежат соответствующим основным уровням материи. На уровне звёзд моделью протона является магнитар с массой 1,35 масс Солнца, содержащий порядка $\Phi = 1,62 \cdot 10^{57}$ нуклонов, несущий электрический заряд величины $Q_s = 5,5 \cdot 10^{18}$ Кл и магнитный момент $1,6 \cdot 10^{30}$ Дж/Тл [1]. Предположение о том, что нейтронная звезда (магнитар) может иметь положительный электрический заряд, позволило нам объяснить происхождение высокоэнергетичных космических лучей. Действительно, на поверхности магнитара потенциал электрического поля достигает $4 \cdot 10^{24}$ В, что позволяет сообщать энергии протонам вплоть до $4 \cdot 10^{24}$ эВ. Если сравнить напряжённости электрического поля на поверхности протона и магнитара, то получится $1,9 \cdot 10^{21}$ В/м и $3,4 \cdot 10^{20}$ В/м соответственно. Как видно, имеются лишь небольшие отличия в величинах электрических полей протона и магнитара.

Благодаря значительному электрическому полю, вещество магнитаров, состоящее в основном из нейтронов, поляризуется, и нуклоны приобретают дипольный момент согласно (80'). Если распределение положительного заряда в веществе магнитара однородно по объёму, то тогда электрическое поле внутри магнитара линейно спадает до нулевого значения в его центре. Тогда почти во всём объёме магнитара электрическое поле будет настолько велико, что оно притянет свободные электроны к центральной части звезды. Если поместить

магнитар во внешнее электрическое поле, то с одной стороны это поле создаст некоторый небольшой дипольный момент у всех нуклонов, дополнительный к дипольному моменту от внутреннего электрического поля. С другой стороны, значительно больший общий дипольный момент звезды мог бы быть от перераспределения электронов по объёму в веществе магнитара. Если электроны сосредоточены в центральной части звезды, то куб радиуса r_s этой части был бы равен величине поляризуемости звезды α_s . По аналогии с ситуацией для нуклонов, описанной выше, радиус r_s должен быть приблизительно в 8,7 раз меньше радиуса звезды, равнясь 1,4 км. С точки зрения симметрии, количество электронов и протонов в центральной области звезды с радиусом $r_s \approx 1,4$ км должно быть одинаковым, причём электроны располагаются вблизи поверхности этой области. На каждый электрон действует сила от внутреннего положительного заряда, направленная к центру, а также равная ей сила от отталкивания электронов друг от друга, направленная противоположно. Принимая, что радиус звезды $R_s = 12$ км, можно оценить отрицательный электронный заряд в центральной области звезды:

$$Q^- = -\frac{Q_s r_s^3}{R_s^3} = -8,7 \cdot 10^{15} \text{ Кл.}$$

Данный заряд по модулю в 660 раз меньше общего положительного заряда звезды Q_s . Если наши предположения справедливы, то заряд Q^- мог бы быть ответственным за поляризуемость нейтронной звезды, помещённой во внешнее поле. Отсюда, исходя из аналогии протона с магнитаром, поляризуемость нуклонов связывается нами с разделением зарядов внутри вещества нуклонов и с действующими в этом веществе сильными электрическими полями. При этом вследствие различия структуры электрического поля в нейтроне и в протоне, когда в нейтроне центр заряжен положительно, а оболочка отрицательно, у нейтрона возникает различие в величине поляризуемости по отношению к протону.

В связи с вышеизложенным добавим ещё несколько замечаний о поведении вещества в таких объектах, как нуклоны или нейтронные звёзды. Оценим вначале максимальную температуру вещества нейтронной звезды, приравнивая согласно теореме вириала внутреннюю тепловую энергию и половину гравитационной энергии звезды:

$$\frac{3kT\Phi}{2} = \frac{\delta\gamma M_s^2}{2R_s}, \quad T = 3,7 \cdot 10^{11} \text{ К,}$$

здесь $\Phi = 1,62 \cdot 10^{57}$ есть коэффициент подобия по массе между уровнями материи звёзд и нуклонов,

k – постоянная Больцмана,

$\delta = 0,62$ – коэффициент, вытекающий из неоднородности вещества звезды,

γ – гравитационная постоянная,

M_s и R_s – масса и радиус звезды.

Температура T вещества достигается при образовании нейтронной звезды при взрыве сверхновой, с этой температурой может излучаться нейтрино, уносящее основную долю гравитационной энергии связи. После первичного нейтринного охлаждения температура вещества в недрах звезды постепенно уменьшается. Согласно [57], через миллион лет внутренняя температура может достичь 10^8 К. На наш взгляд, при рассмотрении хода охлаждения нужно учесть ещё дополнительные факторы. Как следует из теории гравитации Лесажа (смотри § 7), космические тела не могут остывать бесконечно, поскольку через них всё время проходят потоки гравитонов. Гравитоны сжимают вещество тел, удерживая его от распада, и неизбежно передают ему часть своей энергии. Эта энергия трансформируется во внутреннюю энергию, подогревающую недра тел и не дающую им остыть. Таким образом следует ожидать, что в звёздах имеется дополнительный источник их тепловой энергии, связанный с гравитацией.

Вспомним теперь о том, что кроме обычной кинетической температуры, определяемой движением частиц и их кинетической энергией, мы в [1] ввели понятие о потенциальной температуре. Данная температура находилась с помощью модуля потенциальной энергии, присущей частицам в каком-либо поле, и она не равнялась нулю даже в случае покоящихся частиц. Далее из кинетической и потенциальной температур мы определили обобщённую температуру системы, пропорциональную функции Лагранжа, усреднённой по всем частицам. Одним из характерных примеров применения понятия обобщённой температуры может быть дейтрон, в котором нуклоны в среднем неподвижны друг относительно друга. Тогда кинетическая температура нуклонов в её обычном понимании должна быть равна нулю. Однако на самом деле нуклоны быстро вращаются друг возле друга на общей оси вращения и их вещество находится в движении. Между частицами действуют сильная гравитация, поле гравитационного кручения и электромагнитные силы, так что присутствует значительная потенциальная энергия взаимодействия. Отсюда можно найти функцию Лагранжа в расчёте на одну частицу, и разделив её на $3k$, можно найти обобщённую температуру, характеризующую систему.

В веществе магнитара действуют общие электрические, магнитные и гравитационные поля, а также поле кручения от вращения звезды. Эти поля воздействуют на нуклоны и ориентируют их соответствующим образом. Кроме этого, нуклоны отталкиваются друг от друга ядерными силами, противодействуя

силе гравитационного сжатия. Даже если бы кинетическая температура вещества звезды из-за предполагаемого охлаждения упала до нуля, обобщённая температура вещества не равнялась бы нулю вследствие большой потенциальной энергии взаимодействия нуклонов и их спинового вращательного движения. Нуклоны в звезде вращаются согласованно таким образом, чтобы их магнитные моменты были направлены вдоль общего магнитного поля и усиливали его. Если рассматривать нейтроны в центре магнитара, то спины нейтронов будут направлены противоположно спину (собственному моменту импульса) звезды. Что касается электронов, то если они сосредоточены вблизи радиуса $r_s \approx 1,4$ км, как мы предполагали выше, то в принципе некоторая часть их могла бы ещё вращаться по окружности данного радиуса под действием силы Лоренца от магнитного поля.

Круговое движение электронов, являющееся током, приводит к появлению магнитного момента. Как известно, во внешнем магнитном поле \mathbf{B} у нуклонов появляется индуцированный магнитный момент, который в системе физических единиц СИ можно определить формулой:

$$\mathbf{P}_\mu = \frac{4\pi \beta \mathbf{B}}{\mu_0}, \quad (82')$$

где β есть магнитная поляризуемость, равная $1,9 \cdot 10^{-49} \text{ м}^3$ для протона и $3,7 \cdot 10^{-49} \text{ м}^3$ для нейтрона согласно [44],

μ_0 – магнитная постоянная.

Попробуем понять, какой смысл имеет данное значение β . Пусть имеется замкнутый контур радиуса r , в котором под действием внешнего магнитного поля \mathbf{B} возникает ток электронов I и соответствующий магнитный момент \mathbf{P}_μ . Мы можем приравнять механическую энергию магнитного момента в магнитном поле, с одной стороны, и энергию кинетического движения электронов, создающих ток, с другой стороны:

$$-(\mathbf{P}_\mu \cdot \mathbf{B}) = I\pi r^2 B = \frac{Nmu^2}{2}, \quad (83')$$

здесь N – число электронов, создающих ток,

m – масса электрона,

u – средняя скорость движения электронов.

Соотношение (83') сводит магнитную энергию к энергии движения электронов. Ток в контуре можно выразить через число электронов и скорость их движения:

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{Neu}{2\pi r}, \quad (84')$$

где e – элементарный заряд.

Из (83') и (84') вытекает известное соотношение для угловой скорости ω вращения электронов в контуре в магнитном поле:

$$B = \frac{m\omega}{er} = \frac{m\omega}{e}.$$

Применим соотношения (82') – (84') для нейтронной звезды, заменяя β на β_s , а в качестве радиуса r используя r_s . Это даёт следующее:

$$\beta_s = \frac{\mu_0 Ne^2 r_s^2}{8\pi m} = \frac{W_e r_s^3}{2mc^2}, \quad (85')$$

где $W_e = \frac{Ne^2}{4\pi\epsilon_0 r_s}$ – электрическая энергия электрона в поле электронов, создающих наведённый магнитный момент, при условии, если бы эти электроны двигались в контуре без сопротивления току.

В знаменателе (85') стоит энергия покоя электрона, равная mc^2 . Видно, что размерность магнитных поляризуемостей β и β_s равна кубу длины, и это же касается размерности электрических поляризуемостей α и α_s для протона и магнитара соответственно. Выше мы нашли для магнитара, что $\alpha_s = r_s^3$, где $r_s \approx 1,4$ км. Поскольку для протона значения поляризуемостей таковы, что $\alpha = 6,3\beta$, то положим то же самое и для магнитара: $\alpha_s = r_s^3 = 6,3\beta_s$. Подставляя последнее в (85'), получим: $W_e = 0,3mc^2$. Это позволяет оценить электрический заряд электронов тока, создающих наведённый магнитный момент: $Ne = \frac{1,2\pi\epsilon_0 r_s mc^2}{e} = -0,024$ Кл. Как видно, электрическая энергия

электрона в поле зарядов, создающих наведённый магнитный момент магнитара во внешнем магнитном поле, не превышает одной трети от энергии покоя электрона. Аналогичный вывод следует и для отрицательных зарядов в веществе протона, создающих наведённый дипольный магнитный момент у протона при помещении его во внешнее магнитное поле. Представленная картина вполне согласуется с классическим пониманием поляризуемостей протона и структуры его вещества, при условии использования теории бесконечной вложенности материи и подобия между нуклонами и нейтронными звёздами.

Дата публикации комментария №10: 30.04.2010.

11. Взаимодействие фундаментальных полей в атоме водорода

Обратимся к атому водорода, который представляет собой одну из самых уникальных систем природы. Ядром атома является чрезвычайно плотный и небольшой по размеру протон, на значительном расстоянии от которого находится электрон в виде дисковидного облака с малой плотностью вещества. Электрические заряды протона и электрона противоположны по знаку и по модулю равны элементарному заряду, делая атом в целом нейтральным. Величина электрического заряда определяется структурой вещества нуклонов, получается как результат бета-распада нейтрона и достигает максимального значения, возможного с точки зрения равенства в веществе нуклона плотности вакуумной электромагнитной энергии и плотности энергии в поле сильной гравитации (смотри комментарий 1). Радиус Бора, вблизи которого находится почти всё вещество электрона, так относится к радиусу протона, как радиус Роша относится к радиусу нейтронной звезды. Если учесть, что на уровне звёзд аналогом протона является нейтронная звезда, на радиусе Роша которой планеты неизбежно распадаются под действием гравитации звезды, то становится понятным, почему электрон в атоме должен быть в виде облака. При этом осуществляется приблизительное равенство четырёх сил: электрической силы притяжения между зарядами вещества протона и электрона, силы гравитационного притяжения между массами протона и электрона в поле сильной гравитации, силы электрического отталкивания зарядов электронного облака друг от друга, и центробежной силы от орбитального вращения вещества электрона вокруг ядра. Это позволяет определить постоянную сильной гравитации Γ из равенства двух первых сил, согласно соотношению (47') в комментарии 6.

Другой способ следует из анализа размерностей физических единиц и коэффициентов подобия по массе Φ , размерам P и скоростям процессов S между протоном и нейтронной звездой:

$$\Phi = \frac{M_s}{M_p} = 1,62 \cdot 10^{57}, \quad P = \frac{R_s}{R_p} = 1,4 \cdot 10^{19}, \quad S = \frac{C_s}{c} = 0,23. \quad (86')$$

где $M_s = 2,7 \cdot 10^{30}$ кг и $R_s = 1,2 \cdot 10^4$ м – масса и радиус используемой нами модели нейтронной звезды,

$C_s = 6,8 \cdot 10^7$ м/с – характерная скорость частиц вещества внутри нейтронной звезды,

$M_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг и $R_p = 8,7 \cdot 10^{-16}$ м – масса и радиус используемой нами модели протона,

c – скорость света.

Для протона справедливо равенство:

$$M_p c^2 = \frac{\delta \Gamma M_p^2}{2R_p}, \quad (87')$$

где $\delta = 0,62$ как следствие неоднородности распределения вещества вдоль радиуса протона.

В левой части этого равенства находится полная энергия протона, как энергия покоя в смысле специальной теории относительности, а также как внутренняя энергия, определяющая характерную скорость вещества протона. В правой части равенства полная энергия протона определяется как половина гравитационной энергии протона в поле сильной гравитации согласно теореме вириала. Аналогичное равенство следует и для нейтронной звезды:

$$M_s C_s^2 = \frac{\delta \gamma M_s^2}{2R_s}, \quad (88')$$

где γ – гравитационная постоянная.

Равенство (88') является определением характерной скорости C_s . Если разделить (88') на (87') и воспользоваться (86'), находится постоянная сильной гравитации:

$$\frac{\gamma}{\Gamma} = \frac{PS^2}{\Phi}, \quad \Gamma = 1,514 \cdot 10^{29} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}.$$

Как было показано в § 14, квантование энергии и момента импульса в стационарных состояниях электрона в атоме происходит тогда, когда в веществе электрона осуществляется равенство потока механической кинетической энергии орбитального вращения, и потока энергии от электромагнитного поля в сумме с

потоком энергии от поля сильной гравитации. Равенство потоков энергии приводит к тому, что импульс обоих полей равен импульсу от массы, связанной с кинетической энергией вещества электрона, поля не ускоряют вещество, и оно вращается стационарно.

С другой стороны, в § 11 мы нашли, что магнитный момент протона может быть вычислен через максимально возможный момент импульса протона, когда сильная гравитация ещё удерживает вещество протона на экваторе от разлёта под действием центробежных сил. Стандартная формула для выражения максимального магнитного момента протона через его максимальный спин имеет вид:

$$P_{mp \max} = \frac{e}{2M_p} L_{p \max}, \quad (89')$$

где e – элементарный заряд, максимальный спин $L_{p \max} = I_p \omega_{\max} = \frac{I_p V_{\max}}{R_p} = 0,4 M_p R_p V_{\max}$, I_p – момент инерции протона,

$V_{\max} = \omega_{\max} R_p$ – максимальная скорость на экваторе протона, ω_{\max} – максимальная угловая скорость вращения. Формула для магнитного момента $P_{mp \max}$ получена путём интегрирования по объёму протона и приведена из того условия, что электрический заряд протона равномерно распределён по его объёму, а при вращении протона этот заряд создаёт магнитный момент. Величину V_{\max} можно определить из равенства центробежной силы и

силы гравитации на экваторе: $\frac{\Gamma M_p}{R_p^2} = \frac{V_{\max}^2}{R_p}$. Отсюда для величины магнитного

момента протона получается:

$$P_{mp \max} = 0,2 e \sqrt{\Gamma M_p R_p} = 1,5 \cdot 10^{-26} \text{ Дж/Тл}. \quad (90')$$

Формула (90') даёт оценку магнитному моменту протона, достаточно близкую к табличному значению $1,41 \cdot 10^{-26}$ Дж/Тл. Можно предположить, что вначале магнитный момент протона возникает за счёт его предельного вращения, а затем поддерживается за счёт самоупорядочивания магнитным полем магнитных моментов частичек вещества протона, независимо от последующих состояний вращения. Таким образом, мы объясняем аномальный магнитный момент протона, превышающий в 2,79 раз ядерный магнетон, на основе классической физики, не прибегая к идее гипотетических кварков.

Оценим теперь магнитную энергию, возникающую от взаимодействия магнитного момента протона с магнитным полем от электронного облака. Магнитный момент электрона P_{me} , имеющий название магнетон Бора, и индукция B магнитного поля в центре дисковидного электронного облака в атоме водорода определяются соотношениями:

$$P_{me} = \frac{e\hbar}{2M_e}, \quad B = \frac{\mu_0 P_{me}}{2\pi R_B^3} = 12,5 \text{ Тл}, \quad (91')$$

где \hbar – постоянная Дирака,

M_e – масса электрона,

μ_0 – магнитная постоянная,

R_B – средний радиус электронного облака в основном состоянии (радиус Бора).

В § 14, используя размеры электронного диска такие же, как в распределении волновой функции и электронной плотности из уравнения Шрёдингера (внутренний край диска на расстоянии $\frac{R_B}{2}$ от ядра, внешний край на расстоянии $\frac{3R_B}{2}$ от ядра), и предполагая дифференциальное вращение вещества электрона на орбите вокруг ядра, мы нашли магнитный момент этого диска, оказавшийся равным магнетону Бора.

Механическая энергия магнитного момента протона в магнитном поле от электрона равна: $W = -(\mathbf{P}_{mp \max} \cdot \mathbf{B})$. В § 10 и в § 19 мы приводили формулу для механической энергии частицы со спином в поле кручения. Для максимального спина протона, находящегося в поле кручения Ω от вращающегося по своей орбите электрона, эта энергия будет равна: $U = -\frac{1}{2}(\mathbf{L}_{p \max} \cdot \Omega)$. Заменяя в (16') момент импульса L на орбитальный момент импульса электрона, равный \hbar , а гравитационную постоянную на постоянную сильной гравитации, находим поле кручения в центре дисковидного электронного облака:

$$\Omega = -\frac{\Gamma \hbar}{c^2 R_B^3}. \quad (92')$$

Можно показать, что энергии W и U имеют одинаковый знак. Если ещё предположить, что магнитная энергия протона в магнитном поле электрона

равна энергии его предельного спина в поле кручения от электрона, то с учётом (89'), (91'), (92') можно записать:

$$W = U, \quad \frac{eL_{p \max}}{2M_p} \frac{\mu_0 P_{me}}{2\pi R_B^3} = \frac{L_{p \max}}{2} \frac{\Gamma \hbar}{c^2 R_B^3}, \quad \Gamma = \frac{e^2}{4\pi \epsilon_0 M_p M_e}.$$

В этом случае для постоянной сильной гравитации Γ снова получается формула (47'). Таким образом, взаимодействие фундаментальных полей (электромагнитного и сильной гравитации) между протоном и электроном в атоме водорода дополняется предельным соотношением для энергий взаимодействия в магнитном поле и в поле кручения.

Дата публикации комментария №11: 03.06.2010.

12. Квант магнитного потока и релятивистское запаздывание

Часто считают, что квантовая механика и классическая электродинамика исходят из совершенно разных принципов и потому никогда не смогут полностью заменить друг друга. Однако можно показать, что сами такие типичные для микромира кванты, как элементарный электрический заряд e и элементарный момент импульса в виде постоянной Дирака \hbar , могут быть обоснованы с помощью классической физики и теории бесконечной вложенности материи. В комментарии 1 мы описывали связи между массой и зарядом протона и соотношения гравитационной и электромагнитной энергий в компактных объектах типа нуклонов и нейтронных звёзд. При этом был сделан вывод, что отношение массы протона к его заряду связано с балансом энергий квантов поля и частиц вещества протона при его образовании. В свою очередь, субстанциональные модели протона и нейтрона, построенные нами в § 11, показывают, как возникает положительный электрический заряд протона в ходе бета-распада нейтрона, и соответствующий отрицательный заряд электрона. Происходящие во всей Вселенной распады нейтронов дают протоны и электроны, соединяющиеся затем в нейтральные атомы водорода. Таким образом повсеместно проявляется один универсальный квант электрического заряда в виде элементарного заряда e .

При анализе водородной системы из магнитара и объекта-аналога электрона возле него в § 14 были найдены следующие особенности на звёздном радиусе Бора:

1. Данный радиус с величиной $R_B = 7,4 \cdot 10^8$ м практически совпадает с радиусом Роша, при котором планеты распадаются в сильном гравитационном поле магнитара. Это приводит к тому, что объект-аналог электрона может быть лишь в виде диска или соответствующей осесимметричной фигуры. Вещество такого объекта является замагниченным, поскольку содержит много железа и никеля,

находящихся в ядрах планет. Кроме этого, объект-аналог электрона может образоваться в ходе превращения нейтронной звезды в магнитар при сбросе вещества с поверхности звезды, обогащённой железом и никелем (данный процесс полностью эквивалентен бета-распаду нейтрона с образованием электрона).

2. На звёздном радиусе Бора R_B при обычных периодах вращения магнитаров $T_s = 5 - 12$ с для линейной скорости предполагаемого твердотельного вращения магнитного поля получается:

$$V_l = \frac{2\pi R_B}{T_s} \approx (3,9 - 9,3) \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Скорость V_l превышает скорость света,

так что магнитное поле на самом деле не успевает вращаться за магнитаром. Вследствие этого вблизи радиуса R_B формируется значительная тороидальная компонента магнитного поля от магнитара, направленная по окружности орбитального вращения. Заряженное вещество объекта-аналога электрона имеет возможность дополнительно фиксироваться данным магнитным полем, двигаясь вдоль магнитных линий тороидального поля.

Отсюда с учётом указанных особенностей и подобия между звёздной водородной системой и атомом водорода следует, что радиус Бора является физически выделенным средним радиусом, на котором возможно стационарное вращение электронного облака в атоме водорода. Такое вращение в § 14 была объяснено тем, что при определённых орбитах электрона в атоме возникает условие стационарности в виде равенства потоков энергии электромагнитного и гравитационного полей в веществе электрона, и потока кинетической энергии вещества. Равенство потоков энергии означает равенство импульсов поля и импульса от массы, связанной с кинетической энергией вещества, что приводит к устойчивому состоянию вращения. Радиус Бора оказывается средним радиусом электронного диска в основном состоянии, и минимальным орбитальным радиусом, характеризующим стационарное вращение вещества электрона в атоме водорода. При этом радиусе момент импульса электрона равен \hbar . Другие стационарные орбиты возможны при увеличенных моментах импульса электрона, кратных \hbar , при больших энергиях электрона и при различных эксцентриситетах орбит. Тем самым происходит квантование как момента импульса электрона, так и уровней его энергии.

Покажем теперь, как можно понять квантование магнитного потока без квантовой механики. Экспериментально квантование магнитного потока может быть обнаружено в опытах по намагничиванию маленьких колец, вещество которых переходит в сверхпроводящее состояние. Во время перехода магнитное поле выталкивается из вещества кольца наружу, однако магнитный поток через отверстие кольца остаётся после снятия внешнего поля. Это является следствием закона Ленца, по которому в сверхпроводящем кольце генерируются такие токи,

которые стремятся восстановить прежнюю конфигурацию магнитного поля при его уменьшении или увеличении внешними источниками.

Пусть маленькое кольцо имеет радиус r и находится в магнитном поле с индукцией B , направленной перпендикулярно плоскости кольца. Если в кольце протекает какой-то ток, то для его устойчивого и свободного движения внутри кольца необходимо выполнение условия орбитального вращения – равенство силы притяжения к центру кольца и центростремительной силы. Если выбрать в качестве силы притяжения силу Лоренца, действующую на каждый электрон от внешнего магнитного поля, то равновесие сил даёт:

$$eVB = \frac{M_e V^2}{r}, \quad (93')$$

где V – скорость электрона,

M_e – масса электрона.

Умножим обе части (93') на площадь πr^2 кольца, занимаемую магнитным потоком, и обозначим магнитный поток через $\Phi = B\pi r^2$. Это даёт равенство: $e\Phi = \pi M_e V r$. Будем теперь уменьшать магнитное поле до такой степени, чтобы магнитный поток стал равным кванту магнитного потока Φ_0 . В этом случае скорость V движения вещества электрона в кольце также уменьшится до некоторой величины. Мы считаем, что кванту магнитного потока соответствует квант момента импульса, то есть момент импульса электрона в кольце должен равняться постоянной Дирака: $M_e V r = \hbar$. Получается равенство $e\Phi_0 = \pi\hbar$, дающее квант магнитного потока: $\Phi_0 = \frac{\hbar}{2e} = 2,067 \cdot 10^{-15}$ Вб. Данный квант

может быть зафиксирован в сверхпроводящем кольце, в котором электроны находятся в сверхпроводящем состоянии и текут свободно.

Если подсчитать магнитный поток, связанный с магнитным полем, пронизывающим электронное облако в атоме водорода в пределах радиуса Бора r_B , то этот магнитный поток будет значительно меньше, порядка $\alpha^2 \Phi_0$, где

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c} = 0,0073 \text{ – постоянная тонкой структуры, } \epsilon_0 \text{ – электрическая}$$

постоянная, c – скорость света. Это можно показать на модели электронного облака в виде витка, в котором ток витка равен отношению заряда к периоду

вращения вещества: $I = \frac{e}{T} = \frac{eV_B}{2\pi r_B}$, где $V_B = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar} = \alpha c$ – скорость вещества

электрона на радиусе Бора. Магнитный момент данного витка с током равен магнетону Бора: $P_B = I\pi r_B^2 = \frac{eV_B r_B}{2} = \frac{e\hbar}{2M_e}$. Индукция магнитного поля в центре витка с током равно: $B = \frac{\mu_0 P_B}{2\pi r_B^3} = \frac{\mu_0 e V_B}{4\pi r_B^2}$. Умножая эту индукцию на площадь витка πr_B^2 , находим магнитный поток в атоме водорода на радиусе Бора:

$$\Phi_B = \frac{\mu_0 e V_B}{4} = \frac{\mu_0 e \alpha c}{4} = \frac{e \alpha}{4\epsilon_0 c} = \alpha^2 \Phi_0. \quad (94')$$

Любопытно отметить, что магнитный поток, связанный с протоном от действия собственного магнитного момента протона, приблизительно равен $\Phi_p \approx \alpha \Phi_0$. Дело в том, что согласно (94') заряд величиной e при орбитальном вращении со скоростью V_B порождает магнитный поток Φ_B . Если уменьшить радиус вращения заряда от радиуса Бора r_B до протонного радиуса, скорость вращения увеличится от V_B до скорости света c (поскольку вблизи радиуса протона требуется орбитальная скорость порядка скорости света, чтобы противостоять тяготению от сильной гравитации). Так как $\alpha = \frac{V_B}{c}$, то

$$\Phi_p \approx \frac{\mu_0 e c}{4} = \frac{\mu_0 e V_B}{4\alpha} = \alpha \Phi_0.$$

Согласно (94') квант магнитного потока Φ_0 связан с макроскопическими размерами, поскольку он более чем на четыре порядка больше кванта магнитного потока Φ_B в атоме водорода. Даже если электрон будет вращаться по некоторой орбите со скоростью света, возникающий магнитный поток не будет превышать значения $\Phi_p \approx \alpha \Phi_0$. Следовательно, в образовании каждого кванта магнитного потока Φ_0 в сверхпроводниковом кольце участвуют не менее чем сотни электронов. Считается, что в сверхпроводниках второго рода наряду со сверхпроводящей фазой имеется нормальная фаза, которая в магнитном поле приобретает вид тонких нитей, несущих магнитный поток Φ_0 .

Для объяснения квантования магнитного потока в теории сверхпроводимости используется идея куперовских электронных пар, суммарный заряд которых $q = 2e$. Согласно квантовой механике квантовомеханическая фаза ϕ меняется по формуле:

$$\phi_2 - \phi_1 = -\frac{q}{\hbar} \int_1^2 \varphi dt + \frac{q}{\hbar} \int_1^2 \mathbf{A} \cdot d\mathbf{r}, \quad (95')$$

Из (95') следует, что фаза микрочастицы меняется под достаточно длительным действием электрического скалярного потенциала φ или при прохождении микрочастицей некоторого пути, на котором имеется векторный потенциал поля \mathbf{A} . В отсутствие электрического потенциала с помощью теоремы Стокса и формулы для индукции магнитного поля $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$ при интегрировании по замкнутому контуру в (95') можно получить:

$$\phi_2 - \phi_1 = 2\pi = \frac{q}{\hbar} \int_1^2 \mathbf{A} \cdot d\mathbf{r} = \frac{q}{\hbar} \int_1^2 (\nabla \times \mathbf{A}) \cdot d\mathbf{S} = \frac{q}{\hbar} \int_1^2 \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = \frac{q\Phi}{\hbar}. \quad (96')$$

В данном выражении интегрирование от векторного потенциала по контуру было заменено на интегрирование по площади внутри контура от ротора \mathbf{A} , дающего индукцию магнитного поля \mathbf{B} и затем магнитный поток Φ . При этом предполагается, что замкнутый контур содержит внутри себя разрыв, в котором отсутствует сверхпроводящее вещество, и фаза после одного оборота частицы изменяется на 2π . Если теперь подставить в (96') $q = 2e$, получится выражение

для кванта магнитного потока: $\Phi_0 = \frac{h}{2e}$.

В § 5 мы занимались поиском калибровочной функции для потенциалов гравитационного поля и там возник вопрос, как можно трактовать квантовомеханическую электромагнитную фазу в (95'). Данная фаза на практике проявляет себя в эффекте Ааронова – Бома и она может быть получена в результате калибровочного преобразования потенциалов электромагнитного поля. Распространённым мнением является то, что знания напряжённостей электрического и магнитного полей недостаточно для предсказания результатов квантовомеханических экспериментов. В частности, фаза за счёт потенциалов поля меняется даже в отсутствие напряжённостей магнитного или электрического полей, когда они обнуляются в некоторой области.

Для того, чтобы понять изменение фазы, удобно сравнить функции действия для частицы с массой m и зарядом q , помещённой либо в гравитационное, либо в электромагнитное поля:

$$S_g = \int_1^2 \left(-mc^2 \sqrt{1 - V^2/c^2} - m(\psi - \mathbf{D} \cdot \mathbf{V}) - \frac{1}{8\pi\gamma} \int (\mathbf{G}^2 - c^2 \mathbf{\Omega}^2) dx^3 \right) dt, \quad (97')$$

$$S_q = \int_1^2 \left(-mc^2 \sqrt{1 - V^2/c^2} - q(\varphi - \mathbf{A} \cdot \mathbf{V}) - \frac{\varepsilon_0}{2} \int (\mathbf{E}^2 - c^2 \mathbf{B}^2) dx^3 \right) dt,$$

где V – скорость частицы,

ψ и \mathbf{D} – скалярный и векторный потенциалы гравитационного поля,

\mathbf{G} – гравитационное ускорение,

$\boldsymbol{\Omega}$ – поле гравитационного кручения.

Предполагается, что скорость распространения гравитации равна скорости света. С помощью функции действия S_g мы в [1] выводили уравнения движения частицы в гравитационном поле. В выражении для S_g находится следующий член:

$$\kappa = \int (\psi - \mathbf{D} \cdot \mathbf{V}) dt.$$

Как мы доказали в § 5, κ есть калибровочная функция для потенциалов, с помощью которой делается калибровка:

$$\mathbf{D}_1 = \mathbf{D} + \nabla \kappa, \quad \psi_1 = \psi - \frac{\partial \kappa}{\partial t},$$

где \mathbf{D}_1 и ψ_1 – некоторые новые потенциалы гравитационного поля, использование которых не меняет напряжённостей поля.

Калибровочная функция подчиняется также уравнению:

$$\nabla^2 \kappa - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \kappa}{\partial t^2} = 0.$$

Обратим теперь внимание, что если в функции действия S_g первый член разделить на $-mc^2$, то из него получится стандартный эффект замедления времени за счёт движения со скоростью V :

$$\Delta t = \int_1^2 \sqrt{1 - V^2/c^2} dt.$$

Аналогично, беря второй член в S_g в части скалярного потенциала, находим:

$$\Delta t = \frac{1}{c^2} \int_1^2 \psi dt.$$

Данное выражение описывает стандартный эффект замедления хода времени часов, помещённых в потенциал гравитационного поля, отличающийся на величину ψ от потенциала контрольных часов. В связи с этим мы предполагаем, что и остальные члены в функции действия приводят к сдвигу показаний часов. Последний член задаёт энергии полей в рассматриваемом объёме, и эти энергии, вычисляемые через напряжённости поля, также должны вносить свой вклад в изменение темпа времени часов массы m :

$$\Delta t = \frac{1}{8\pi\gamma mc^2} \int_1^2 \left(\int (\mathbf{G}^2 - c^2 \mathbf{\Omega}^2) dx^3 \right) dt. \quad (98')$$

Согласно (98'), чем меньше масса часов и их энергия покоя, и чем больше объём часов и энергия гравитационного поля, содержащаяся в нём, тем больше замедление времени. При этом свободные волны, у которых $\mathbf{G} = \pm c \mathbf{\Omega}$, не вносят вклад в эффект замедления, важны лишь поля, связанные с источниками. Это же касается и электромагнитных волн.

Векторный потенциал \mathbf{D} аналогично участвует в замедлении времени:

$$\Delta t = -\frac{1}{c^2} \int_1^2 \mathbf{D} \cdot \mathbf{V} dt = -\frac{1}{c^2} \int_1^2 \mathbf{D} \cdot d\mathbf{r}.$$

Механизм изменения хода часов связан по-видимому с тем, что в векторном потенциале частица получает дополнительный импульс и меняет свою скорость по отношению к контрольной частице.

Электромагнитное поле является фундаментальным полем, подобным гравитационному, и для него также должны выполняться соотношения в отношении замедления времени. В частности, исходя из (97'), должно быть:

$$\Delta t = \frac{q}{mc^2} \int_1^2 (\varphi - \mathbf{A} \cdot \mathbf{V}) dt = \frac{q}{mc^2} \int_1^2 \varphi dt - \frac{q}{mc^2} \int_1^2 \mathbf{A} \cdot d\mathbf{r}. \quad (99')$$

Учитывая, что фазовый сдвиг с точностью до знака связан с интервалом времени через угловую частоту в виде $\Delta\phi = \pm\omega\Delta t$, и сравнивая (99') и (95'), получаем:

$$\omega = \frac{mc^2}{\hbar}.$$

Угловая частота ω соответствует волне, энергия которой равна энергии покоя массы m . Кроме этого, данная частота с точностью до лоренцевского фактора (который обычно опускается при решении уравнения Шрёдингера) равна угловой частоте волны де Бройля, сопутствующей частице с массой m . Соотношения для волны де Бройля λ_b таковы:

$$\lambda_b = \frac{2\pi v_b}{\omega} = \frac{2\pi \hbar v_b}{W} = \frac{h}{\wp}, \quad v_b = \frac{W}{\wp} = \frac{c^2}{V}, \quad \omega_b = \frac{mc^2}{\hbar \sqrt{1 - V^2/c^2}},$$

где v_b – скорость волны де Бройля,

$W = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$ – полная энергия частицы массы m , движущейся со скоростью V ,

$\wp = \frac{mV}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$ – релятивистский импульс.

В квантовой механике вместо движения частиц рассматривают волны де Бройля, соответствующие этим частицам, и изучают интерференционные эффекты с этими волнами. В [1] и в § 14 мы показали, что волна де Бройля может рассматриваться как результат лоренцевского пересчёта пульсаций электромагнитной волны, то есть колебаний внутри частицы, в систему отсчёта, в которой частица движется. Периоды обеих волн, внутри частицы и волны де Бройля для внешнего наблюдателя, претерпевают временной сдвиг в соответствии с компонентами функции действия (97') по формулам типа (98') и (99'). Временной сдвиг для движения по некоторой кривой при наличии потенциала поля пропорционален фазовому квантовомеханическому сдвигу. Таким образом, эффект Ааронова – Бома мы трактуем как результат воздействия потенциалов поля на скорость процессов. Тем самым обнаруживается связь между общей теорией относительности и заменяющей её ковариантной теорией гравитации (смотри § 20), с одной стороны, и квантовой механикой, с другой стороны. В то же время, на самом деле сдвиг времени (фазы) должен быть и в обычной классической электродинамике, и для его наблюдения в принципе не требуются квантовые эффекты.

Дата публикации комментария №12: 07.07.2010.

13. О равновесных состояниях электронного облака в атоме

Исходя из идеи динамического спина, мы в § 14 установили, что в s -состоянии основного уровня атома водорода спин электрона равен нулю, а электрон имеет орбитальный момент импульса, за счёт которого формируется магнитный момент, равный магнетону Бора. Электрон при этом имеет вид диска, радиус которого меняется от $r_i = \frac{r_b}{2}$ для внутреннего края до $r_o = \frac{3r_b}{2}$ на внешнем крае, исходя из распределения электронной плотности в основном состоянии атома водорода. Это распределение в свою очередь вытекает из волновой функции электрона, находимой при решении уравнения Шрёдингера, величина r_b есть радиус Бора.

Затем мы определили конфигурацию двух электронных дисков в основном состоянии атома гелия. При этом было найдено, что у каждого электронного диска радиусы меняются от $r_i = 0,58r_b$ до $r_o = 1,42r_b$, что не сильно отличается от ширины электронного диска в атоме водорода.

Оценим теперь высоту h электронного диска в атоме водорода из условия равновесия вещества. Пусть плоскость диска лежит в плоскости XOY , высота диска отсчитывается вдоль оси OZ от значения $-\frac{h}{2}$ до значения $+\frac{h}{2}$, а в начале координат и в центре диска находится протон как ядро атома водорода. Запишем условие равновесия элемента вещества на верхнем крае диска при высоте с z -координатой $+\frac{h}{2}$, на среднем радиусе диска r_b . Здесь вдоль оси OZ действуют следующие силы:

$$\frac{\Gamma M_p \Delta m h}{2(r_b^2 + h^2/4)^{1,5}} + \frac{e \Delta e h}{8\pi \epsilon_0 (r_b^2 + h^2/4)^{1,5}} = \Delta e |E_z(h/2)|, \quad (100')$$

где Γ – постоянная сильной гравитации,

M_p – масса протона,

Δm и Δe – масса и заряд элемента вещества электронного диска на его верхнем краю,

ϵ_0 – электрическая постоянная,

e – элементарный заряд,

$|E_z(h/2)|$ – напряжённость электрического поля на верхнем краю диска при z-координате $+\frac{h}{2}$, возникающая от собственного заряда самого диска.

В (100') сумма сил гравитационного и электрического притяжения элемента вещества электрона от ядра равна модулю электрического отталкивания элемента вещества от электронного диска. С целью упрощения в (100') можно подставить значение Γ из (47') и учесть, что $\frac{\Delta e}{\Delta m} = \frac{e}{M_e}$, где M_e – масса электрона:

$$\frac{eh}{4\pi\epsilon_0(r_b^2 + h^2/4)^{1,5}} = |E_z(h/2)|. \quad (101')$$

Чтобы найти высоту электронного диска, нужно решить уравнение (101') относительно величины h . Предварительно необходимо вычислить зависимость напряжённости электрического поля над диском в зависимости от z-координаты и найти значение напряжённости при $z = \frac{h}{2}$, то есть вблизи поверхности диска. Это проще всего сделать через вычисление электрического потенциала φ . Тогда напряжённость поля будет определяться через градиент потенциала вдоль оси OZ с обратным знаком при $z = \frac{h}{2}$:

$$E_z(h/2) = -\nabla_z \varphi. \quad (102')$$

В цилиндрической системе координат радиус-вектор элемента заряда на диске будет равен: $\mathbf{r}_1 = (r \cos \theta, r \sin \theta, z_1)$, где θ – угловая координата в пределах от 0 до 2π , r – текущий радиус диска в пределах от $r_i = \frac{r_b}{2}$ до $r_o = \frac{3r_b}{2}$, а z_1 меняется от $-\frac{h}{2}$ до значения $+\frac{h}{2}$. Потенциал диска симметричен относительно оси OZ , потому можно определить потенциал так, чтобы он не зависел от координаты y . Вектор до точки наблюдения, где определяется потенциал, в таком случае можно задать просто в плоскости ZOX в виде: $\mathbf{R} = (x, 0, z)$, $R^2 = x^2 + z^2$. Тогда вектор от элемента заряда до точки наблюдения будет равен $\mathbf{r}_2 = \mathbf{R} - \mathbf{r}_1 = (x - r \cos \theta, -r \sin \theta, z - z_1)$. Дифференциал заряда в объёме диска можно представить так:

$dq = \rho_q r dr d\varphi dz_1$, где ρ_q – объёмная плотность заряда вещества электрона. Для электрического потенциала в точке наблюдения получается формула:

$$\phi = \int \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r_{12}} = \frac{\rho_q}{2\pi\epsilon_0} \int_{\frac{r_b}{2}}^{\frac{3r_b}{2}} \int_0^\pi \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} \frac{r dr d\theta dz_1}{\sqrt{R^2 + r^2 + z_1^2 - 2rx \cos \theta - 2zz_1}}, \quad (103')$$

причём нас интересует потенциал при $x = r_b$ как функция от z .

Находя из (103') потенциал, а затем из (102') напряжённость электрического поля при $z = \frac{h}{2}$, можно решить уравнение (101') и оценить значение высоты h электронного диска в атоме водорода. Мы предоставляем возможность получить точное решение (103') всем желающим, а сейчас лишь сделаем максимальные оценки. Предположим, что диск сжат в очень узкое кольцо с радиусом, равным r_b , и высотой h_m . В результате электрическое поле над кольцом увеличится и равновесие вещества в верхней части кольца будет достигаться при большей высоте, то есть при $h_m > h$. Заменим в (101') h на h_m , и выразим из рисунка 28 в § 14 величину $E_z(h_m/2)$ через произведение $\alpha E(r_b)$, где $E(r_b) = \frac{e}{4\pi\epsilon_0 r_b^2}$, а значение $\alpha = \frac{E_z}{E(r_b)}$ получается в виде графика зависимости от $\beta = \frac{z}{r_b}$ при $z = \frac{h_m}{2}$. Это приводит к уравнению:

$$\frac{e h_m}{4\pi\epsilon_0 (r_b^2 + h_m^2/4)^{1,5}} = \frac{\alpha e}{4\pi\epsilon_0 r_b^2} \quad \text{или} \quad 2\beta = \alpha(1 + \beta^2)^{1,5}.$$

Решение данного уравнения будет при $\beta \approx 0,5$, то есть $h_m \approx r_b$. Таким образом, высота электронного диска должна быть меньше величины его среднего радиуса в виде радиуса Бора, так как $h < h_m \approx r_b$. Другую оценку высоты диска можно получить из анализа конфигурации электронных дисков в атоме гелия. Как было найдено в § 14, если рассматривать электроны в виде двух параллельных друг другу колец, то расстояние между кольцами в гелии должно равняться $1,9 \cdot 10^{-11}$ м или $0,33r_b$. Так как расстояние между кольцами должно состоять из двух полувысот колец и некоторого зазора между кольцами, то для

высоты диска получается неравенство: $h < 0,33r_b$. Наш вывод заключается в том, что электронные диски в атомах действительно довольно плоские образования.

Мы уже упоминали в комментариях выше, что в равновесных состояниях вращения электронного облака вокруг ядра осуществляется равенство потока механической кинетической энергии вещества облака, и потока энергии от электромагнитного поля в сумме с потоком энергии от поля сильной гравитации. Рассмотрим этот вопрос с другой стороны, исходя из уравнений Максвелла и электромагнитных величин:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0, & \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \\ \nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho_q}{\epsilon_0}, & c^2 \nabla \times \mathbf{B} &= \frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}, \end{aligned} \quad (104')$$

где \mathbf{E} и \mathbf{B} – векторы напряжённости электрического поля и индукции магнитного поля,

$\rho_q = \rho_{qf} + \rho_{qb}$ – объёмная плотность заряда движущегося элемента вещества, в котором определяются поля; включает в себя плотность как свободных, так и связанных зарядов,

c – скорость света,

$\mathbf{j} = \mathbf{j}_f + \mathbf{j}_b$ – вектор плотности электромагнитного тока,

$\mathbf{j}_f = V_f \rho_{qf} = \frac{V_f \rho_{qf0}}{\sqrt{1 - V_f^2/c^2}}$ – вектор плотности электромагнитного тока

свободных зарядов,

V_f – скорость движения элемента вещества, зафиксированного относительно свободных зарядов,

ρ_{qf0} – объёмная плотность свободных зарядов элемента вещества в системе его покоя,

$\mathbf{j}_b = V_b \rho_{qb} = \frac{V_b \rho_{qb0}}{\sqrt{1 - V_b^2/c^2}}$ – вектор плотности электромагнитного тока

связанных зарядов,

V_b – скорость движения элемента вещества, зафиксированного относительно связанных зарядов,

ρ_{qbo} – объёмная плотность связанных зарядов элемента вещества в системе его покоя.

Плотность энергии электромагнитного поля, вектор плотности потока энергии поля (вектор Пойнтинга) и вектор плотности импульса поля определяются формулами:

$$w = \frac{\epsilon_0}{2}(E^2 + c^2 B^2), \quad \mathbf{S}_p = \epsilon_0 c^2 [\mathbf{E} \times \mathbf{B}], \quad \vec{\mathcal{D}}_{em} = \frac{\mathbf{S}_p}{c^2} = \epsilon_0 [\mathbf{E} \times \mathbf{B}]. \quad (105')$$

Плотность электромагнитной силы записывается так:

$$\mathbf{f}_{em} = \rho_q \mathbf{E} + [\mathbf{j} \times \mathbf{B}]. \quad (106')$$

Выразим из (104') вектор \mathbf{j} и вычислим в (106') векторное произведение $\mathbf{j} \times \mathbf{B}$:

$$\begin{aligned} \mathbf{j} \times \mathbf{B} &= c^2 \epsilon_0 [\nabla \times \mathbf{B}] \times \mathbf{B} - \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \times \mathbf{B} = \frac{1}{\mu_0} [\nabla \times \mathbf{B}] \times \mathbf{B} - \epsilon_0 \frac{\partial [\mathbf{E} \times \mathbf{B}]}{\partial t} + \epsilon_0 \mathbf{E} \times \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \\ &= \frac{1}{\mu_0} (\mathbf{B} \cdot \nabla) \mathbf{B} - \frac{1}{2\mu_0} \nabla (B^2) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{S}_p}{\partial t} + \epsilon_0 [\nabla \times \mathbf{E}] \times \mathbf{E} = \\ &= \frac{1}{\mu_0} (\mathbf{B} \cdot \nabla) \mathbf{B} + \epsilon_0 (\mathbf{E} \cdot \nabla) \mathbf{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{S}_p}{\partial t} - \nabla w. \end{aligned}$$

Здесь было учтено, что $c^2 \epsilon_0 \mu_0 = 1$, а также согласно (104') $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$.

Вместо (106') получается:

$$\mathbf{f}_{em} = \rho_q \mathbf{E} + \frac{1}{\mu_0} (\mathbf{B} \cdot \nabla) \mathbf{B} + \epsilon_0 (\mathbf{E} \cdot \nabla) \mathbf{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{S}_p}{\partial t} - \nabla w. \quad (107')$$

Согласно (107'), плотность электромагнитной силы зависит от напряжённости электрического поля, от градиентов изменения напряжённости электрического поля и индукции магнитного поля, от скорости изменения

вектора Пойнтинга со временем, и от градиента плотности энергии электромагнитного поля.

Рассмотрим узкое кольцо в электронном диске в атоме водорода в основном состоянии вблизи радиуса r_b . Вещество электрона в этом кольце вращается по окружности, в центре которой находится ядро. Спроектируем уравнение (107') на касательную к этой окружности. Можно считать, что напряжённость электрического поля \mathbf{E} направлена по радиусу окружности и её проекция на касательную равна нулю. Это же следует и для индукции магнитного поля \mathbf{B} , которая создаётся за счёт вращения электронного диска и в первом приближении перпендикулярна плоскости диска, будучи направлена противоположно оси OZ в случае, когда отрицательно заряженный диск вращается вдоль оси OZ . С учётом (105') для вектора плотности импульса поля проекция вектора плотности электромагнитной силы (107') на касательную к окружности вращения будет равна:

$$(f_{em})_\tau = -\left(\frac{\partial \vec{\phi}_{em}}{\partial t}\right)_\tau - (\nabla w)_\tau. \quad (108')$$

Обратимся теперь к лоренц-инвариантным уравнениям для поля сильной гравитации:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \boldsymbol{\Omega} &= 0, & \nabla \times \mathbf{G} &= -\frac{\partial \boldsymbol{\Omega}}{\partial t}, \\ \nabla \cdot \mathbf{G} &= -4\pi\Gamma\rho, & c_g^2 \nabla \times \boldsymbol{\Omega} &= -4\pi\Gamma\mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial t}, \end{aligned} \quad (109')$$

где $\boldsymbol{\Omega}$ – поле кручения как гравитационный аналог магнитной индукции,

\mathbf{G} – гравитационное ускорение или напряжённость гравитационного поля,

$\rho = \frac{\rho_0}{\sqrt{1-V^2/c_g^2}}$ – объёмная плотность движущегося элемента вещества, в

котором определяются поля,

c_g – скорость распространения гравитации,

$\mathbf{J} = V\rho = \frac{V\rho_0}{\sqrt{1-V^2/c_g^2}}$ – вектор плотности массового тока,

V – скорость движения элемента вещества,

ρ_0 – объёмная плотность элемента вещества в системе его покоя.

Плотность энергии гравитационного поля, вектор плотности потока энергии поля и вектор плотности импульса поля задаются формулами:

$$u = -\frac{1}{8\pi\Gamma}(G^2 + c_g^2\Omega^2), \quad \mathbf{S}_g = -\frac{c_g^2}{4\pi\Gamma}[\mathbf{G} \times \boldsymbol{\Omega}],$$

$$\vec{\vartheta}_g = \frac{\mathbf{S}_g}{c_g^2} = -\frac{1}{4\pi\Gamma}[\mathbf{G} \times \boldsymbol{\Omega}]. \quad (110')$$

Для плотности гравитационной силы можно записать:

$$\mathbf{f}_g = \rho\mathbf{G} + [\mathbf{J} \times \boldsymbol{\Omega}]. \quad (111')$$

Вычислим векторное произведение $\mathbf{J} \times \boldsymbol{\Omega}$ с помощью значения \mathbf{J} из (109')

$$\begin{aligned} \mathbf{J} \times \boldsymbol{\Omega} &= -\frac{c_g^2}{4\pi\Gamma}[\nabla \times \boldsymbol{\Omega}] \times \boldsymbol{\Omega} + \frac{1}{4\pi\Gamma} \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial t} \times \boldsymbol{\Omega} = \\ &= -\frac{c_g^2}{4\pi\Gamma}[\nabla \times \boldsymbol{\Omega}] \times \boldsymbol{\Omega} + \frac{1}{4\pi\Gamma} \frac{\partial [\mathbf{G} \times \boldsymbol{\Omega}]}{\partial t} - \frac{1}{4\pi\Gamma} \mathbf{G} \times \frac{\partial \boldsymbol{\Omega}}{\partial t} = \\ &= -\frac{c_g^2}{4\pi\Gamma}(\boldsymbol{\Omega} \cdot \nabla)\boldsymbol{\Omega} + \frac{c_g^2}{8\pi\Gamma} \nabla(\Omega^2) - \frac{1}{c_g^2} \frac{\partial \mathbf{S}_g}{\partial t} - \frac{1}{4\pi\Gamma}[\nabla \times \mathbf{G}] \times \mathbf{G} = \\ &= -\frac{c_g^2}{4\pi\Gamma}(\boldsymbol{\Omega} \cdot \nabla)\boldsymbol{\Omega} - \frac{1}{4\pi\Gamma}[\mathbf{G} \cdot \nabla]\mathbf{G} - \frac{1}{c_g^2} \frac{\partial \mathbf{S}_g}{\partial t} - \nabla u. \end{aligned}$$

Подставим данный результат в (111')

$$\mathbf{f}_g = \rho\mathbf{G} - \frac{c_g^2}{4\pi\Gamma}(\boldsymbol{\Omega} \cdot \nabla)\boldsymbol{\Omega} - \frac{1}{4\pi\Gamma}[\mathbf{G} \cdot \nabla]\mathbf{G} - \frac{1}{c_g^2} \frac{\partial \mathbf{S}_g}{\partial t} - \nabla u. \quad (112')$$

Для плоского электронного диска, части которого вращаются по окружностям вокруг центра диска, где находится атомное ядро, вектор гравитационного ускорения от ядра \mathbf{G} перпендикулярен линейной скорости вращения вещества диска. За счёт вращения вещества в диске генерируется поле кручения $\mathbf{\Omega}$, приблизительно перпендикулярное плоскости диска. Поэтому если спроектировать уравнение (112') на направление касательной к окружности вращения электронного диска, то с учётом (110') для плотности импульса гравитационного поля получится следующее:

$$(f_g)_\tau = -\left(\frac{\partial \vec{\phi}_g}{\partial t}\right)_\tau - (\nabla u)_\tau. \quad (113')$$

Отсюда для суммарной плотности силы, действующей на элемент вещества электронного диска вдоль касательной к окружности вращения, из (108') и (113') получается:

$$\frac{dJ_\tau}{dt} = f_\tau = (f_{em})_\tau + (f_g)_\tau = -\left(\frac{\partial \vec{\phi}_{em}}{\partial t}\right)_\tau - (\nabla w)_\tau - \left(\frac{\partial \vec{\phi}_g}{\partial t}\right)_\tau - (\nabla u)_\tau. \quad (114')$$

В левой части равенства находится полная производная по времени от проекции вектора плотности импульса вещества \mathbf{J} на касательную к окружности вращения. Ввиду равенства гравитационной и инертной масс, данный вектор совпадает с вектором плотности массового тока в уравнениях для гравитационного поля (109'). При равновесном вращении вещества электронного диска градиенты от плотности энергии электромагнитного и гравитационного полей равны нулю. Тогда из (114') следует сохранение суммарной плотности импульса вращающегося по окружности вещества электрона и плотности импульса электромагнитного и гравитационного полей:

$$J_\tau + \wp_{em\tau} + \wp_{g\tau} = const.$$

Плотность импульса вещества можно разложить по формуле: $J_\tau = \frac{V_\tau \rho_0}{\sqrt{1 - V_\tau^2/c_g^2}} \approx V_\tau \rho_0 + \frac{V_\tau^3 \rho_0}{2c_g^2}$ и подставить в приведённое выше равенство в предположении, что скорость гравитации равна скорости света, $c_g = c$:

$$V_\tau \rho_0 + \frac{V_\tau^3 \rho_0}{2c^2} + \wp_{em\tau} + \wp_{g\tau} = const. \quad (115')$$

В (115') величина $\frac{V^3 \rho_0}{2c^2}$ есть плотность импульса, связанная с массой от кинетической энергии движения вещества электрона, поскольку эта масса равна отношению плотности кинетической энергии к квадрату скорости света.

С другой стороны, мы в § 14 нашли, что в равновесном состоянии в веществе электрона осуществляется равенство плотностей импульса:

$$\frac{\rho_0 V^2 \mathbf{V}}{2c^2} = \vec{\mathcal{P}}_g + \vec{\mathcal{P}}_{em}. \quad (116')$$

Следовательно, в равновесном состоянии атома не только осуществляется сохранение полной плотности импульса вещества электрона и электромагнитного и гравитационного полей согласно (115'), но ещё выполняется условие равенства суммарной плотности импульса электромагнитного и гравитационного полей и плотности импульса вещества, связанной с массой от кинетической энергии движения. Если умножить (115') и (116') на квадрат скорости света, то от плотности импульса можно будет перейти к плотностям энергии. В таком случае (115') превращается в закон сохранения суммарной энергии вещества и поля в атоме как в закрытой системе. Соответственно, (116') становится законом равнораспределения плотности энергии между плотностью потока кинетической энергии вещества

$\mathcal{S}_k = \frac{\rho_0 V^2 \mathbf{V}}{2}$ и суммарной плотностью потока энергии электромагнитного и гравитационного полей:

$$\mathcal{S}_k = \mathcal{S}_p + \mathcal{S}_g. \quad (117')$$

В процессах поглощения и испускания фотонов осуществляется перенос спиновой части полного момента импульса электрона от одного атома к другому посредством фотонов, величина переносимого момента импульса квантуется и пропорциональна постоянной Дирака \hbar . Другая причина квантования заключается в том, что только в стационарных состояниях осуществляется равнораспределение потоков энергии между веществом и полями. Вследствие этого возникают два условия, соответствующие одновременному квантованию как энергии, так и импульса электронов в атоме.

Выражения (116') и (117') являются отражением закона перераспределения потоков энергии, который можно сформулировать следующим образом:

«В открытой системе, переходящей в стационарное состояние своего существования, происходит перераспределение потоков энергии, импульса и действующих сил таким образом, что эти величины либо в среднем

выравниваются между различными компонентами системы, а также между различными степенями свободы этих компонент, либо приходят к устойчивым соотношениям друг с другом в результате действия фундаментальных сил».

Кроме равновесия потоков энергии в электронных облаках атомов, можно назвать и другие примеры проявления данного закона. Например, по теореме вириала кинетическая энергия механической системы в потенциальном поле равна половине потенциальной энергии и полной энергии этой системы; в электромагнитной волне плотность магнитной энергии равна плотности электрической энергии; при максвелловском распределении скоростей частиц на каждую степень свободы частицы приходится энергия, равная kT , где k – постоянная Больцмана, T – кинетическая температура; в нашей Галактике плотности энергии, связанные с турбулентным движением газа, магнитным полем, космическими лучами, полным излучением звёзд и фоновым микроволновым излучением, приблизительно совпадают. Если рассматривать открытую систему с учётом подобия уровней материи, то действие закона перераспределения потоков энергии приводит к одной и той же постоянной тонкой структуры для систем различных уровней материи. В частности, в атоме водорода электромагнитная постоянная тонкой структуры равна гравитационной постоянной тонкой структуры в поле сильной гравитации и равна гравитационной постоянной тонкой структуры для планетной системы, представляющей водородную систему на уровне звёзд [1].

Другим примером является равновесие нуклонов в атомном ядре, происходящее за счёт равенства сил и энергий, связанных с притяжением от сильной гравитации и с отталкиванием от гравитационного поля кручения (данные силы являются основными компонентами ядерных сил в гравитационной модели сильного взаимодействия) [60].

Дата публикации комментария №13: 12.10.2010.

14. О зависимости плотности вещества внутри протона в самосогласованной модели

В § 13 мы вычисляли полные моменты импульса электромагнитного и гравитационного полей внутри и снаружи протона, а затем из сравнения с моментом импульса вещества оценивали радиус этой частицы. Обратимся теперь к другому способу. Плотность вещества частицы неоднородна, что можно учесть в модели, в которой плотность вещества внутри протона изменяется линейным образом по формуле:

$$\rho = \rho_c (1 - Ar), \quad (118')$$

где ρ_c – центральная плотность,

r – текущий радиус,

$0 < A < \frac{1}{R}$ – коэффициент, подлежащий определению,

R – радиус протона.

Для оценки величин A и R рассмотрим интеграл для массы протона M_p в сферических координатах:

$$M_p = \int \rho_c (1 - Ar) r^2 dr \sin \theta d\theta d\varphi = \frac{4\pi R^3 \rho_c}{3} \left(1 - \frac{3AR}{4}\right). \quad (119')$$

В (119') содержатся три неизвестные величины, для нахождения которых требуются ещё два уравнения. Будем считать справедливой теорему вириала и приравняем энергию покоя протона к половине модуля энергии статического поля сильной гравитации:

$$M_p c^2 = -\frac{1}{2} \int_0^\infty u dV = \frac{1}{16\pi\Gamma} \int_0^\infty G^2 dV, \quad (120')$$

где u – плотность энергии гравитационного поля согласно (110'),
 G – гравитационное ускорение,
 c – скорость света.

В (120') интегрирование плотности энергии поля необходимо производить как внутри, так и за пределами протона. Величину G внутри удобно находить путём интегрирования уравнения (109') по сферическому объёму некоторого радиуса $r \leq R$, с последующим использованием теоремы Гаусса, то есть с переходом на интегрирование по площади сферы. С учётом (119') получается:

$$\int \nabla \cdot \mathbf{G}_i dV = \oint \mathbf{G}_i \cdot \mathbf{n} dS = 4\pi r^2 G_i = -\int 4\pi \Gamma \rho dV,$$

$$\mathbf{G}_i = -\frac{4\pi \Gamma \rho_c \mathbf{r}}{3} \left(1 - \frac{3Ar}{4}\right), \quad (121')$$

где Γ – постоянная сильной гравитации (47').

За пределами протона ускорение равно:

$$\mathbf{G}_o = -\frac{\Gamma M_p \mathbf{r}}{r^3}. \quad (122')$$

Подставляя (121') и (122') в (120'), получаем соотношение:

$$M_p c^2 = 4\pi^2 \Gamma \rho_c^2 R^5 \left(\frac{1}{45} - \frac{AR}{36} + \frac{A^2 R^2}{112} \right) + \frac{\Gamma M_p^2}{4R}. \quad (123')$$

В (123') можно исключить величину ρ_c с помощью (119'), что даёт зависимость A от R в виде квадратного уравнения:

$$A^2 R^2 \left(\frac{\Gamma M_p}{14} - \frac{Rc^2}{4} \right) + AR \left(-\frac{7\Gamma M_p}{36} + \frac{2Rc^2}{3} \right) + \frac{2\Gamma M_p}{15} - \frac{4Rc^2}{9} = 0.$$

Анализ уравнения показывает, что оно имеет следующее решение:

$$AR = \frac{\frac{7\Gamma M_p}{36} - \frac{2Rc^2}{3} + \sqrt{\frac{\Gamma M_p Rc^2}{945} - \frac{13\Gamma^2 M_p^2}{45360}}}{\frac{\Gamma M_p}{7} - \frac{Rc^2}{2}}, \quad (124')$$

при условии, что когда $0,3 < \frac{Rc^2}{\Gamma M_p} < \frac{13}{35} \approx 0,371$, то соответственно $0 < AR < 1$.

Обратимся теперь к магнитному моменту протона. Как и в комментарии 11, мы предполагаем, что магнитный момент протона равен тому магнитному моменту, который формируется за счёт максимально быстрого вращения заряженного вещества протона. В сферических координатах его можно приблизительно вычислить как сумму элементарных магнитных моментов отдельных колец с их радиусом $r \sin \theta$, обладающих магнитным моментом за счёт протекания в них тока di от вращения заряда:

$$\begin{aligned} P_m &= \int dP_m = \int \pi r^2 \sin^2 \theta di = \int \pi r^2 \sin^2 \theta \frac{dq}{dt} = \\ &= \int \pi r^2 \sin^2 \theta \rho_{qc} (1 - Ar) r^2 dr \sin \theta d\theta \frac{d\varphi}{dt} = \frac{4\pi R^5 \omega_L \rho_{qc}}{15} \left(1 - \frac{5AR}{6} \right). \end{aligned} \quad (125')$$

Угловая скорость $\omega_L = \frac{d\varphi}{dt}$ максимального вращения протона может быть найдена из условия предельного вращения, при равенстве центростремительной силы и силы гравитации на экваторе: $\frac{GM_p}{R^2} = \omega_L^2 R$. Считаем далее, что для плотностей заряда и вещества выполняется равенство $\frac{\rho_{qc}}{\rho_c} = \frac{e}{M_p}$, где e – заряд протона, равный элементарному заряду, и используем (119'). Это даёт следующее:

$$P_m = \frac{4e\sqrt{GM_p R} (6-5AR)}{30(4-3AR)}. \quad (126')$$

Соотношение (126') совместно с (124') дают возможность найти радиус протона $R = 8,73 \cdot 10^{-16}$ м, а также значение $A = \frac{0,48}{R}$. Из (119') тогда получается центральная плотность вещества $\rho_c = 9,4 \cdot 10^{17}$ кг/м³, которая превышает среднюю плотность протона в 1,57 раз. Максимальная угловая скорость вращения протона с учётом (125') будет равна $\omega_L = 6,17 \cdot 10^{23}$ рад/с.

Для сравнения с экспериментальными данными укажем на результаты расчётов электронного рассеяния из [61], где среднеквадратичный зарядовый радиус $R = 8,7 \cdot 10^{-16}$ м получается при учёте только рассеяния на протонах, $R = 8,71 \cdot 10^{-16}$ м с учётом данных пионного рассеяния, и $R = 8,8 \cdot 10^{-16}$ м с учётом данных о рассеянии на нейтронах. В работе [62] нашли среднеквадратичный зарядовый радиус $R = 8,4184 \cdot 10^{-16}$ м при изучении связанной системы из протона и отрицательного мюона. Усреднённое значение для радиуса протона $R = 8,768 \cdot 10^{-16}$ м можно найти на сайте Particle data group [44].

Дата публикации комментария №14: 30.11.2010.

15. Стационарное вращение нуклона как следствие равномерного распределения потоков энергии

В комментарии 11 мы нашли, что энергии взаимодействия быстро вращающегося протона с магнитным полем и полем кручения от электрона в атоме совпадают по величине. Другим примером является равенство потоков энергии в электронном облаке, как это было показано в § 14 и в соотношении (116'). Определим теперь такое состояние вращения протона, при котором в нём

также осуществляется равенство потоков энергии гравитационного поля и вращающегося вещества.

Для вычисления потока гравитационной энергии необходимо вычислить компоненты гравитационного поля, ускорение \mathbf{G} и кручение $\mathbf{\Omega}$, внутри протона. В § 13 мы находили их в случае, когда плотность вещества протона однородна. Если же плотность вещества изменяется, например по линейному закону (118'): $\rho_0 = \rho_c (1 - Ar)$, то необходим другой путь. Будем исходить из уравнений для потенциалов (708) в § 17:

$$\nabla^2 \psi - \frac{1}{c_g^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 4\pi \Gamma \rho, \quad \nabla^2 \mathbf{D} - \frac{1}{c_g^2} \frac{\partial^2 \mathbf{D}}{\partial t^2} = \frac{4\pi \Gamma}{c_g^2} \mathbf{J}, \quad (127')$$

где ψ – скалярный потенциал гравитационного поля сильной гравитации,

\mathbf{D} – векторный потенциал гравитационного поля,

c_g – скорость распространения гравитационного воздействия,

Γ – постоянная сильной гравитации (47'),

$\rho = \frac{\rho_0}{\sqrt{1 - V^2/c_g^2}}$ – плотность движущегося вещества,

ρ_0 – плотность вещества в системе покоя (в сопутствующей системе отсчёта),

V – скорость движения рассматриваемого элемента вещества,

$\mathbf{J} = \frac{V \rho_0}{\sqrt{1 - V^2/c_g^2}}$ – 3-вектор плотности массового тока.

При вращении с постоянной угловой скоростью временные производные в (127') будут равны нулю. В декартовых координатах уравнение для векторного потенциала становится таким:

$$\frac{\partial^2 \mathbf{D}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{D}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{D}}{\partial z^2} = \frac{4\pi \Gamma}{c_g^2} \mathbf{J}, \quad (128')$$

причём в § 13 мы обосновали, что компонента D_x должна быть пропорциональна y , D_y пропорциональна x , а $D_z = 0$. Положим, что $D_x = M(r)y$, где $M(r)$ – некоторая функция от текущего радиуса $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, которую необходимо определить. Обозначим штрихами

производные от $M(r)$ по радиусу, тогда $M' = \frac{dM}{dr}$, а частные производные будут: $\frac{\partial M}{\partial x} = \frac{\partial M}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial x} = \frac{xM'}{r}$, $\frac{\partial M}{\partial y} = \frac{yM'}{r}$, $\frac{\partial M}{\partial z} = \frac{zM'}{r}$. Вычисляя далее частные производные второго порядка и подставляя их в (128'), приходим к уравнению:

$$yM'' + \frac{4yM'}{r} = -\frac{4\pi\Gamma}{c_g^2} \omega y \rho_c (1 - Ar),$$

в котором использовано выражение для компонент вектора скорости $\mathbf{V} = (-\omega y, \omega x, 0)$, формула для распределения плотности вещества $\rho_0 = \rho_c (1 - Ar)$, и с целью упрощения мы не используем лоренцевский фактор $\sqrt{1 - V^2/c_g^2}$ в выражении для \mathbf{J} . После сокращения на y и решения дифференциального уравнения находится функция $M(r)$:

$$M(r) = \frac{\alpha r^2}{10} - \frac{\alpha Ar^3}{18} + \beta, \quad (129')$$

где $\alpha = -\frac{4\pi\Gamma}{c_g^2} \omega \rho_c$, β – некоторая постоянная.

Можно проверить, что выражения $D_y = -M(r)x$ и $D_z = 0$ являются решениями уравнения (128'). Зная вид компонент векторного потенциала \mathbf{D} , из формулы $\boldsymbol{\Omega} = \nabla \times \mathbf{D}$ определяем компоненты поля кручения внутри протона для случая распределения вещества по линейному закону:

$$\begin{aligned} \Omega_x &= \frac{\alpha xz}{5} - \frac{\alpha Axzr}{6}, & \Omega_y &= \frac{\alpha yz}{5} - \frac{\alpha Ayzr}{6}, \\ \Omega_z &= -\frac{\alpha(x^2 + y^2 + r^2)}{5} + \frac{\alpha Ar}{6} \left(x^2 + y^2 + \frac{2r^2}{3}\right) - 2\beta. \end{aligned} \quad (130')$$

Для нахождения константы β используем формулу (303) из § 13 для поля кручения на оси бесконечно тонкого кольца:

$$d\Omega_{zr} = -\frac{\Gamma dm \omega \ell^2}{c_g^2 (\ell^2 + b^2)^{1,5}}, \quad (131')$$

где dm – масса кольца,
 ω – угловая скорость вращения кольца,
 ℓ – радиус кольца,
 b – расстояние вдоль оси кольца от центра кольца до точки, где определяется кручение.

В сферических координатах для всего множества колец, из которых состоит шар, можно считать, что $dm = \rho_c (1 - Ar) r^2 dr \sin \theta d\theta d\varphi$, $\ell = r \sin \theta$. Для полюса $b = R - r \cos \theta$, где R есть радиус шара, и интеграл от (131') даёт:

$$\begin{aligned} \Omega_{zp} &= \int d\Omega_{zp} = -\frac{\Gamma \omega \rho_c}{c_g^2} \int \frac{r^4 (1 - Ar) \sin^3 \theta dr d\theta d\varphi}{[r^2 \sin^2 \theta + (a - r \cos \theta)^2]^{1,5}} = \\ &= -\frac{8\pi \Gamma \omega \rho_c}{3R^3 c_g^2} \int r^4 (1 - Ar) dr = -\frac{8\pi \Gamma \omega \rho_c R^2}{15c_g^2} \left(1 - \frac{5AR}{6}\right). \end{aligned}$$

В центре шара $b = r \cos \theta$, $\ell^2 + b^2 = r^2$, и из (131') находим:

$$\Omega_{z0} = \int d\Omega_{z0} = -\frac{\Gamma \omega \rho_c}{c_g^2} \int r (1 - Ar) \sin^3 \theta dr d\theta d\varphi = -\frac{4\pi \Gamma \omega \rho_c R^2}{3c_g^2} \left(1 - \frac{2AR}{3}\right).$$

Если сравнить значения поля кручения на полюсе Ω_{zp} и в центре шара Ω_{z0} с тем, что даёт формула (130'), можно определить постоянную:

$$\beta = \frac{2\pi \Gamma \omega \rho_c R^2}{3c_g^2} \left(1 - \frac{2AR}{3}\right). \text{ В (130') с учётом значения } \beta \text{ видно, что если}$$

двигаться в экваториальной плоскости, то при $r = \sqrt{\frac{5}{6}} R$ и при $A = 0$, то есть в

случае однородной плотности, Ω_z становится равной нулю. В этом месте происходит смена знака поля кручения, что обеспечивает противоположность поля на полюсе и на экваторе, и уменьшение величины поля на экваторе в два раза.

Компоненты гравитационного ускорения внутри шара мы уже находили в (121'). Подставляя компоненты полей в формулу для плотности потока энергии $\mathbf{S}_g = -\frac{c_g^2}{4\pi\Gamma}[\mathbf{G} \times \mathbf{\Omega}]$ из (110'), определяем S_g :

$$S_g = \frac{4\pi\Gamma\omega\rho_c^2 r \sin\theta}{3} \left(1 - \frac{3Ar}{4}\right) \left[\frac{5Ar^3}{18} - \frac{2r^2}{5} + \frac{R^2}{3} \left(1 - \frac{2AR}{3}\right) \right]. \quad (132')$$

При $A=0$ и при $r = \sqrt{\frac{5}{6}}R$ плотность потока гравитационного поля также меняет свой знак. В центральной части протона плотность потока поля совпадает по направлению с направлением вращения вещества. Чтобы найти полный поток гравитационного поля как энергию, проходящую в единицу времени через половинное сечение шара, необходимо проинтегрировать S_g по площади этого сечения. Элемент площади сечения равен произведению $r dr d\theta$, где r меняется от 0 до R , а угол θ от 0 до π . Поток энергии поля будет равен:

$$\int S_g r dr d\theta = \frac{8\pi\Gamma\omega\rho_c^2 R^5}{9} \left(\frac{7}{75} - \frac{29AR}{240} + \frac{A^2 R^2}{28} \right). \quad (133')$$

Для электромагнитного поля можно точно так же подсчитать поток энергии внутри протона. Он оказывается незначительным по сравнению с (133'), и меньше приблизительно в 1840 раз (это отношение массы протона к массе электрона). Нетрудно вычислить поток энергии гравитационного поля за пределами протона. Момент импульса элемента вещества с массой dm в сферических координатах равен $dL = \omega r^2 \sin^2 \theta dm$, а полный момент импульса протона составит:

$$L = \int dL = \omega\rho_c \int r^4 (1 - Ar) \sin^3 \theta dr d\theta d\varphi = \frac{8\pi\omega\rho_c R^5}{15} \left(1 - \frac{5AR}{6}\right).$$

Зная момент импульса L , можно с помощью формулы (16') найти компоненты поля кручения за пределами протона, при этом вектор момента импульса считают обычно направленным вдоль оси OZ декартовой системы отсчёта. Используя далее (122') для компонент вектора гравитационного ускорения, можно определить плотность потока энергии поля:

$$\mathbf{S}_{go} = -\frac{c_g^2}{4\pi\Gamma} [\mathbf{G}_o \times \mathbf{Q}_o] = \frac{\Gamma M_p}{8\pi r^6} [\mathbf{r} \times \mathbf{L}], \quad S_{go} = \frac{\Gamma M_p L \sin \theta}{8\pi r^5}.$$

Величину S_{go} необходимо проинтегрировать по площади сечения за пределами протона, причём r меняется от R до бесконечности, а угол θ от 0 до π . С учётом значения L и массы из (119') находим:

$$\int S_{go} r dr d\theta = \frac{2\Gamma M_p \omega \rho_c R^2}{45} \left(1 - \frac{5AR}{6}\right) = \frac{8\pi\Gamma \omega \rho_c^2 R^5}{135} \left(1 - \frac{5AR}{6}\right) \left(1 - \frac{3AR}{4}\right). \quad (134')$$

Вектор плотности потока кинетической энергии вещества при вращении протона имеет вид, как в (15'):

$$\mathbf{S}_k = \frac{\rho_0 V^2 \mathbf{V}}{2}.$$

Интеграл по площади сечения внутри протона от этого вектора равен:

$$\int S_k r dr d\theta = \frac{\rho_c \omega^3}{2} \int r^4 (1 - Ar) dr \sin^3 \theta d\theta = \frac{2\omega^3 \rho_c R^5}{15} \left(1 - \frac{5AR}{6}\right). \quad (135')$$

С учётом разных знаков у потоков энергии поля (133') и (134'), мы приравниваем их разность к потоку энергии вещества (135'). Это позволяет вычислить угловую скорость вращения протона, при котором достигается такое равенство:

$$\frac{4\pi\Gamma\rho_c}{3} \left(\frac{7}{75} - \frac{29AR}{240} + \frac{A^2 R^2}{28} \right) - \frac{4\pi\Gamma\rho_c}{45} \left(1 - \frac{5AR}{6}\right) \left(1 - \frac{3AR}{4}\right) = \frac{\omega^2}{5} \left(1 - \frac{5AR}{6}\right).$$

Подставляя сюда значение $AR = 0,48$, центральную плотность вещества $\rho_c = 9,4 \cdot 10^{17}$ кг/м³, найденную нами для протона в комментарии 14, и постоянную сильной гравитации $\Gamma = 1,514 \cdot 10^{29}$ м³·кг⁻¹·с⁻², определяем угловую скорость: $\omega = 2,98 \cdot 10^{23}$ Гц. Эта скорость оказывается почти в два раза меньше, чем максимальная угловая скорость вращения протона $\omega_L = 6,17 \cdot 10^{23}$ Гц,

определяемая по формуле равенства сил на экваторе протона $\frac{\Gamma M_p}{R^2} = \omega_L^2 R$ при радиусе протона $R = 8,73 \cdot 10^{-16}$ м. Таким образом, протон имеет возможность осуществлять стационарное вращение, когда в нём происходит выравнивание потоков энергии поля и кинетической энергии вещества.

Для электронов в атоме вращение в подобном режиме приводит к квантованию уровней энергии и момента импульса. Поскольку на уровне звёзд аналогом нуклонов являются нейтронные звёзды, то и для них должно осуществляться стационарное вращение. Согласно подобию уровней материи в [1] и [3], коэффициент подобия по времени между уровнями атомов и звёзд равен $\Pi = 6,1 \cdot 10^{19}$. Тогда оценка стационарной звёздной угловой скорости с соответствию с её размерностью будет такова: $\omega_s = \frac{\omega}{\Pi} = 4,9 \cdot 10^3$ Гц. Для сравнения, наиболее быстро вращающийся известный пульсар PSR J1748-2446ad имеет угловую скорость, равную $4,5 \cdot 10^3$ Гц. У пульсаров магнитный момент несколько отклоняется по направлению от оси вращения, что приводит к электромагнитному излучению и торможению вращения. Но если бы ось вращения звёзд совпадала с направлением магнитного момента, можно было бы ожидать некоторого избытка звёзд вблизи угловой скорости стационарного вращения ω_s .

Дата публикации комментария №15: 30.11.2010.

16. Уточнение коэффициентов подобия между нуклонами и нейтронными звёздами

С учётом новых данных о массах и размерах нейтронных звёзд, и исходя из результатов в комментарии 14, мы уточняем коэффициенты подобия между нуклонами и нейтронными звёздами, и приводим их в Таблице 2. Данные о средней массе нейтронной звезды ($1,35M_c$) взяты из результатов исследования двойных систем [64]. Однако существуют нейтронные звёзды с увеличенной массой. Например, у рентгеновских барстеров масса может быть больше за счёт перетекания вещества. Для них согласно [65] массы изменяются от 1,6 до 1,9 солнечных масс, а радиусы становятся меньше, находясь в интервале от 8 до 10 километров. В связи с этим в [66] предполагается разбиение нейтронных звёзд на два класса, обычные и ультракомпактные. В [67] полагают, что равенство радиуса звезды и её фотосферы для барстеров, используемое в [65], даёт заниженные радиусы звёзд. Согласно [67], с учётом известных точных расстояний до некоторых нейтронных звёзд наиболее вероятные радиусы звёзд лежат в пределах 11–12 км при массе звезды $1,4M_c$.

Для радиуса нейтронной звезды с массой $1,35M_c$ в Таблице 2 приведено значение 12 км, вытекающее из уравнения состояния вещества, учитывающего только нуклоны без резонансов и экзотических частиц, и согласующееся с лабораторными экспериментами. Модель состояния вещества в данном диапазоне масс и радиусов достаточно близка к уравнению (называемым APR2) из [68].

Таблица 2.

Таблица 2. Параметры и коэффициенты подобия для нейтронных звёзд и нуклонов

Масса, кг	Радиус, м	Характерная скорость, м/с	Средняя плотность вещества, кг/м ³
Нейтронная звезда			
$M_s = 2,7 \cdot 10^{30}$	$R_s = 1,2 \cdot 10^4$	$C_s = 6,8 \cdot 10^7$	$\rho_s = 3,7 \cdot 10^{17}$
Протон			
$M_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$	$R_p = 8,7 \cdot 10^{-16}$	$c = 2,99 \cdot 10^8$	$\rho_p = 6,1 \cdot 10^{17}$
Коэффициенты подобия			
$\Phi = 1,62 \cdot 10^{57}$	$P = 1,4 \cdot 10^{19}$	$S = 0,23$	0,61

На основе данных из Таблицы 2 можно найти коэффициент подобия по времени $\Pi = \frac{P}{S} = 6,1 \cdot 10^{19}$. Для звёздной постоянной Дирака, характеризующей нейтронные звёзды, получается соотношение: $\hbar_s = \hbar \Phi P S = 5,5 \cdot 10^{41}$ Дж·с, где \hbar – постоянная Дирака. Электрический заряд и магнитный момент магнитара как аналога протона равны: $Q_s = e \Phi^{0,5} P^{0,5} S = 5,5 \cdot 10^{18}$ Кл, $P_{ms} = P_{mp} \Phi^{0,5} P^{1,5} S^2 = 1,6 \cdot 10^{30}$ Дж/Тл, где e – элементарный электрический заряд, P_{mp} – магнитный момент протона.

Объектом – аналогом электрона на уровне звёзд считаются диски, открытые возле магнитаров. В качестве их стандартной массы принимается масса $M_d = M_e \Phi = 1,5 \cdot 10^{27}$ кг (где M_e – масса электрона), или 250 масс Земли, или 0,78 массы Юпитера. Звёздный радиус Бора имеет величину $R_F = P R_B = 7,4 \cdot 10^8$ м, где R_B – радиус Бора.

Уточним ещё для нуклонов и нейтронных звёзд коэффициент δ , с помощью которого определяется потенциальная энергия в поле гравитации. Половину данной энергии можно в первом приближении приравнять к энергии связи

объекта. В частности для протона с учётом его параметров из Таблицы 2 вместо (123') запишем:

$$M_p c^2 = \frac{\delta \Gamma M_p^2}{2R_p}, \quad \delta = 0,62, \quad (136')$$

причём согласно теории для случая однородной плотности $\delta = 0,6$. Из (136') следует некоторое увеличение плотности в центре протона, так что согласно (119') отношение центральной плотности вещества к средней плотности протона равно 1,57.

Дата публикации комментария №16: 30.11.2010.

17. О концепции силы

В соотношении (580) в § 16 мы приводили кинематическое определение силы, действующей на материальную точку массы m , в следующем виде:

$$\mathbf{F} = \frac{m}{(1 - V^2/c^2)^{1,5}} \left[\mathbf{g} + \frac{\mathbf{V} \times [\mathbf{V} \times \mathbf{g}]}{c^2} \right], \quad (137')$$

где \mathbf{V} – 3-вектор скорости движения точки,

$\mathbf{g} = \frac{d\mathbf{V}}{dt}$ – 3-вектор ускорения материальной точки под действием силы.

Выражение (137') справедливо лишь в инерциальных системах отсчёта, движущихся с постоянной скоростью (хотя материальная точка и меняет свою скорость в этих системах отсчёта под действием ускорения от силы). Второй член в (137') является следствием специальной теории относительности и принятой в ней процедуры пространственно-временных измерений времени и размеров. Зная массу и кинематические характеристики движения, то есть скорость и ускорение, можно вычислить действующую силу.

Как и в общем выражении для силы (137'), электромагнитная сила, действующая со стороны внешнего поля, также двухкомпонентная:

$$\mathbf{F}_e = q\mathbf{E} + q[\mathbf{V} \times \mathbf{B}], \quad (138')$$

где q – заряд материальной точки,

\mathbf{E} – напряжённость внешнего электрического поля в месте расположения материальной точки,

\mathbf{B} – индукция внешнего магнитного поля.

Приравнивая (137') и (138') с учётом $\mathbf{g} = \frac{d\mathbf{V}}{dt}$, и решая получающееся дифференциальное уравнение, можно определить зависимость скорости движения заряженной точки от времени под действием приложенного электромагнитного поля.

С другой стороны, можно считать, что электромагнитная сила типа (138') появляется как результат движения нашей заряженной материальной точки по некоторому заданному закону. При этом возникают напряжённости полей \mathbf{E}' и \mathbf{B}' , действующие на внешний заряд q' . Из равенства сил (137') и (138') находим:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}'_e, \quad \frac{m\mathbf{g}}{(1-V^2/c^2)^{1,5}} = q'\mathbf{E}', \quad \frac{m\mathbf{V} \times [\mathbf{V} \times \mathbf{g}]}{c^2(1-V^2/c^2)^{1,5}} = q'[\mathbf{V} \times \mathbf{B}'],$$

откуда следует следующее:

$$\mathbf{B}' = \frac{[\mathbf{V} \times \mathbf{E}']}{c^2}. \quad (139')$$

Данное выражение есть известное соотношение между напряжённостью электрического поля \mathbf{E}' , которое генерируется в пространстве движущимся с постоянной скоростью \mathbf{V} зарядом, и индукцией возникающего магнитного поля \mathbf{B}' . При выводе данного соотношения мы посредством силы (137') фактически приравнивали друг к другу с точностью до знака две силы Лоренца, одна из которых (138') действует на заряд q , а другая подобная сила – на заряд q' .

В инерциальных системах отсчёта гравитационная сила, действующая на массу m , находящуюся во внешнем поле, согласно лоренц-инвариантной теории гравитации равна:

$$\mathbf{F}_g = m\mathbf{G} + m[\mathbf{V} \times \mathbf{\Omega}], \quad (140')$$

где \mathbf{G} есть гравитационное ускорение, $\mathbf{\Omega}$ – поле гравитационного кручения.

Сила (140') также двухкомпонентная. Повторяя приведённые выше рассуждения, подобно (139') находим связь между компонентами гравитационного поля, возникающими от движения точечной массы с постоянной скоростью (в предположении, что скорость гравитации равна скорости света):

$$\boldsymbol{\Omega}' = \frac{[\mathbf{V} \times \mathbf{G}']}{c^2}.$$

Перейдём теперь к 4-векторам. Для 4-скорости и 4-ускорения материальной точки в специальной теории относительности в § 16 приводились их выражения, расписанные по компонентам:

$$u^i = \frac{dx^i}{dt_0} = \left(\frac{c}{\sqrt{1-V^2/c^2}}, \frac{\mathbf{V}}{\sqrt{1-V^2/c^2}} \right),$$

$$G^i = \frac{du^i}{dt_0} = \left(\frac{d\left(\frac{c}{\sqrt{1-V^2/c^2}}\right)}{dt\sqrt{1-V^2/c^2}}, \frac{d\left(\frac{\mathbf{V}}{\sqrt{1-V^2/c^2}}\right)}{dt\sqrt{1-V^2/c^2}} \right) =$$

$$= \left(\frac{\mathbf{V} \cdot \mathbf{g}}{c(1-V^2/c^2)^2}, \frac{c^2 \mathbf{g}(1-V^2/c^2) + \mathbf{V}(\mathbf{V} \cdot \mathbf{g})}{c^2(1-V^2/c^2)^2} \right).$$

В данных выражениях $dt_0 = dt\sqrt{1-V^2/c^2}$ есть собственное время материальной точки. Скалярное произведение 4-векторов скорости и ускорения можно найти непосредственным умножением соответствующих компонент с учётом знака. Данное произведение равно нулю: $u_i G^i = 0$. Это означает, что в четырёхмерном пространстве-времени Минковского 4-скорость и 4-ускорение перпендикулярны друг другу. Если в инерциальных системах отсчёта у материальной точки имеется ускорение, то это ускорение изменяет скорость точки. Так как изменение 4-скорости от 4-ускорения перпендикулярно самой 4-скорости, а длина 4-вектора скорости есть константа, то в пространстве Минковского движение точки описывается вращением её 4-вектора скорости. Аналогией здесь является вращение радиус-вектора постоянной длины, задающее дугу окружности.

Для преобразования 3-ускорения из одной инерциальной системы отсчёта K в другую систему K' служит формула (583):

$$\mathbf{g}' = \frac{d\mathbf{V}'}{dt'} = \frac{\mathbf{g}\beta\left(1 - \frac{\mathbf{V}_0 \cdot \mathbf{V}}{c^2}\right) + \mathbf{V} \cdot \frac{\beta\mathbf{V}_0 \cdot \mathbf{g}}{c^2} - \mathbf{V}_0 \cdot \frac{(\beta-1)(\mathbf{V}_0 \cdot \mathbf{g})}{V_0^2}}{\beta^3 \left(1 - \frac{\mathbf{V}_0 \cdot \mathbf{V}}{c^2}\right)^3},$$

так что ускорение \mathbf{g}' в K' определяется скоростью и ускорением материальной точки в K , скоростью \mathbf{V}_0 движения K' относительно K , и

величиной $\beta = \frac{1}{\sqrt{1 - V_0^2/c^2}}$. Отсюда следует, что в специальной теории

относительности ускорения тел не абсолютны, а зависят от выбора инерциальной системы отсчёта.

В недавней работе [69] указывается на то, что каждая фундаментальная сила в пространстве Минковского представляется как четырёхмерное вихревое поле, имеющее возможность приводить во вращение 4-скорость материальной точки. Автор [69] (Ali Reza Hadjesfandiari) идёт дальше и определяет особенную систему отсчёта, которая связана с материальной точкой так, что четырёхмерное вращение этой системы отсчёта относительно лабораторной инерциальной системы отсчёта задаёт вращение 4-вектора скорости материальной точки под действием силы. Данное вращение описывается антисимметричным 4-тензором углового вращения. Пространство-время особенной системы отсчёта каждого тела по мнению Hadjesfandiari погружено в эфир, в котором осуществляется движение тела, и вращается также относительно эфира. Четырёхмерное вращение особенной системы отсчёта какого-либо тела генерирует в эфире полевые 4-вихри и 4-натяжения поля (электромагнитного и гравитационного), воздействующие на другие тела и заставляющие вращаться их особенные системы отсчёта. Такова геометрическая интерпретация полевого силового взаимодействия в четырёхмерном пространстве-времени, которая предлагается в качестве основы для объединения всех видов взаимодействий, включая сильное и слабое. При этом Hadjesfandiari замечает, что 4-сила пропорциональна и перпендикулярна 4-скорости материальной точки, что напоминает выражение для подъёмной силы движущегося крыла, также перпендикулярной скорости движения крыла.

Указанная трактовка взаимодействия может быть поддержана с учётом того, что мы получили выражение (139') из равенства по модулю сил Лоренца, действующих на две заряженные частицы, двигающиеся друг относительно друга. Последнее можно трактовать как реализацию третьего закона Ньютона о равенстве с точностью до знака электромагнитной силы действия и электромагнитной силы противодействия. Заряженные частицы генерируют поля и передают их в эфире друг к другу, приводя к четырёхмерному вращению своих особенных систем отсчёта. Это же справедливо и для гравитационного поля. Физической моделью для распространения взаимодействия может служить

модернизированная нами теория Ле Сажа для гравитации в § 7 и модель для кулоновской силы в § 19.

Отметим, что масса является интегральной характеристикой тела, более точный подход требует учёта плотности вещества в каждой точке тела. Перейдём теперь от инерциальных систем отсчёта к произвольно ускоренным системам отсчёта и запишем выражение для плотности 4-силы согласно (805) из § 17:

$$f^i = \frac{DJ^i}{D\tau} = u^k \nabla_k J^i = u^k (\partial_k J^i + \Gamma_{ks}^i J^s) = \frac{dJ^i}{d\tau} + \Gamma_{ks}^i u^k J^s. \quad (141')$$

Данная формула появилась как результат аксиоматизации нами теории вещества и фундаментальных полей, и используется в уравнении движения в ковариантной теории гравитации (КТГ). В (141') через J^i обозначен 4-вектор плотности массового тока (плотности импульса)

$$J^i = \rho_0 u^i = \left(\frac{c\rho_0}{\sqrt{1-V^2/c^2}}, \frac{V\rho_0}{\sqrt{1-V^2/c^2}} \right) = (c\rho, \mathbf{J}),$$

ρ_0 есть плотность вещества в сопутствующей системе отсчёта, τ обозначает собственное время, а через Γ_{ks}^i обозначены коэффициенты (символы) Кристоффеля в рассматриваемой метрике пространства-времени. С математической точки зрения (141') представляет собой производную Лагранжа (полную производную по собственному времени), применённую к 4-вектору плотности импульса J^i в искривлённом римановом пространстве.

Поскольку в (141') присутствуют два члена, один из которых зависит от метрики, уже нельзя утверждать, что плотность 4-силы всегда будет перпендикулярна 4-скорости. Искривление метрики как правило сопровождается уменьшением скорости света. Таким образом, в искривлённом псевдоримановом четырёхмерном пространстве-времени особенные системы отсчёта материальных точек должны вращаться по кривым с изменяющимся по величине 4-вектором скорости, зависящим от локальной скорости света и координат.

Дата публикации комментария №17: 28.01.2011.

18. Мезоатомы и холодный термоядерный синтез

Рассмотрим мезоатом, состоящий из положительно заряженного ядра и связанного с ним отрицательного мюона. В стандартной теории принимается, что между атомным ядром и мюоном действуют только электромагнитные силы. Это приводит к формуле для энергии мюона на круговой орбите, по виду

напоминающую формулу для энергии электрона в обычном водородоподобном атоме:

$$W_n = -\frac{M_\mu Z^2 e^4}{32 \pi^2 \epsilon_0^2 n^2 \hbar^2}, \quad (142')$$

где M_μ – масса мюона,

Z – заряд ядра,

e – элементарный заряд,

ϵ_0 – электрическая постоянная,

n – главное квантовое число, от которого зависит уровень энергии,

\hbar – постоянная Дирака.

В (142') не учитывается, что при образовании мезоатома или при переходе мюона с одного уровня энергии на другой центр инерции системы ядро-мюон не совпадает с центром ядра. Это означает, что в общем случае как ядро, так и мюон вращаются вокруг общего центра инерции системы, что приводит к изменению энергии мюона и к появлению энергии движения у ядра. В связи с этим при анализе энергий фотонов, излучаемых в мезоатоме, в знаменатель (142') добавляют поправку вида $(1 + M_\mu/M_N)$, где M_N – масса ядра, состоящего из N нуклонов.

Введём теперь в рассмотрение, так же как и в § 14 для электрона, идею сильной гравитации, призванную обеспечивать целостность элементарных частиц. Под действием сильной гравитации вблизи ядра вещество электронов и мюонов уже не может существовать в виде компактных объектов и растекается, приобретая вид дисковидного облака. Сумма всех основных ускорений, действующих на элемент вещества отрицательно заряженного мюонного облака, вращающегося вокруг ядра, должна равняться центростремительному ускорению:

$$\frac{\Gamma M_N}{r_n^2} + \frac{\zeta \Gamma M_\mu}{r_n^2} + \frac{Z e^2}{4 \pi \epsilon_0 M_\mu r_n^2} - \frac{\zeta e^2}{4 \pi \epsilon_0 M_\mu r_n^2} = \frac{V_n^2}{r_n}, \quad (143')$$

где Γ – постоянная сильной гравитации согласно [1],

r_n и V_n – средний радиус орбиты и скорость движения вещества мюонного облака, находящегося на уровне энергии с номером n ,

ζ – коэффициент меньше единицы.

С точностью до знака в (143') первый член есть ускорение сильной гравитации со стороны ядра, второй аналогичный член связан с гравитационным ускорением от собственной массы мюона, третий член показывает ускорение от кулоновской электрической силы между зарядами ядра и мюона, а четвёртый член задаёт ускорение расталкивания вещества мюонного облака за счёт собственного электрического заряда. Умножая (143') на $M_\mu r_n$, получаем равенство между потенциальной энергией, взятой с отрицательным знаком, и удвоенной кинетической энергии движения мюона (соотношение вириала):

$$-E_p = \frac{\Gamma M_N M_\mu}{r_n} + \frac{\zeta \Gamma M_\mu^2}{r_n} + \frac{Z e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} - \frac{\zeta e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} = M_\mu V_n^2 = 2E_k. \quad (144')$$

Поскольку полная энергия мюона в атоме определяется алгебраической суммой его потенциальной и кинетической энергий, из предыдущего равенства имеем:

$$W_n = E_k + E_p = -E_k = \frac{E_p}{2}. \quad (145')$$

Приравнивая энергии W_n из (142') и (145') с учётом (144') и определения постоянной сильной гравитации $\Gamma = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 M_p M_e}$, где M_p и M_e обозначают массы протона и электрона, находим средние радиусы орбит, скорости вещества мюона и его моменты импульса на разных уровнях энергии:

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 n^2 \hbar^2}{M_\mu Z^2 e^2} \left(\frac{M_N M_\mu}{M_p M_e} + \frac{\zeta M_\mu^2}{M_p M_e} + Z - \zeta \right), \quad V_n = \frac{Z e^2}{4\pi\epsilon_0 n \hbar}, \quad (146')$$

$$L_n = M_\mu V_n r_n = \frac{n \hbar}{Z} \left(\frac{M_N M_\mu}{M_p M_e} + \frac{\zeta M_\mu^2}{M_p M_e} + Z - \zeta \right).$$

Соотношения (146') для мюона имеют тот же смысл, что и соотношения (382) в § 14 для электрона, причём значения скоростей движения V_n одинаковы по величине, так как не зависят от массы частиц. В нашей модели радиусы орбит электрона и мюона в водородоподобном атоме не совпадают, но отличаются друг от друга не значительно.

Последний вывод существенно расходится с предсказаниями стандартной теории, в которой радиус орбиты мюона зависит от массы мюона и равен $r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 n^2 \hbar^2}{M_\mu Z e^2}$. Это означает, что мюон ввиду его большой массы должен быть

приблизительно в 207 раз ближе к ядру, чем электрон в таком же атоме. Как нам кажется, определение реального местоположения мюона в мезоатоме дало бы возможность проверить теорию и выбрать правильный вариант описания экспериментов.

Из (146') видно, что мюон по сравнению с электроном на той же орбите обладает моментом импульса, более чем в $\frac{M_\mu}{M_e}$ раз превышающим момент

импульса электрона. Как было указано в § 14, при излучении фотона вследствие перехода электрона на нижний уровень энергии, фотон должен унести с собой всё изменение импульса электрона в атоме. Это будет справедливо и для мюонного облака, для которого согласно (142') энергия излучаемого фотона при переходе с уровня энергии $n+1$ на уровень n (при условии $n \geq 1$) будет равна:

$$E_f = W_{n+1} - W_n = \frac{M_\mu Z^2 e^4 (2n+1)}{32\pi^2 \epsilon_0^2 n^2 (n+1)^2 \hbar^2}.$$

При больших n можно записать: $E_f \approx \frac{M_\mu Z^2 e^4}{16\pi^2 \epsilon_0^2 n^3 \hbar^2}$. Обозначим величину

момента импульса мюона из (146') при $n=1$ следующим образом:

$$L = \frac{\hbar}{Z} \left(\frac{M_N M_\mu}{M_p M_e} + \frac{\zeta M_\mu^2}{M_p M_e} + Z - \zeta \right).$$

Оценим далее угловую скорость вращения мюонного облака на уровне энергии n :

$$\omega_n = \frac{2\pi}{T_n} = \frac{2\pi V_n}{2\pi r_n} = \frac{M_\mu Z^3 e^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 n^3 \hbar^3} \left(\frac{M_N M_\mu}{M_p M_e} + \frac{\zeta M_\mu^2}{M_p M_e} + Z - \zeta \right)^{-1}.$$

С учётом этого энергия вышеуказанного фотона может быть представлена так:

$$E_f \approx \frac{M_\mu Z^2 e^4}{16\pi^2 \epsilon_0^2 n^3 \hbar^2} \approx L \omega_n.$$

Данное равенство означает, что фотону от мюона передаётся момент импульса L , а средняя частота колебаний в фотоне близка к частоте вращения вещества мюона ω_n на нижнем уровне энергии n .

Заметим, что соотношения (143') – (146') не запрещают положительно заряженному мюону так же образовать мезоатом с атомным ядром. Это возможно потому, что действие сильной гравитации между ядром и мюоном существенно превышает действие электрических сил.

Уточним теперь наше понимание того, почему мюон в атоме может быть в виде дисковидного облака. В комментарии 6 мы упоминали о том, что на уровне звёзд мюону соответствует белый карлик с массой $0,16M_c$, где M_c – масса Солнца. Радиус такого белого карлика должен быть около $R_{wd} = 1,5 \cdot 10^7$ м, а центральная плотность вещества достигает $\rho_{wd} = 10^8$ кг/м³ [1]. Вычислим по стандартной формуле [70] радиус Роша, при котором белый карлик будет разрушаться в гравитационном поле нейтронной звезды:

$$R_{Rwd} = 2,46R_s \left(\frac{\rho_s}{\rho_{wd}} \right)^{1/3} = 4,5 \cdot 10^7 \text{ м,}$$

здесь $\rho_s = 3,7 \cdot 10^{17}$ кг/м³ – средняя плотность нейтронной звезды при её радиусе $R_s = 12$ км.

Для сравнения, радиус Роша для планеты с массой $1,5 \cdot 10^{27}$ кг, являющейся аналогом электрона, в гравитационном поле нейтронной звезды равен $R_{Rp} = 1,1 \cdot 10^9$ м. Если умножить радиус Бора в атоме водорода на коэффициент подобия по размерам $P = 1,4 \cdot 10^{19}$ (смотри Таблицу 2 в комментарии 16), то получится радиус $R_F = 7,4 \cdot 10^8$ м. Из того, что $R_F < R_{Rp}$, с помощью теории подобия можно заключить, что на радиусе Бора электрон в атоме водорода должен существовать в виде облака. Поскольку $R_{Rwd} < R_F < R_{Rp}$, то мюон будет разрушаться в водородном атоме при радиусах, меньших радиуса Бора.

Известно, что мюон может быть захвачен ядром при уменьшении кинетической энергии движения мюона до величины в несколько кэВ. Если при этом мюон заходит внутрь радиуса Бора и достигает радиуса $\frac{R_{Rwd}}{P} = 3 \cdot 10^{-12}$ м,

двигаясь по эллиптической орбите, то за несколько оборотов он может превратиться в облако наподобие электронного облака, но с большей плотностью вещества. Чем массивней атомное ядро, тем вероятнее распад мюона на более

удалённом расстоянии от ядра. При последовательном взаимодействии мюона с несколькими атомами мюон может разрушаться частями. Наконец следует ещё учесть, что согласно оценкам в комментарии 6, радиус мюона как целостной частицы достаточно большой и достигает величины $1,1 \cdot 10^{-12}$ м. После превращения вещества мюона в облако мюон подобно электрону имеет возможность приобретать энергию в поле ядра под действием внешних возмущений, находиться на разных квазистационарных орбитах и излучать (поглощать) фотоны при переходах из одного состояния в другое.

Если мюон в мезоатоме имеет вид некоторого облака, то для оценки его стационарного состояния можно применить тот же принцип, что и для электронного облака в обычном атоме. Согласно этому принципу, средняя плотность потока кинетической энергии вещества облака должна равняться сумме плотностей потоков электромагнитной энергии и энергии сильной гравитации. Мы ссылались на это в (117') в комментарии 13:

$$\mathbf{S}_k = \mathbf{S}_p + \mathbf{S}_g, \quad (147')$$

где $\mathbf{S}_k = \frac{\rho_0 V^2 \mathbf{V}}{2}$ согласно (15'),

$\mathbf{S}_p = \varepsilon_0 c^2 [\mathbf{E} \times \mathbf{B}]$ есть электромагнитный вектор Пойнтинга,

$\mathbf{S}_g = -\frac{c_g^2}{4\pi\Gamma} [\mathbf{G} \times \mathbf{\Omega}]$ из (110') есть вектор потока гравитационной энергии, и

скорость распространения гравитации c_g считается равной скорости света.

Сделаем численные оценки в (147') для электронного облака в атоме водорода. Будем считать, что облако имеет форму диска с внутренним краем диска на расстоянии $\frac{R_B}{2}$ от ядра, и внешним краем на расстоянии $\frac{3R_B}{2}$ от ядра (смотри комментарий 11). Средний радиус диска равен радиусу Бора $R_B = 0,529 \cdot 10^{-10}$ м. На этом радиусе вещество электрона вращается со скоростью $V = 2,19 \cdot 10^6$ м/с. В предположении, что толщина электронного диска равна $0,1R_B$, при известной массе электрона $M_e = 0,91 \cdot 10^{-30}$ кг находим среднюю плотность его вещества $\rho_0 = 9,8$ кг/м³. С этими данными средняя плотность потока кинетической энергии равна $S_k = \frac{\rho_0 V^3}{2} = 5 \cdot 10^{19}$ кг/с³.

Индукция магнитного поля в электронном диске согласно (91') не менее величины $B = 12,5$ Тл, а напряжённость электрического поля на радиусе Бора

равна $E = \frac{e}{4\pi\epsilon_0 R_B^2} = 5,1 \cdot 10^{11}$ В/м. Отсюда плотность потока электромагнитной энергии будет $S_p = \epsilon_0 c^2 E B > 5 \cdot 10^{18}$ кг/с³.

Оценку поля кручения в электронном диске можно получить из формулы (92'): $\Omega \approx \frac{\Gamma \hbar}{c^2 R_B^3}$. Гравитационное ускорение на радиусе Бора определяется

выражением $G = \frac{\Gamma M_p}{R_B^2}$. Для плотности потока гравитационной энергии

находим: $S_g = \frac{c^2 G \Omega}{4\pi \Gamma} \approx \frac{\Gamma M_p \hbar}{4\pi R_B^5} > 5 \cdot 10^{18}$ кг/с³. Более точные расчёты должны

учитывать дифференциальное вращение электронного облака, при котором скорость вращения вещества по мере приближения к ядру увеличивается (это прямо противоположно гипотетическому случаю твердотельного вращения облака). Точнее должны быть определены поля в плоскости диска, а также размеры и форма самого диска. В этом случае можно было бы проинтегрировать потоки энергии по всему объёму диска и сравнить их между собой. Тем не менее, полученные оценки плотностей потоков энергии в первом приближении удовлетворительно согласуются с (147').

Из (146') видно, что в атоме при прочих одинаковых условиях вещество мюона и электрона двигается с одной и той же скоростью, а размеры дисков различаются незначительно. Однако мюонный диск имеет увеличенную плотность вещества и увеличенный момент импульса по сравнению с электронным диском. В результате в левой части равенства (147') вырастает плотность потока кинетической энергии, а в правой части – плотность потока энергии сильной гравитации S_g , при почти неизменной плотности потока электромагнитной энергии S_p .

Рассмотрим ещё вопрос о стабильности дисков в сильном электрическом поле ядра. Удобно перейти к звёздной модели, когда рядом с магнитаром находится дискон как аналог электронного диска, образуя вместе с магнитаром звёздную водородную систему. Напряжённость электрического поля от магнитара с зарядом $Q_s = 5,5 \cdot 10^{18}$ Кл на среднем радиусе диска может

достичь величины $E = \frac{Q_s}{4\pi\epsilon_0 R_F^2} = 9 \cdot 10^{10}$ В/м, а сила на один электрон –

значения $F = \frac{e Q_s}{4\pi\epsilon_0 R_F^2} = 1,4 \cdot 10^{-8}$ Н. Сравнимые по величине силы действуют на

электрон и в атомах вещества диска. Например, суммарная удерживающая сила

на электрон в водородном атоме близка к значению $F_B = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R_B^2} = 8,2 \cdot 10^{-8}$ Н.

В близких к магнитару частях диска напряжённости полей выравниваются и кажется, что магнитар своим электрическим полем мог бы вырвать электроны с поверхности диска. Но в веществе дисков присутствует много элементов железного ряда (железо, никель, хром, ванадий), появляющихся либо с поверхностей нейтронных звёзд при выбросе вещества, либо из остатков планет, в процессах образования дисков. Наличие металлов в диске приводит к экранировке электрического поля от магнитара, слабо проникающего внутрь диска. Таким образом, электрический заряд диска может сохраняться даже в сильном электрическом поле магнитара.

Часть того, что было описано выше для мюонов, с учётом близости масс пиона и мюона, может быть справедливо и для пионных облаков. Такие облака также могут вести себя подобно электронным облакам и давать соответствующие массам пионов электромагнитные спектры излучения и поглощения. Считается однако, что пион практически не достигает основного уровня с минимальной энергией, поскольку в результате ряда переходов с высших уровней энергии и взаимодействия с электронной оболочкой атомов падает на ядро. По всей видимости это является следствием того, что пион в отличие от мюона является объектом с гораздо более высокой плотностью вещества и имеет большую массу, так что результаты его взаимодействия с электронами атомов несколько отличаются от таковых для мюона. Радиус Роша возле магнитара для звёздного объекта – аналога пион находится вблизи поверхности магнитара. Для атомных систем это означает, что пион под действием сильной гравитации не успевает распасться на части в поле вблизи ядра и падает на ядро как целое. Вероятно, возможны случаи, когда за счёт слабого взаимодействия в своём веществе пион распадается на мюон и нейтрино непосредственно в пределах атома, и тогда образуется пионное облако, удерживаемое полем ядра.

В мезоатомах мюон может замещать электроны на различных уровнях энергии. Из определения постоянной сильной гравитации $\Gamma = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 M_p M_e}$

следует, что электрическая сила между мюоном и каким-либо электроном, превышает силу между ними от сильной гравитации при том же расстоянии:

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\Gamma M_p M_e}{r^2} > \frac{\Gamma M_\mu M_e}{r^2}.$$

Хотя мюонное облако в мезоатоме взаимодействует с электронными облаками в основном электрическими силами, но за счёт большой массы мюона его гравитационное взаимодействие с ближайшими электронами вносит

заметные поправки в энергии электронов и энергии излучаемых ими фотонов. Например, если мюон находится на нижнем уровне энергии при $n=1$, и происходит переход электрона с уровня энергии $n=2$ на уровень с $n=1$, то за счёт сильной гравитации между мюоном и электроном энергия излучаемого электроном фотона может быть больше, чем в обычном атоме.

Другой особенностью мюона является то, что вследствие своей большой массы он в составе мезоатомов не только легко образует мезомолекулы, но и является катализатором холодных ядерных реакций. Последнее сводится к тому, что атомные ядра благодаря присутствию мюона приобретают заметную вероятность соединиться друг с другом и вступать в ядерные реакции, даже не находясь в состоянии высокотемпературной плазмы. Следствием ядерных реакций как правило является выделение энергии, что используется в таких источниках энергии, как атомные тепло и электростанции.

Холодный термоядерный синтез в веществе возможен не только с помощью частиц типа мюонов и пионов. В целом ряде процессов (например, схлопывание пузырьков в жидкости, электролиз тяжелой воды) и в экспериментах наблюдают повышенное выделение энергии, образование новых химических элементов, сопровождающееся порой даже излучением нейтронов. Одним из подобных экспериментов, проведённый Флейшманом и Понсом в 1989 г., был электролиз тяжёлой воды на поверхности палладиевого электрода [71]. При этом возникал гелий и был виден выход нейтронов. Другой известный эксперимент Фокарди и Росси [72] связан с поглощением водорода под давлением в несколько десятков бар мелкими кристаллами никеля с присадками, нагретыми электрическим током. Как следствие происходит атомная реакция с присоединением протона к ядру никеля, с образованием меди и других нуклидов, и выделением значительного количества тепла в количестве порядка нескольких МэВ на ядро. С точки зрения теории нерешённым здесь является вопрос о том, за счёт каких сил протону удаётся преодолеть кулоновский барьер ядра. Очевидно, что это было бы желательным для теоретического обоснования выданного патента [73], который удостоверяет приоритет изобретения Росси.

В работе [74] (U. V. S. Seshavatharam, S. Lakshminarayana) обсуждается идея сильной гравитации и вводится значение постоянной сильной гравитации $G_s = 6,94 \cdot 10^{31} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1}$. Другие значения приводятся в [76] (J. Dufour): $G' = 2,06 \cdot 10^{25} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1}$, и в [77] (Oldershaw R.L.): $G_s = 2,18 \cdot 10^{28} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1}$. Мы в данных комментариях используем следующее значение постоянной сильной гравитации: $\Gamma = 1,514 \cdot 10^{29} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1}$. С помощью этой постоянной мы в § 10 и в комментарии 5 определили положение равновесия нуклонов в дейтерии и показали, что равновесие возможно при равенстве силы от поля сильной гравитации, и силы от поля гравитационного кручения, возникающего при вращении нуклонов вокруг собственной оси.

А что будет происходить, если протон будет присоединяться к более массивным ядрам? С одной стороны, с ростом массы ядра будет расти

потенциальная энергия протона в поле сильной гравитации. При этом происходит насыщение этой энергии, так как её рост замедляется вследствие увеличенного поглощения гравитонов в ядре. Если учесть ещё нарастающее электрическое отталкивание зарядов ядра и протона, то это приводит к почти неизменной плотности нуклонов в ядре, и к куполообразной зависимости для удельной энергии связи атомных ядер, когда максимум удельной энергии достигается у ядер железа.

Основной силой, противостоящей сильной гравитации, является взаимодействие моментов импульса нуклонов ядра в собственном поле кручения. Энергия этого взаимодействия также нарастает с увеличением массы ядра. В частности, для отталкивания за счёт поля кручения нуклонов, находящихся на одной оси, эти нуклоны должны вращаться в одну сторону. Каждый новый присоединяющийся к ядру нуклон для возникновения силы отталкивания от поля кручения ядра должен вращаться так, чтобы своим собственным полем кручения увеличить общее поле кручения ядра. В равновесии осуществляется равновесие силы притяжения к ядру от сильной гравитации, и сил отталкивания от электрических зарядов и сил от полей кручения. Полная энергия взаимодействия какого-либо нуклона с ядром зависит от местоположения нуклона в ядре, так как в разных точках может меняться среднее поле кручения.

Присоединение протона к какому-либо ядру никеля в установке Фокарди и Росси [72] сопровождается выделением энергии от 3,41 МэВ для Ni^{58} до 7,45 МэВ для Ni^{64} . По нашему мнению, эта энергия происходит от сильной гравитации, с учётом кулоновской энергии взаимодействия зарядов протона и ядра. Падающий на ядро протон может быть остановлен полем кручения ядра, и энергия сильной гравитации трансформируется в энергию поля кручения протона с ядром, и в кинетическую энергию движения нового ядра – изотопа меди. Кроме этого, за счёт эффекта гравитационной индукции происходит ещё раскрутка протона, с увеличением его собственного момента импульса (спина) и энергии вращения.

Для облегчения освобождения протонов от электронов атомы водорода, растворимые в никелевых кристаллах, подвергаются нагреву вместе с никелем, и действию разных присадок. Как указывают авторы [72], в устройстве в результате ядерных реакций возникает излучение позитронов и гамма-излучение. Поэтому для изоляции от излучения и превращения его энергии в теплоту используются оболочки из бора, свинца, воды и стали.

Дата публикации комментария №18: 13.02.2011.

19. Аксиомы метрической теории относительности и ковариантной теории гравитации против аксиом общей теории относительности

При описании метрической теории относительности (МТО) в § 16 и при построении ковариантной теории гравитации (КТГ) на базе лоренц-

инвариантной теории гравитации (ЛИТГ) в § 17 – § 20 мы использовали аксиоматический подход. Теперь мы хотим сравнить аксиомы МТО и КТГ с аксиомами общей теории относительности (ОТО). Проблемой здесь является то, что в литературе практически отсутствует представление ОТО через полный набор её аксиом. Вследствие этого мы будем вынуждены произвести вначале аксиоматизацию ОТО, разобрав её основы на отдельные положения, рассматриваемые как аксиомы.

Особенностью ОТО является то, что эта теория содержит в себе в смешанном виде как общую относительность, так и формулы для гравитационного поля. В результате название «общая теория относительности» часто подвергалось критике, поскольку такое название указывает скорее на общую относительность, чем на теорию гравитации как таковую.

Напомним, что целью любой теории относительности является использование некоторого принципа относительности и дополнительного к нему принципа абсолютности. Как правило это приводит к изменению представлений об описании движения систем отсчёта, изменению формы законов физики, а также преобразований координат и времени событий из одной системы отсчёта в другую. Например, в специальной теории относительности (СТО) по сравнению с классической физикой изменяется формула сложения скоростей, выражение для действующей силы, а преобразования Галилея заменяются на преобразования Лоренца. При этом СТО использует принцип относительности движения, а в роли принципа абсолютности выступает постоянство скорости света во всех системах отсчёта, включая независимость скорости света от скорости источников и приёмников света. В отличие от СТО, в расширенной специальной теории относительности (РСТО), аксиомы которой были описаны нами в [25], принцип абсолютности выражен не через постоянство скорости света, а через существование изотропной системы отсчёта, в которой скорость света не зависит от направления. Итогом стало выведение всех соотношений СТО в новой аксиоматике, преодоление абсолютизации релятивизма СТО и возможность существования выделенных систем отсчёта, в том числе связанных с эфиром.

На наш взгляд, в ОТО в неявной форме скрыты следующие аксиомы общей относительности:

1. Свойства пространства-времени, определяемые незаряженными и не взаимодействующими друг с другом пробными частицами и волнами, не зависят от типа используемых частиц и волн.
2. Характеристикой пространства-времени является симметричный метрический тензор g_{ik} , зависящий в общем случае от координат и времени. С помощью тензора g_{ik} вычисляются различные инварианты, связанные с 4-векторами и тензорами.
3. Квадрат интервала задаёт квадрат длины 4-вектора дифференциала координат, не зависящий от выбора системы отсчёта:

$$ds^2 = dx_k dx^k = g_{ik} dx^i dx^k = g'_{ik} dx'^i dx'^k = ds'^2. \quad (148')$$

Пространственно-временные измерения и фиксация метрических свойств осуществляются с помощью электромагнитных волн, скорость которых может зависеть от координат и времени в данной системе отсчёта, но не от скорости излучателей. При этом для электромагнитных волн интервал всегда равен нулю: $ds = 0$.

4. Физические свойства вещества и полей, кроме гравитационного поля, задаются соответствующими тензорами плотности энергии-импульса. Существует математическая функция от метрического тензора g_{ik} (например тензор Гильберта-Эйнштейна в левой части (149'), без учёта космологического члена), пропорциональная суммарному тензору энергии-импульса вещества и электромагнитного поля в правой части равенства:

$$R^{ik} - \frac{1}{2} g^{ik} R = \frac{8\pi\gamma}{c^4} (\phi^{ik} + W^{ik}), \quad (149')$$

где R^{ik} – тензор Риччи с контравариантными индексами,

R – скалярная кривизна,

γ – гравитационная постоянная,

c – скорость света,

ϕ^{ik} – тензор плотности энергии-импульса вещества,

W^{ik} – тензор плотности энергии-импульса электромагнитного поля.

С помощью (149') осуществляется связь между геометрическими свойствами пространства-времени, с одной стороны, и физическими свойствами имеющегося вещества и электромагнитного поля, с другой стороны. Ковариантная производная, действующая на обе части уравнения для метрики (149'), обращает их в нуль. Это фиксирует свойства тензора Гильберта-Эйнштейна, и одновременно задаёт уравнение движения вещества.

5. Имеются дополнительные условия, с помощью которых задаётся необходимое для расчётов количество соотношений для сдвигов и поворотов сравниваемых систем отсчёта, скоростей их движения друг относительно друга, и учитывающие свойства симметрии систем отсчёта.

Для сравнения выпишем из § 16 аксиомы МТО:

1. Свойства используемого пространственно-временного многообразия в той или иной системе отсчёта зависят от свойств пробных тел или волн, с помощью которых осуществляются пространственно-временные

измерения в данной системе отсчёта. Важнейшим свойством пробных тел или волн является скорость их распространения, поскольку она фигурирует в формулах как мера скорости других тел и запаздывания получения информации при дистанционных измерениях.

2. Геометрические свойства пространства-времени фиксируются соответствующим математическим объектом, являющимся функцией пространственно-временных координат системы отсчёта. Для широкого класса систем отсчёта подходящим математическим объектом является невырожденный четырёхмерный симметричный метрический тензор второго ранга g_{ik} , компонентами которого являются скалярные произведения единичных векторов осей координат выбранной системы отсчёта. Тензор g_{ik} позволяет находить любые инварианты, связанные с 4-векторами и тензорами.
3. Квадрат интервала ds^2 между двумя близкими событиями, понимаемый как свёртка метрического тензора g_{ik} с произведением дифференциалов координат $dx^i dx^k$, является инвариантом, мерой собственного динамического времени τ движущейся частицы, и не зависит от выбора системы отсчёта:

$$ds^2 = c^2 d\tau^2 = g_{ik} dx^i dx^k = g'_{ik} dx'^i dx'^k = ds'^2. \quad (150')$$

Квадрат интервала ds^2 для двух близких событий равен нулю, если эти события связаны с распространением пробных тел или волн, с помощью которых осуществляются пространственно-временные измерения и фиксация метрики.

4. Физические свойства вещества и любых полей, включая гравитационное поле, в той или иной системе отсчёта задаются соответствующими тензорами плотности энергии-импульса. Существует математическая функция от метрического тензора g_{ik} , находимая по определённым правилам, и пропорциональная суммарному тензору энергии-импульса вещества и полей, действующему в данной системе отсчёта. В простейшем случае такой функцией является тензор Гильберта-Эйнштейна, являющийся левой частью уравнения для метрики (814) из § 17:

$$R^{ik} - \frac{1}{2} g^{ik} R = \frac{8\pi\gamma\beta}{c_g^4} (\phi^{ik} + U^{ik} + W^{ik}), \quad (151')$$

где β – постоянный коэффициент, определяемый путём сравнения с экспериментом в § 20,

c_g – скорость распространения гравитации, предположительно равная скорости света,

U^{ik} – тензор плотности энергии-импульса гравитационного поля.

Уравнение (151') осуществляет связь между геометрическими свойствами используемого пространственно-временного многообразия, с одной стороны, и физическими свойствами имеющегося вещества и действующих полей, с другой стороны. Ковариантная производная, действующая на обе части уравнения для метрики (151'), обращает их в нуль. Это фиксирует свойства тензора Гильберта-Эйнштейна (или эквивалентного ему тензора), и одновременно задаёт уравнение движения вещества под действием полей.

5. Имеются дополнительные условия, с помощью которых задаётся необходимое для расчётов количество соотношений для сдвигов и поворотов сравниваемых систем отсчёта, скоростей их движения друг относительно друга, и учитывающие свойства симметрии систем отсчёта.

Как видно, различие появляется уже в аксиоме 1 – если в ОТО метрика пространства-времени не зависит от типа пробных частиц и волн (в предположении, что они незаряжены), то в МТО метрика является функцией свойств пробных тел. В ОТО согласно аксиоме 3 интервал равен нулю только для электромагнитных волн, а в МТО – для любых пробных частиц и волн, с помощью которых определяется метрика и производятся пространственно-временные измерения.

Существенные различия имеются и в аксиоме 4. В ОТО тензор плотности энергии-импульса гравитационного поля вообще не участвует в определении метрики, поскольку считается, что гравитация есть не физическое поле, а результат искривления пространства-времени от источников вещества и электромагнитного поля. Согласно ОТО частица вблизи массивного тела отклоняется от прямолинейного движения не за счёт гравитации, а благодаря ненулевой кривизне пространства-времени. Роль потенциала гравитационного поля с точностью до константы играет в основном временная компонента метрического тензора. В результате гравитация в ОТО представляется как геометрическое тензорное поле, связанное с метрическим тензором, и зависящее от координат и времени. Ускорение частиц в таком тензорном поле зависит от величины градиентов метрического поля. Сама же причина искривления пространства-времени в ОТО никак не определяется.

В метрической теории относительности (МТО) аксиома 4 устанавливает, что гравитация является реальным физическим полем и наряду с веществом и электромагнитным полем участвует в определении метрики, то есть метрического тензора. Поскольку метрика в МТО зависит от типа и свойств используемых пробных частиц (волн), в уравнении (151') появляется

дополнительный коэффициент β . В принципе метрика может зависеть от таких параметров, как начальная скорость, электрический (магнитный) заряд, спин пробных тел, от скорости используемой волны на бесконечности, и т.д.

Для вывода преобразований, связывающих дифференциалы координат и времени двух любых систем отсчёта, используется условие равенства интервалов $ds = ds'$ в (148') и соответственно в (150') в аксиомах 3. Кроме этого, согласно аксиоме 5 как в ОТО, так и в МТО, необходимы дополнительные соотношения и связи между этими системами отсчёта. Например, преобразования Лоренца для двух инерциальных систем отсчёта учитывают: расположение и взаимную ориентацию систем отсчёта; их скорости друг относительно друга; симметрию преобразований для осей, перпендикулярных скорости движения, включая одинаковую величину скорости света и независимость поперечной длины стержня от знака его скорости.

Аксиома 1 общей относительности ОТО тесно связана с принципом эквивалентности Эйнштейна. Так называемый слабый принцип по Эйнштейну может быть сформулирован следующим образом: «Если незаряженную пробную частицу поместить в некоторую точку стационарного гравитационного поля и придать ей начальную скорость, то движение частицы не будет зависеть от её внутренней структуры и состава. При этом результат любого локального негравитационного эксперимента в системе отсчёта свободно падающей частицы не зависит от скорости падения частицы и её местоположения в гравитационном поле».

В сильном принципе эквивалентности дополнительно утверждается независимость любого локального опыта, в том числе и гравитационного, проводимого на свободно падающей частице либо на источнике стационарного гравитационного поля. Принцип эквивалентности можно считать следствием независимости метрики от типа и свойств пробных частиц и волн, предполагаемой в аксиоме 1 общей относительности ОТО.

Поскольку аксиома 1 МТО отличается от аксиомы 1 общей относительности ОТО, в МТО вместо принципа эквивалентности ОТО вводится принцип локальной эквивалентности энергии-импульса: *В ускоренной системе отсчёта метрика локально зависит не от вида действующей силы, вызывающей данное ускорение, а от конфигурации этой силы в пространстве-времени системы отсчёта, определяемой тензором энергии-импульса.*

В данном принципе подчёркивается, что не силы в КТГ и не искривление пространства в ОТО определяют метрику, поскольку за появление метрики ответственны не силы, а энергии-импульсы соответствующих источников, независимо от их происхождения. В МТО поле гравитации является лишь одним из видов полей, имеющих в природе, и вызывающих изменение метрики по сравнению с её видом в инерциальных системах отсчёта.

Заметим, что зависимость метрики от вида пробных тел и волн означает отсутствие в МТО какого-то единого пространства-времени для каждой системы отсчёта, в противоположность ОТО. Если геометрия и искривление

пространства-времени зависят от свойств пробных тел и волн, то и гравитационные явления для этих тел и волн могут протекать различным образом. И действительно, частица без спина и частица со спином ведут себя вблизи тяготеющих масс по-разному.

Уточним, каким образом относительность ОТО и МТО переходит в специальную теорию относительности (СТО). Согласно аксиоме 1 общей относительности ОТО, при переходе к СТО метрика не должна зависеть от вида пробных тел и волн. Действительно, в СТО метрический тензор имеет вид постоянного тензора, у которого отличны от нуля только компоненты на главной диагонали, причём три компонента равны $+1$, а одна компонента равна -1 . Следовательно, при переходе от ОТО к СТО зависимость тензора g_{ik} от координат и времени должна уменьшаться вплоть до превращения компонент тензора в нулевые или единичные константы. Это же касается и зависимости скорости света от координат и времени – скорость света должна стать константой. В аксиоме 3 остаётся требование проведения всех пространственно-временных измерений с помощью электромагнитных волн, и условие (148') равенства интервалов для любых двух сравниваемых систем отсчёта. Для приближения к СТО согласно аксиоме 4 необходимо, чтобы стремились к нулю плотность вещества и скорость пробной частицы, а также и напряжённость электрического поля и индукция магнитного поля, действующих на частицу. С учётом аксиомы 5 этого достаточно, чтобы получить все соотношения СТО.

Похожая ситуация складывается и для метрической теории относительности (МТО). В § 19 мы подробно описали приближение слабого поля и малых скоростей для уравнения (151'). В отличие от уравнения ОТО (149'), в (151') в правой части находится тензор U^{ik} плотности энергии-импульса гравитационного поля. Компоненты этого тензора для перехода от МТО к специальной теории относительности должны стремиться к нулю наравне с компонентами тензора W^{ik} плотности энергии-импульса электромагнитного поля и тензора ϕ^{ik} плотности энергии-импульса вещества. В силу аксиомы 1 МТО, метрика может зависеть от вида пробных тел и волн. Поэтому если для пространственно-временных измерений используется не электромагнитная, а некоторая другая волна, то именно скорость этой волны и будет присутствовать в преобразованиях Лоренца, меняя их количественным образом.

Из формального сравнения приведённых выше аксиом видно, что метрическая теория относительности (МТО) более широка и включает в себя общую относительность ОТО как некоторый частный случай. Перейдём теперь к системе аксиом гравитационного поля в ковариантной теории гравитации (КТГ), записанной в 4-мерном векторно-тензорном формализме:

- 1) Свойства гравитационного поля задаются скоростью распространения гравитационного воздействия c_g , а также скалярным потенциалом ψ и векторным потенциалом \mathbf{D} .
- 2) Потенциалы гравитационного поля можно объединить в 4-вектор гравитационного потенциала, записанный с нижним ковариантным индексом:

$$D_i = \left(\frac{\psi}{c_g}, -\mathbf{D} \right). \quad (152')$$

Скорость изменения потенциалов в пространстве-времени выбранной системы отсчёта задаётся тензором напряжённостей гравитационного поля, составленным из четырёхмерных производных от компонент 4-вектора гравитационного потенциала:

$$\Phi_{ik} = \nabla_i D_k - \nabla_k D_i = \partial_i D_k - \partial_k D_i, \quad (153')$$

где ∇_i обозначает ковариантную производную, i, k – обычные 4-индексы, так что $\partial_0 = \frac{\partial}{\partial x^0} = \frac{\partial}{c \partial t}$, $\partial_1 = \frac{\partial}{\partial x^1} = \frac{\partial}{\partial x}$, $\partial_2 = \frac{\partial}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial y}$, $\partial_3 = \frac{\partial}{\partial x^3} = \frac{\partial}{\partial z}$.

При соответствующем выборе потенциалов поля выполняется соотношение симметричности потенциалов:

$$\nabla_n \Phi_{ik} + \nabla_i \Phi_{kn} + \nabla_k \Phi_{ni} = \partial_n \Phi_{ik} + \partial_i \Phi_{kn} + \partial_k \Phi_{ni} = 0. \quad (154')$$

- 3) Свойства вещества задаются его плотностью ρ_0 в сопутствующей системе отсчёта и скоростью движения V .
- 4) Величины ρ_0 и V входят в 4-вектор плотности массового тока или плотности импульса:

$$J^i = \rho_0 u^i = \left(\frac{c_g \rho_0}{\sqrt{1 - V^2/c_g^2}}, \frac{V \rho_0}{\sqrt{1 - V^2/c_g^2}} \right) = (c_g \rho, \mathbf{J}), \quad (155')$$

где $u^i = \left(\frac{c_g}{\sqrt{1-V^2/c_g^2}}, \frac{V}{\sqrt{1-V^2/c_g^2}} \right)$ – 4-скорость элемента вещества,

$\rho = \frac{\rho_0}{\sqrt{1-V^2/c_g^2}}$ – плотность движущегося вещества,

J – 3-вектор плотности массового тока.

- 5) Связь между гравитационным полем и веществом может быть выражена через взаимосвязь 4-вектора гравитационного потенциала D^i и 4-вектора плотности массового тока J^i , либо через связь между тензором Φ^{ik} и J^i :

$$\square^2 D^i = \frac{\partial^2 D^i}{c_g^2 \partial t^2} - \nabla^2 D^i + R^i_k D^k = -\frac{4\pi\gamma J^i}{c_g^2} = -\nabla_k \Phi^{ik}, \quad (156')$$

где \square^2 означает четырёхмерный даламбертиан в искривлённом римановом пространстве, действующий на 4-вектор D^i , $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ есть 3-оператор Лапласа, R^i_k есть тензор Риччи со смешанными индексами.

Указанные выше величины в общем случае могут зависеть от координат и времени. С помощью данных аксиом мы в § 17 выводим все соотношения для ковариантной теории гравитации (КТГ). Аналогичная система аксиом представлена нами и для электромагнитного поля. В частности, ковариантная производная от уравнения (151') используется в выражении для плотности силы, действующей на элемент вещества со стороны гравитационного и электромагнитного полей:

$$f^i = \frac{dJ^i}{d\tau} + \Gamma^i_{ks} u^k J^s = \nabla_k \phi^{ik} = -\nabla_k U^{ik} - \nabla_k W^{ik} = g^{in} (\Phi_{nk} J^k + F_{nk} j^k), \quad (157')$$

где Γ^i_{ks} – символ Кристоффеля,

F_{nk} – тензор напряжённостей электромагнитного поля,

$j^k = \rho_{0q} u^k$ – 4-вектор плотности электромагнитного тока,

ρ_{0q} – плотность электрического заряда элемента вещества в системе его покоя.

Левая часть равенства (157') (смотри также (141')) даёт общее определение плотности силы и её связь с ковариантной производной от тензора плотности энергии-импульса вещества, а правая часть задаёт плотности гравитационной и электромагнитной сил.

Мы полагаем, что система аксиом гравитационного поля общей теории относительности (ОТО) может быть следующей:

- 1) Свойства гравитационного поля задаются скоростью распространения гравитационного воздействия, равной скорости света и зависящей в общем случае от координат и времени, а также невырожденным метрическим тензором второго ранга g_{ik} .
- 2) Гравитационное поле сводится к геометрическому искривлению (деформации) пространства-времени, вызываемого источниками вещества и любым негравитационным полем. Степень искривления пространства-времени фиксируется тензором кривизны Римана-Кристоффеля R_{hijk} , являющимся функцией от g_{ik} и его производных первого и второго порядка по координатам и времени. Путём свёртки с метрическим тензором из тензора R_{hijk} образуются тензор Риччи R_{ik} и скалярная кривизна R .
- 3) Гравитационное ускорение сводится к градиентам от метрического тензора g_{ik} , то есть к скорости изменения компонент метрического тензора в пространстве и времени.
- 4) Свойства материи, определяемой как вещество и негравитационные поля, задаются тензором плотности энергии импульса T^{ik} .
- 5) Связь между гравитационным (метрическим) полем, задаваемым метрическим тензором g_{ik} через кривизну пространства-времени, и материей определяется уравнением для метрики:

$$R^{ik} - \frac{1}{2}g^{ik}R + \Lambda g^{ik} = \frac{8\pi\gamma}{c^4}T^{ik}, \quad (158')$$

где Λ – космологическая постоянная.

Следствием аксиомы 3 гравитационного поля ОТО является та сторона принципа эквивалентности, согласно которой ускорение пробных тел в каждой точке траектории не зависит от их массы, структуры и состава, а зависит только от свойств метрического поля. В пределе бесконечно малого пробного тела все частицы этого тела ускоряются одинаково и между частицами нет дополнительных сил. В таком приближении пробное тело при свободном

падении всё время находится в невесомости и не ощущает ни скорости своего движения, ни ускорения (ускорение в собственной системе отсчёта тела равно нулю). С этим связывается другая часть принципа эквивалентности, по которой результат любого локального эксперимента в системе отсчёта свободно падающего пробного тела не зависит от скорости падения тела и его местоположения в гравитационном поле. Свободное падение в гравитационном поле по своему результату приравнивается к движению тела по инерции. Тогда можно предполагать, что с малым падающим телом связана собственная система отсчёта, остающаяся при падении лоренц-инвариантной, как в специальной теории относительности.

В левой части уравнения (158') находится тензор Гильберта-Эйнштейна как простейшая линейная дифференциальная форма второго порядка, связанная с метрическим тензором g_{ik} и с кривизной. Из (158') вытекает, что метрическое гравитационное поле является тензорным полем, в отличие от гравитационного поля ковариантной теории гравитации (КТГ), в которой поле является векторным. В связи с этим аксиомы КТГ и ОТО в отношении гравитационного поля различны.

Ковариантная производная уравнения (158') задаёт уравнение движения вещества:

$$\nabla_k T^{ik} = 0. \quad (159')$$

Если в рассматриваемой системе имеется только вещество и электромагнитное поле без других полей, то тензор $T^{ik} = \phi^{ik} + W^{ik}$ и из (159') и из общего выражения для плотности силы (141') следует уравнение движения вещества в ОТО:

$$\frac{dJ^i}{d\tau} + \Gamma_{ks}^i u^k J^s = \nabla_k \theta^{ik} = -\nabla_k W^{ik} = g^{in} F_{nk} j^k. \quad (160')$$

Принцип движения пробных частиц по геодезическим линиям выполняется тогда, когда либо пробные частицы не заряжены и для них плотность тока j^k равна нулю, либо равен нулю тензор электромагнитного поля F_{nk} . Тогда в (160') правая часть равна нулю, и с учётом аксиомы 3 можно сократить плотность вещества ρ_0 , входящую в 4-вектор плотности массового тока $J^i = \rho_0 u^i$. Учитывая ещё, что $ds = c d\tau$, а также то, что в ОТО принято определение $u^i = \frac{dx^i}{d\tau}$, получается стандартное уравнение движения ОТО для вещества в гравитационном поле:

$$\frac{d^2 x^i}{ds^2} + \Gamma_{ks}^i \frac{dx^k}{ds} \frac{dx^s}{ds} = 0. \quad (161')$$

В ОТО показывается, что согласно (161') геодезическая линия имеет то свойство, что на ней всегда касательный 4-вектор параллелен 4-вектору скорости пробной частицы, причём в геометрическом смысле вектор скорости переносится вдоль геодезической параллельно самому себе без изменения своей длины. Для распространения электромагнитных волн уравнение движения (161') должно быть преобразовано, поскольку для волн интервал $ds = 0$ согласно аксиоме 3 общей относительности ОТО. В этом случае вводится параметр λ , отмечающий дину вдоль геодезической линии, такой, что выполняется уравнение для нулевой геодезической линии:

$$\frac{d^2 x^i}{d\lambda^2} + \Gamma_{ks}^i \frac{dx^k}{d\lambda} \frac{dx^s}{d\lambda} = 0. \quad (162')$$

Из уравнения движения ОТО (160') в пределе слабого поля, когда символ Кристоффеля Γ_{ks}^i стремится к нулю, при малой скорости пробной частицы следует:

$$\frac{dJ^i}{d\tau} \approx F_k^i j^k. \quad (163')$$

Если аналогичный переход сделать в уравнении (157') ковариантной теории гравитации (КТГ), получается другой результат:

$$\frac{dJ^i}{d\tau} \approx \Phi_k^i J^k + F_k^i j^k. \quad (164')$$

Уравнение (164') позволяет находить ускорение частиц в слабых внешних полях практически в инерциальных системах отсчёта в рамках СТО, что и используется в электродинамике и в гравимагнетизме. Отсюда можно заключить, что вследствие аксиоматики ОТО её уравнение движения (160') является частным случаем уравнения движения КТГ (157').

Из уравнения (157'), вытекающего из аксиом КТГ, видна связь между тензором плотности энергии-импульса U^{ik} гравитационного поля и тензором напряжённости Φ_k^i гравитационного поля: $-\nabla_k U^{ik} = \Phi_k^i J^k$.

С другой стороны, согласно (156') предполагается равенство: $\frac{4\pi\gamma J^i}{c_g^2} = \nabla_k \Phi^{ik}$. Это приводит к выражению (803) из § 17 для тензора плотности энергии-импульса гравитационного поля:

$$U^{mk} = \frac{c_g^2}{4\pi\gamma} \left(-g^{mn} \Phi_{ni} \Phi^{ik} + \frac{1}{4} g^{mk} \Phi^{ir} \Phi_{ri} \right).$$

Между тем, известной проблемой, до сих пор не решённой в ОТО, является отсутствие ковариантного, то есть тензорного выражения для энергии-импульса гравитационного поля. Вследствие этого в ОТО не определено точное расположение в пространстве-времени энергии поля. В этом проявляется узость аксиоматики ОТО, сводящей гравитацию к геометрическим свойствам пространства-времени. В то же время в КТГ гравитация считается реальной физической силой, сущность которой может быть объяснена на основе модернизированной теории Лесажа (смотри § 7 или [22]).

Дата публикации комментария №19: 07.03.2011.

20. О применении принципа суперпозиции для вычисления потенциалов поля

Вследствие нелинейности уравнений гравитационного поля в общей теории относительности и в ковариантной теории гравитации, обычный принцип суперпозиции потенциалов в этих теориях становится неточным. Однако применение данного принципа является вполне оправданным в пределе слабого поля, когда общая теория относительности переходит в гравимагнетизм, а ковариантная теория гравитации – в лоренц-инвариантную теорию гравитации. Поле гравитации может считаться слабым, если метрика пространства-времени достаточно мало отличается от метрики пространства-времени Минковского (метрики пространства-времени специальной теории относительности). Если эффекты гравитационного замедления времени и сокращения размеров значительно меньше, чем аналогичные эффекты за счёт скорости движения рассматриваемой системы отсчёта, то такое гравитационное поле также можно считать слабым.

В § 8 мы использовали потенциалы гравитационного поля для нахождения напряжённостей поля внутри и снаружи однородного по плотности шара, движущегося с постоянной скоростью V вдоль оси OZ системы отсчёта K . Потенциалы за пределами шара имеют следующий вид:

$$\psi = -\frac{\gamma M}{\sqrt{1-V^2/c_g^2} \sqrt{x^2 + y^2 + \frac{(z-Vt)^2}{1-V^2/c_g^2}}}, \quad \mathbf{D} = \frac{\psi \mathbf{V}}{c_g^2}, \quad (165')$$

где ψ – скалярный потенциал,
 γ – гравитационная постоянная,
 M – масса шара,
 c_g – скорость распространения гравитации, которую далее для упрощения расчётов будем считать равной скорости света c ,

(x, y, z) – координаты точки, в которой определяется потенциал в момент времени t (с условием, что при $t = 0$ центр шара находился в начале координат системы отсчёта),

\mathbf{D} – векторный потенциал.

Выражения (165') для потенциалов шара могут быть получены из так называемых потенциалов Лиенара-Вихерта для материальной точки [78], [79]. Популярное изложение проблемы можно найти в книге Фейнмана [80]. Скалярный потенциал Лиенара-Вихерта для гравитационного поля от материальной точки с массой dM имеет такой вид:

$$d\psi = -\frac{\gamma dM}{r' - \mathbf{V} \cdot \mathbf{r}' / c}, \quad (166')$$

где вектор \mathbf{r}' есть вектор, соединяющий раннее положение материальной точки в момент времени t' , и точку $\mathbf{r} = (x, y, z)$, в которой определяется потенциал в момент времени t . При этом должно выполняться равенство:

$$t' = t - \frac{r'}{c}. \quad (167')$$

Смысл данного равенства заключается в том, что за время $t - t'$ гравитационное воздействие от массы dM должно пройти путь r' со скоростью $c = c_g$ до точки (x, y, z) для того, чтобы в этой точке возник потенциал $d\psi$.

Пусть имеется некоторое непрерывное распределение материальных точек, и при $t = 0$ эти точки описываются координатами (x_0, y_0, z_0) , а центр распределения материальных точек совпадает с началом системы отсчёта. Тогда при времени t центр распределения материальных точек передвинется вдоль оси OZ в положение $z = Vt$, а радиус-вектор произвольной точки распределения

будет равен $\mathbf{r}_2 = (x_0, y_0, z_0 + Vt)$. В ранний момент времени положение данной материальной точки задаётся вектором $\mathbf{r}_1 = (x_0, y_0, z_0 + Vt')$. Поскольку $\mathbf{r}' = \mathbf{r} - \mathbf{r}_1$, а также $r' = c(t - t')$ согласно (167'), то для квадрата r'^2 можно записать:

$$r'^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0 - Vt')^2 = c^2 (t - t')^2.$$

Правая часть данного выражения представляет собой квадратное уравнение для времени t' . Найдя t' , можно затем определить и r' . Если учесть, что в (166') произведение векторов $\mathbf{V} \cdot \mathbf{r}' = V(z - z_0 - Vt')$, то в итоге вместо (166') появляется следующее:

$$d\psi = - \frac{\gamma dM}{\sqrt{1 - V^2/c^2} \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + \frac{(z - z_0 - Vt)^2}{1 - V^2/c^2}}}. \quad (168')$$

Согласно (168'), гравитационный потенциал $d\psi$ в момент времени t от точечной массы dM при её движении вдоль оси OZ зависит от начального положения (x_0, y_0, z_0) этой массы при $t = 0$. Если теперь проинтегрировать (168') по всем точечным массам внутри шара, должна получиться формула (165') для потенциала движущегося шара. Кроме этого, если в (168') произвести замены вида:

$$\bar{x} = x - x_0, \quad \bar{y} = y - y_0, \quad \bar{z} = \frac{z - z_0 - Vt}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, \quad (169')$$

то получится формула для потенциала в системе отсчёта \bar{K} , всё время совпадающей с точечной массой dM :

$$d\bar{\psi} = - \frac{\gamma dM}{\sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2}}. \quad (170')$$

В (170') в системе отсчёта \bar{K} вектор $\bar{\mathbf{r}} = (\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ задаёт ту же самую точку, что и вектор $\mathbf{r} = (x, y, z)$ в системе отсчёта K . Отсутствие корня вида $\sqrt{1 - V^2/c^2}$ в (170') объясняется тем, что в \bar{K} рассматриваемая точечная масса

неподвижна и её скорость равна нулю. При этом соотношения (169') есть по сути расширенные преобразования Лоренца для координат событий. С их помощью, зная координаты положения (x_0, y_0, z_0) начала системы отсчёта \bar{K} в K при $t = 0$, можно находить связь между координатами событий (x, y, z) в K и соответствующими им координатами $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ в \bar{K} для каждого момента времени t . В § 4 мы простым путём от преобразований Лоренца пришли к преобразованиям Пуанкаре, и хотя там расчёты велись с помощью языка 4-векторов и тензорных преобразований, результаты совпадают с соотношениями (169').

Предположим, что точки $(\bar{x}_0, \bar{y}_0, \bar{z}_0)$ с точки зрения системы отсчёта \bar{K} задают весь объём однородного по плотности шара радиуса R , а в системе отсчёта K эти же точки выглядят как (x_0, y_0, z_0) . Поскольку \bar{K} движется относительно K с постоянной скоростью V , то согласно лоренцевскому сокращению движущийся в K шар должен рассматриваться как сжатый относительно оси OZ эллипсоид. Уравнение такого эллипсоида при $t = 0$ имеет вид:

$$x_0^2 + y_0^2 + \frac{z_0^2}{1 - V^2/c^2} = R^2. \quad (171')$$

Осуществим теперь интегрирование в (168') по всем точкам (x_0, y_0, z_0) объёма эллипсоида (171'):

$$\psi = -\frac{\gamma}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \int \frac{dM}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + \frac{(z - z_0 - Vt)^2}{1 - V^2/c^2}}}. \quad (172')$$

Интеграл (172') означает, что мы применяем принцип суперпозиции (наложения) потенциалов от множества всех точечных масс dM в объёме эллипсоида (171') для того, чтобы найти их суммарный потенциал в заданной точке (x, y, z) . Если бы скорость V равнялась нулю, то эллипсоид (171') был бы сферой радиуса R , и можно было бы записать: $dM = \bar{\rho} d\Upsilon$, где $\bar{\rho}$ есть плотность массы, а $d\Upsilon$ представляет собой элемент объёма. Введём параметрическое представление точек объёма движущегося эллипсоида (171') с помощью формул, зависящих от новых переменных r_0, θ, φ :

$$x_0 = r_0 \sin \theta \cos \varphi, \quad y_0 = r_0 \sin \theta \sin \varphi, \quad z_0 = \sqrt{1 - V^2/c^2} r_0 \cos \theta. \quad (173')$$

Известно, что при параметрическом задании уравнения пространственной фигуры элемент объёма определяется формулой $dY = J dr_0 d\theta d\varphi$, где:

$$J = \frac{\partial(x_0, y_0, z_0)}{\partial(r_0, \theta, \varphi)} = \begin{vmatrix} \frac{\partial x_0}{\partial r_0} & \frac{\partial x_0}{\partial \theta} & \frac{\partial x_0}{\partial \varphi} \\ \frac{\partial y_0}{\partial r_0} & \frac{\partial y_0}{\partial \theta} & \frac{\partial y_0}{\partial \varphi} \\ \frac{\partial z_0}{\partial r_0} & \frac{\partial z_0}{\partial \theta} & \frac{\partial z_0}{\partial \varphi} \end{vmatrix}.$$

Отсюда с учётом (173') находим, что $dY = r_0^2 \sin \theta \sqrt{1 - V^2/c^2} dr_0 d\theta d\varphi$. Вследствие множителя $\sqrt{1 - V^2/c^2}$ видимый объём движущегося шара становится меньше, чем объём неподвижного шара радиуса R . Одновременно с этим увеличивается видимая плотность вещества, от величины $\bar{\rho}$ до $\rho = \bar{\rho} / \sqrt{1 - V^2/c^2}$. В результате элемент массы движущегося шара будет равен $dM = \rho dY = \bar{\rho} r_0^2 \sin \theta dr_0 d\theta d\varphi$, а (172') представляется так:

$$\psi = -\frac{\gamma \bar{\rho}}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \times \int \frac{r_0^2 \sin \theta dr_0 d\theta d\varphi}{\sqrt{r_0^2 + x^2 - 2xr_0 \sin \theta \cos \varphi + y^2 - 2yr_0 \sin \theta \sin \varphi + \frac{(z - Vt)^2}{1 - V^2/c^2} - \frac{2(z - Vt)r_0 \cos \theta}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}}}. \quad (174')$$

Если подставить (173') в (171'), то видно, что в (174') радиус r_0 меняется от 0 до R , угол θ как обычно меняется от 0 до π , а угол φ – от 0 до 2π . В частном случае, если точка, где вычисляется потенциал, лежит на оси OZ , где $x = y = 0$, интеграл (174') берётся непосредственно:

$$\psi_{oz} = -\frac{\gamma M}{z-Vt}, \quad (175')$$

где масса шара $M = \frac{4\pi R^3 \bar{\rho}}{3}$.

Произведём в (174') замену переменных для точки за пределами шара, где находится потенциал:

$$X = x, \quad Y = y, \quad Z = \frac{z-Vt}{\sqrt{1-V^2/c^2}}. \quad (176')$$

В новых переменных, по которым интегрирования не производится, формула для вычисления потенциала приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned} \psi = & -\frac{\gamma \bar{\rho}}{\sqrt{1-V^2/c^2}} \times \\ & \times \int \frac{r_0^2 \sin \theta dr_0 d\theta d\varphi}{\sqrt{r_0^2 + X^2 - 2Xr_0 \sin \theta \cos \varphi + Y^2 - 2Yr_0 \sin \theta \sin \varphi + Z^2 - 2Zr_0 \cos \theta}}. \end{aligned} \quad (177')$$

Если применить (168') для вычисления потенциала за пределами покоящегося шара (то есть при скорости $V=0$) с помощью стандартных сферических координат для точек внутри шара радиуса R :

$$\bar{x}_0 = \bar{r}_0 \sin \theta \cos \varphi, \quad \bar{y}_0 = \bar{r}_0 \sin \theta \sin \varphi, \quad \bar{z}_0 = \bar{r}_0 \cos \theta, \quad (178')$$

то для потенциала будем иметь:

$$\begin{aligned} \bar{\psi} = & -\gamma \bar{\rho} \times \\ & \times \int \frac{\bar{r}_0^2 \sin \theta d\bar{r}_0 d\theta d\varphi}{\sqrt{\bar{r}_0^2 + \bar{x}^2 - 2\bar{x}\bar{r}_0 \sin \theta \cos \varphi + \bar{y}^2 - 2\bar{y}\bar{r}_0 \sin \theta \sin \varphi + \bar{z}^2 - 2\bar{z}\bar{r}_0 \cos \theta}}. \end{aligned} \quad (179')$$

Ориентируя ось OZ системы отсчёта \bar{K} таким образом, чтобы она была направлена в ту точку, где вычисляется потенциал, можно добиться, чтобы в (179') координаты $\bar{x}_0 = \bar{y}_0 = 0$. Тогда интеграл легко берётся и равен:

$$\bar{\psi}_{OZ} = -\frac{\gamma M}{\bar{z}}. \quad (180')$$

Координата \bar{z} в (180') отсчитывается от центра шара вдоль оси OZ . Ясно однако, что потенциал возле шара зависит лишь от расстояния до центра шара, а не от расположения осей системы координат. Если поменять направление осей, то вместо \bar{z} в (180') следует подставлять длину радиус-вектора, соединяющего центр шара и точку, где измеряется потенциал. Отсюда для потенциала возле неподвижного шара следует общая формула:

$$\bar{\psi} = -\frac{\gamma M}{\sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2}}. \quad (181')$$

Из сравнения (181') и (170') следует, что потенциал за пределами однородного по плотности шара массы M имеет ту же форму, что и потенциал такой же массы, но имеющей точечные размеры.

Сравним теперь формулы (177') и (179'). Подинтегральные выражения в них имеют одинаковую форму, это же касается и пределов интегрирования. Так как интеграл (179') приводит к (181'), то аналогично интеграл (177') даёт:

$$\psi = -\frac{\gamma M}{\sqrt{1-V^2/c^2} \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}}.$$

Используя здесь замену переменных (176'), находим потенциал за пределами шара, движущегося вдоль оси OZ со скоростью V :

$$\psi = -\frac{\gamma M}{\sqrt{1-V^2/c^2} \sqrt{x^2 + y^2 + \frac{(z-Vt)^2}{1-V^2/c^2}}}. \quad (182')$$

Тем самым мы приходим к потенциалу шара (165'), а также к потенциалу (168') движущейся материальной точки в случае $x_0 = y_0 = z_0 = 0$, когда при $t = 0$ эта точка находилась в начале координат.

К формулам (165') можно прийти и путём лоренцевских преобразований 4-вектора потенциала $D^i = \left(\frac{\psi}{c}, \mathbf{D} \right)$. В системе отсчёта \bar{K} шар покоится, его скалярный гравитационный потенциал $\bar{\psi}$ имеет вид (181'), а векторный

потенциал \bar{D} неподвижной массы равен нулю. Отсюда получается $\bar{D}^i = \left(\frac{\bar{\psi}}{c}, 0 \right)$.

Для перехода от системы отсчёта \bar{K} к системе отсчёта K , когда \bar{K} движется в K вдоль оси OZ со скоростью V при той же самой ориентации осей координат, используется матрица обратного частного преобразования Лоренца (смотри также § 4):

$$\bar{L}^k_i = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{1-V^2/c^2}} & 0 & 0 & \frac{V}{c\sqrt{1-V^2/c^2}} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \frac{V}{c\sqrt{1-V^2/c^2}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{1-V^2/c^2}} \end{pmatrix}, \quad (183')$$

С помощью \bar{L}^k_i преобразование любых 4-векторов \bar{A}^i из одной инерциальной системы отсчёта в другую осуществляется по формуле:

$$A^k = \bar{L}^k_i \bar{A}^i. \quad (184')$$

Подставляя в (184') матрицу преобразования (183') и 4-вектор $\bar{D}^i = \left(\frac{\bar{\psi}}{c}, 0 \right)$ вместо \bar{A}^i , получаем 4-вектор $D^i = \left(\frac{\psi}{c}, \mathbf{D} \right)$. Компоненты этого 4-вектора оказываются потенциалами гравитационного поля (165'). При этом надо учесть, что в (184') индексы пробегают значения 0,1,2,3 (нулевой индекс относится в временной (скалярной) зависимости, а индексы 1,2,3 – к пространственной (векторной) зависимости 4-вектора); по одинаковому индексу сверху и внизу проводится свёртка (принцип суммирования произведений компонент); после преобразования компоненты 4-вектора следует выразить через новые координаты, которые сами преобразуются по правилу типа (184'). Например, подставляя в (184') 4-вектор $\bar{x}^i = (c\bar{t}, \bar{\mathbf{r}}^i)$ положения некоторой точки в пространстве-времени системы отсчёта \bar{K} , находим выражение в системе отсчёта K компонент соответствующего 4-вектора $x^i = (ct, \mathbf{r})$:

$$t = \frac{\bar{t} + V\bar{z}/c^2}{\sqrt{1-V^2/c^2}}, \quad x = \bar{x}, \quad y = \bar{y}, \quad z = \frac{\bar{z} + V\bar{t}}{\sqrt{1-V^2/c^2}}.$$

Данные выражения являются обратными лоренцевскими преобразованиями для координат. Матрица прямых лоренцевских преобразований отличается от (183') заменой знака перед скоростью V , а прямые лоренцевские преобразования координат будут таковы:

$$\bar{t} = \frac{t - Vz/c^2}{\sqrt{1-V^2/c^2}}, \quad \bar{x} = x, \quad \bar{y} = y, \quad \bar{z} = \frac{z - Vt}{\sqrt{1-V^2/c^2}}. \quad (185')$$

С помощью преобразования (185') и следует заменять координаты в (184'), чтобы выразить 4-вектор в другой инерциальной системе отсчёта через её собственные координаты.

Применим теперь формулу (168') для вычисления потенциала внутри движущегося шара. Повторяя рассуждения относительно выражений (171') – (174'), вновь приходим к интегралу (174'). Снова упростим задачу и будем искать потенциал на оси OZ , где $x = y = 0$.

$$\begin{aligned} \psi_{oz} &= -\frac{2\pi\gamma\bar{\rho}}{\sqrt{1-V^2/c^2}} \int \frac{r_0^2 \sin\theta dr_0 d\theta}{\sqrt{r_0^2 + \frac{(z-Vt)^2}{1-V^2/c^2} - \frac{2(z-Vt)r_0 \cos\theta}{\sqrt{1-V^2/c^2}}}} = \\ &= -2\pi\gamma\bar{\rho} \int_0^R \frac{r_0 dr_0}{z-Vt} \left(r_0 + \frac{z-Vt}{\sqrt{1-V^2/c^2}} - \sqrt{\left(\frac{z-Vt}{\sqrt{1-V^2/c^2}} - r_0 \right)^2} \right). \end{aligned} \quad (186')$$

Точка $(0,0,z)$, где ищется потенциал, находится внутри шара, причём движущийся шар выглядит как эллипсоид с уравнением поверхности:

$$x_0^2 + y_0^2 + \frac{(z_0 - Vt)^2}{1-V^2/c^2} = R^2.$$

На оси OZ для точек внутри эллипсоида выполняется соотношение $z_0 - Vt \leq \pm R\sqrt{1 - V^2/c^2}$. Для удобства положим, что $z_0 \geq Vt$, тогда $z_0 - Vt \leq R\sqrt{1 - V^2/c^2}$. Так как мы ищем потенциал внутри эллипсоида на оси OZ , то и для точки $(0, 0, z)$ должно быть аналогичное условие: $z - Vt \leq R\sqrt{1 - V^2/c^2}$ при $z \geq Vt$.

В (186') радиус r_0 , по которому идёт интегрирование, меняется от 0 до R , а точка $(0, 0, z)$ находится где-то внутри эллипсоида. В связи с этим квадратный

корень $\sqrt{\left(\frac{z - Vt}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} - r_0\right)^2}$, находящийся внутри интеграла (186'), меняет свой

знак, когда интегрирование по радиусу r_0 пересекает точку $(0, 0, z)$, в которой данный квадратный корень обращается в нуль. Поэтому интеграл (186') необходимо разбить на два интеграла

$$\begin{aligned} \psi_{OZ} &= -2\pi\gamma\bar{\rho} \int_0^{\frac{z-Vt}{\sqrt{1-V^2/c^2}}} \frac{2r_0^2 dr_0}{z-Vt} - 2\pi\gamma\bar{\rho} \int_{\frac{z-Vt}{\sqrt{1-V^2/c^2}}}^R \frac{2r_0 dr_0}{\sqrt{1-V^2/c^2}} = \\ &= -\frac{2\pi\gamma\bar{\rho}}{\sqrt{1-V^2/c^2}} \left[R^2 - \frac{(z-Vt)^2}{3(1-V^2/c^2)} \right]. \end{aligned} \quad (187')$$

Используя аргументы, приведённые между соотношениями (176') и (182'), для потенциалов внутри движущегося шара в общем случае можно записать:

$$\psi = -\frac{2\pi\gamma\bar{\rho}}{\sqrt{1-V^2/c^2}} \left[R^2 - \frac{1}{3} \left(x^2 + y^2 + \frac{(z-Vt)^2}{1-V^2/c^2} \right) \right], \quad \mathbf{D} = \frac{\psi \mathbf{V}}{c^2}. \quad (188')$$

Если бы шар был неподвижный, внутренний 4-потенциал в точке $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ был бы равен $\bar{D}^i = \left(\frac{\bar{\psi}}{c}, \bar{\mathbf{D}} \right)$, где

$$\bar{\psi} = -2\pi\gamma\bar{\rho} \left[R^2 - \frac{1}{3} (\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2) \right], \quad \bar{\mathbf{D}} = 0.$$

Если к 4-вектору $\bar{D}^i = \left(\frac{\bar{\psi}}{c}, \bar{\mathbf{D}} \right)$ применить преобразования (184') и заменить координаты согласно (185'), снова получится 4-вектор внутреннего гравитационного потенциала $D^i = \left(\frac{\psi}{c}, \mathbf{D} \right)$ с компонентами (188').

Таким образом, внешние потенциалы (165') гравитационного (и аналогично электромагнитного) поля движущегося шара по своей форме подобны потенциалам точечной массы (точечного заряда), и могут быть получены как с помощью принципа суперпозиции потенциалов точечных масс внутри шара, так и с помощью преобразования Лоренца. Мы нашли также точные внутренние потенциалы (188') движущегося шара, для которых справедливы как принцип суперпозиции, так и преобразования Лоренца.

Целью данного комментария является описание математического подхода для демонстрации этих известных положений.

Дата публикации комментария №20: 05.06.2011.

Литература

1. Федосин С. Г. Физика и философия подобия от преонов до метагалактик. Пермь: Стиль-МГ, 1999, ISBN 5-8131-0012-1, 544 стр., Табл.66, Ил.93, Библ. 377 назв.
2. Теория бесконечной вложенности материи / на сайте энциклопедии «Традиция» <http://traditio.ru> ; // на сайте энциклопедии «Wikiversity» http://en.wikiversity.org/wiki/Infinite_Hierarchical_Nesting_of_Matter .
3. Подобие уровней материи // на сайте энциклопедии «Викизнание» <http://www.wikiznanie.ru/> .
4. Panagia, N. "New Distance Determination to the LMC". *Memorie della Societa Astronomia Italiana*, 1999, **69**: 225. http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-article_query?1998MmSAI..69..225P&data_type=PDF_HIGH&type=PRINTER&filetype=.pdf
5. Aglietta M. *et al.*, *Europhys. Lett.* **3**, 1321 (1987).
6. Amaldi E. *et al.*, (1987), *Europhys. Lett.* **3**, 1325.
7. Pizzella G., *Nuovo Cimento B* **102**, 471 (1989).
8. Частное сообщение (03.12.2009), В. А. Коломбет, ИТЭБ РАН.
9. Nadyozhin D. K., Imshennik V. S. *Physics of Supernovae. Int. J. Mod. Phys. A20* (2005) 6597-6611. <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0501002v1> .
10. Richard McCray. *Stars and galaxies.* <http://cosmos.colorado.edu/stem/courses/common/documents/chapter6/l6S6.htm> .

11. Thomas Morris, Philipp Podsiadlowski. The Triple-Ring Nebula around SN 1987A: Fingerprint of a Binary Merger. 13 Mar 2007, <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0703317v1>.
12. Landstreet J.D. A search for magnetic fields in normal upper-main-sequence stars. *ApJ*, 1982, Vol. 258, P. 639–650.
13. Kei Kotake, Katsuhiko Sato, and Keitaro Takahashi. Explosion Mechanism, Neutrino Burst, and Gravitational Wave in Core-Collapse Supernovae. *Rept. Prog. Phys.* 69:971-1144, 2006. <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0509456v2> 16 Sep 2005.
14. Höflich P. et al. 2004. Asymmetric supernova explosions. *Stellar Collapse* (Dordrecht: Kluwer Academic Press), 237-58.
15. G. Pagliaroli, F. Vissani, M. L. Costantini, and A. Ianni. Improved analysis of SN1987A antineutrino events. 2 Oct 2008, <http://arxiv.org/abs/0810.0466v1>.
16. Imshennik V.S., Ryazhskaya O.G. A Rotating Collapsar and Possible Interpretation of the LSD Neutrino Signal from SN 1987A. 29 Jan 2004. <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0401613v1>.
17. Joel M. Weisberg, Joseph H. Taylor. [Binary Pulsar B1913+16: Thirty Years of Observations and Analysis](http://arxiv.org/PS_cache/astro-ph/pdf/0407/0407149v1.pdf). http://arxiv.org/PS_cache/astro-ph/pdf/0407/0407149v1.pdf.
18. P. Frank Winkler, Robert Petre. Direct Measurement of Neutron-Star Recoil in the Oxygen-Rich Supernova Remnant Puppis A. 9 Aug 2006, <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0608205v1>.
19. Helfand D.J. et al. 2001. Vela Pulsar and Its Synchrotron Nebula. *Astrophys. J.* 556, 380 – 91.
20. Mikheyev S.P. and Smirnov A.Yu. 1986. *Sov. Phys. JETP*, 64, 4.
21. Davis R. at all. In «Neutrino-88». – Turfts and Boston universities – Boston, 1988.
22. Fedosin S.G. [Model of Gravitational Interaction in the Concept of Gravitons](http://sergf.ru/mg.htm). *Journal of Vectorial Relativity*, Vol. 4, No. 1, March 2009, P.1-24; статья на русском языке: [Модель гравитационного взаимодействия в концепции гравитонов](http://sergf.ru/mg.htm). <http://sergf.ru/mg.htm>.
23. Витязев А.В., Печерникова Г.В., Сафронов В.С. Планеты земной группы. Происхождение и ранняя эволюция. М.: Наука, 1990, 296 с.
24. Звёздная постоянная Дирака // на сайте энциклопедии «Викизнание» <http://www.wikiznanie.ru/>.
25. Федосин С.Г. Современные проблемы физики. В поисках новых принципов. – М., Эдиториал УРСС, 2002, 192 с., Ил.26, Библ. 50 назв. ISBN 5-8360-0435-8.
26. Williams, R. K. Gravitomagnetic field and Penrose scattering processes. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2005, **1045**, 232-245.
27. Arcadio Poveda, Patricia Lara. The Exo-planetary System of 55 Cancri and the Titius-Bode Law. 14 Mar 2008, <http://arxiv.org/abs/0803.2240v1>.

28. SPФ-симметрия // на сайте энциклопедии «Викизнание» <http://www.wikiznanie.ru/>.
29. Chun Wa WONG. DEUTERON RADIUS AND NUCLEAR FORCES IN FREE SPACE. *International Journal of Modern Physics*, 1994, Vol. 3, Iss. 3, P. 821-907. <http://www.worldscinet.com/ijmpe/03/0303/S0218301394000255.html>.
30. Авотина М.П., Золотавин А.В. Моменты основных и возбужденных состояний ядер. Ч.1. – М.: Атомиздат, 1979, 328 с.
31. Федосин С.Г., Ким А.С. Момент импульса и радиус протона // *Известия вузов. Физика*, 2002, Т. 45, № 5, С. 93–97.
32. Hamada T., Salpeter E. Models for zero-temperature stars. *The Astrophysical Journal*, 1961, Vol. 134, P. 683–698.
33. M.L. Perl (1977). "[Evidence for, and properties of, the new charged heavy lepton](#)". in T. Thanh Van (ed.). *Proceedings of the XII Rencontre de Moriond*. SLAC-PUB-1923. <http://slac.stanford.edu/pubs/slacpubs/1750/slac-pub-1923.pdf>.
34. C. Amsler *et al.* (2008). "[Review of Particle Physics](#)". *Physics Letters B* **667**: 1. doi:10.1016/j.physletb.2008.07.018. <http://pdg.lbl.gov/>.
35. Бисноватый-Коган Г.С. Физические вопросы теории звёздной эволюции. – М.: Наука, 1989, 488 с.
36. Oppenheimer J., Volkoff G. On massive neutron cores. *Physical Review*, 1939, Vol. 55, P. 374–381.
37. [The Lowest Mass White Dwarf](#), Mukremin Kulic, Carlos Allende Prieto, Warren R. Brown, and D. Koester, *The Astrophysical Journal* **660**, #2 (May 2007), pp. 1451–1461. <http://adsabs.harvard.edu/abs/2007ApJ...660.1451K>.
38. Чандрасекхар С. Введение в учение о строении звёзд. М.: ИЛ, 1950.
39. O. Thilmann. Total charm production cross section and production asymmetries in 340 GeV/c Sigma⁻-Nucleus interactions. Talk presented by at the 3rd Conference on Hyperons, Charm and Beauty Hadrons in Genova, 30th June - 3rd July 1998. *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* 75B (1999) 129–132. <http://www1.kph.uni-mainz.de/users/ulm/wa89/publications/ps/genova98.ps.gz>.
40. R. H. Dalitz and S. F. Tuan, *Phys. Rev. Lett.* 2, 425 (1959); *Annals Phys.* 10, 307 (1960).
41. J.D. Weinstein and N. Isgur, *Phys. Rev. Lett.* 48, 659 (1982); *Phys. Rev. D* 41, 2236 (1990).
42. Daisuke Jido, Yoshiko Kanada-En'yo. A new N* resonance as a hadronic molecular state. 25 Jun 2009, <http://arxiv.org/abs/0906.4653v1>.
43. Oset, E. at al. Dynamically generated resonances. 20 Jun 2009, <http://arxiv.org/abs/0906.3801v1>.
44. Yao W.-M. et al., (Particle Data Group), *Physics Letters*, Vol. B667, P. 1 (2008) and 2009 partial update for the 2010 edition. // на сайте <http://pdg.lbl.gov/index.html>.
45. Particle listings. (Particle Data Group). Частицы – не кварковые кандидаты. <http://pdg.lbl.gov/2009/listings/rpp2009-list-non-qqbar.pdf>.

46. T. Aaltonen, et al, for the CDF Collaboration. Observation of the Ω_b^- and Measurement of the Properties of the Ξ_b^- and Ω_b^- . Phys.Rev.D80:072003,2009. <http://arxiv.org/abs/0905.3123v2> .
47. 14th Lomonosov Conference on Elementary Particle Physics Moscow, 19-25 August, 2009. Measurement of $\pi\pi$ scattering lengths from “cusp” effect in the decay $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0$ and $Ke4$ decays $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^- e^\pm \nu$. <http://nuclphys.sinp.msu.ru/conf/lpp14/240809/Biino.pdf> .
48. F. Cardone, M. Gaspero, R. Mignani. Non-standard peak values of the Bose-Einstein correlations and their possible interpretation by a metric description of strong interactions. Eur. Phys. J. C 4, 705-709 (1998). DOI 10.1007/s100529800799. <http://dbserv.pnpi.spb.ru/elbib/journals/10052/papers/8004004/80040705.pdf> .
49. R. Schmidt, H. Arenhövel and P. Wilhelm. Quasifree pion photoproduction on the deuteron in the Δ region. Z. Phys. A355 (1996) 421–426. <http://arxiv.org/abs/nucl-th/9606016v1> .
50. B. Tatischeff, E. Tomasi-Gustafsson. Search for Low Mass Exotic mesonic structures. Part I: experimental results. 9 Oct 2007. <http://arxiv.org/abs/0710.1796> .
51. B. Tatischeff, E. Tomasi-Gustafsson. Exotic low mass narrow baryons extracted from charge exchange reactions. 12 Feb 2010. <http://arxiv.org/abs/1002.2543> .
52. H. Park et al. HyperCP Collaboration, Phys. Rev. Lett. 94, 021801 (2005).
53. D0 Collaboration. A precision measurement of the mass of the top quark. Nature. Vol. 429, P. 638-642. 10 June 2004. <http://www.nature.com/nature> .
54. Законы философии // на сайте энциклопедии «Викизнание» <http://www.wikiznanie.ru/> .
55. Теория гравитации Лесажа / на сайте энциклопедии «Традиция» <http://traditio.ru> .
56. Yao W-M et al. (Particle Data Group) J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. Vol. 33, P. 1 (2006).
57. Nomoto K., Tsuruta S. Cooling of neutron stars: effects of finite scale of thermal conduction. APJ, 1987, Vol. 312, P. 711–726.
58. Fedosin S.G. Пульсар 0531+21: чем в Крабовидной туманности определяется форма куполов? Известия науки, <http://sergf.ru/pu.htm> .
59. Eta Carinae // сайте энциклопедии «Wikipedia» http://en.wikipedia.org/wiki/Eta_Carinae .
60. Гравитационная модель сильного взаимодействия // на сайте энциклопедии «Викизнание» <http://www.wikiznanie.ru/> .
61. Richard J. Hill, Gil Paz. Model independent extraction of the proton charge radius from electron scattering. 26 Aug 2010. <http://arxiv.org/abs/1008.4619> .
62. Randolf Pohl at all. The size of the proton. Nature, Vol. 466, P. 213-216 (8 July 2010). <http://www.nature.com/nature/journal/v466/n7303/full/nature09250.html> .

63. V. Petit. Observations of magnetic fields in hot stars. – в Active OB stars: structure, evolution, mass loss, and critical limits. Proceedings IAU Symposium No. 272, 2010. C. Neiner, G. Wade, G. Meynet & G. Peters, eds. <http://arxiv.org/abs/1010.2248>.
64. Josiah Schwab, Philipp Podsiadlowski, Saul Rappaport. Further Evidence for the Bimodal Distribution of Neutron Star Masses. 23 Jun 2010, <http://arxiv.org/abs/1006.4584>.
65. Feryal Ozel, Gordon Baym, Tolga Guver. Astrophysical Measurement of the Equation of State of Neutron Star Matter. 16 Feb 2010. <http://arxiv.org/abs/1002.3153>.
66. Alessandro Drago, Andrea Lavagno. Masses and radii of neutron and quark stars. 2 Apr 2010. <http://arxiv.org/abs/1004.0325v1>.
67. James M. Lattimer, Edward F. Brown. The Equation of State from Observed Masses and Radii of Neutron Stars. 9 Sep 2010. <http://arxiv.org/abs/1005.0811>.
68. Akmal A, Pandharipande V. R, Ravenhall D. G. Phys. Rev. C, 1998, Vol. 58, P. 1804.
69. A. R. Hadjesfandiari. New perspectives on the classical theory of motion, interaction and geometry of space-time. 23 Nov 2010. <http://vixra.org/abs/1011.0058>.
70. Физика космоса. – М.: Сов. энциклопедия, 1986.
71. Fleischmann, Martin; Pons, Stanley. Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium. Journal of Electroanalytical Chemistry, 1989, Vol. 261 (2A), P. 301–308, [doi:10.1016/0022-0728\(89\)80006-3](https://doi.org/10.1016/0022-0728(89)80006-3).
72. S. Focardi and A. Rossi. A new energy source from nuclear fusion. Journal of nuclear physics. 28 Feb 2010. <http://www.journal-of-nuclear-physics.com/?p=66>.
73. Andrea Rossi. (WO/2009/125444) METHOD AND APPARATUS FOR CARRYING OUT NICKEL AND HYDROGEN EXOTHERMAL REACTIONS. <http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?WO=2009125444&IA=IT2008000532>.
74. U. V. S. Seshavatharam and S. Lakshminarayana. AGNI - Avagadro's Gravity for Nuclear Interactions. 1 Nov 2010. <http://www.journal-of-nuclear-physics.com/?p=316>.
75. Mohr, Peter J.; Taylor, Barry N.; Newell, David B. (2008). "CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2006". *Rev. Mod. Phys.* **80**: 633–730. <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/codata.pdf>.
76. J. Dufour. “Very sizeable increase of gravity at pico-meter distance: a novel working hypothesis to explain anomalous heat effects and apparent transmutations in certain metal hydrogen systems”. J. of condensed matter nuclear science, 2007, Vol. 1, P. 47-61. <http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/away.php?t=http%3A%2F%2Fwww.lenr-canr.org%2Facrobat%2FBiberianJPjcondensed.pdf>.
77. Oldershaw R.L. Discrete Scale Relativity. Astrophysics and Space Science, 2007, Vol. 311, N. 4, P. 431-433. DOI: 10.107/s10509-007-9557-x. <http://arxiv.org/abs/physics/0701132v3>.
78. Lienard A. M. L'Éclairage électrique **16**, 5, 53, 106 (1898).
79. Wiechert E. Archives néerl., 2nd series, **5**, 549 (1900).

80. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 6. Электродинамика. – М: Мир, 1977.