

НЕЙТРИННЫЙ ФОН И КРИВЫЕ ВРАЩЕНИЯ ГАЛАКТИК

Мычелкин Э.Г., Денисюк Э. К.

Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова

Национального центра космических исследований и технологий, Алматы 050020,
Казахстан

Обсуждаются теоретические и экспериментальные вопросы, связанные с феноменом темной материи во Вселенной. В качестве реалистической модели темной материи предлагается тахионный нейтрино-антинейтринный фон, для которого, в частности, имеет место соответствие с эмпирическим законом [7] о постоянстве так называемой поверхностной плотности масс. Приводятся необходимые оценки для реализации астрономических измерений эмиссионной водородной линии лайман-альфа на спектрографе с широкой щелью с целью исследования широко распределенных в межгалактическом пространстве масс, включая нейтринную темную материю.

Введение.

Для объяснения существования наблюдаемого по рентгеновским и УФ измерениям огромного количества горячего газа в скоплениях галактик необходимо допустить наличие в этих скоплениях более или менее локализованных скрытых масс, потому что в отсутствие скрытой «темной материи», создающей дополнительное притяжение, эти горячие газы давно бы испарились.

Тёмная материя (ТМ) в целом правильно предсказывает результаты наблюдений так называемой «гравитационной фокусировки» (гравилинзирования).

ТМ также наиболее корректно подойти к фундаментальному вопросу о происхождении космологических структур – галактик и их систем.

Решающим астрофизическим фактором, который собственно и привел к открытию феномена скрытой массы, или темной материи, было (и есть) систематическое отклонение от механики Ньютона для наблюдаемых движений [1] разных объектов на больших расстояниях от центра притяжения систем (см. разделы 3-4). Поэтому точный характер указанного отклонения требует дальнейшего тщательного экспериментального исследования, для чего, в частности, здесь предлагается новый оригинальный метод измерений кривых вращения в галактиках (см. раздел 5).

Существует множество моделей ТМ, но адекватной может быть лишь одна. В том смысле, что истина всегда одна. В качестве наиболее реалистической теории здесь, как и в [6], рассматривается модель ТМ в форме тахионного нейтрино-антинейтринного конгломерата (или, проще, нейтринного фона – см. раздел 1 с подразделами 1.1, 1.2, 1.3 и 1.4).

1. Тахионный нейтринный фон в качестве модели темной материи.

Это новая и, даст Бог, окончательная модель ТМ. В каком-то смысле это – возврат к старому, к нейтрино. Другой проникающей, то есть слабо взаимодействующей с веществом частицы, пригодной для описания ТМ, в данный момент не обнаружено, хотя многие еще надеются на Суперколлайдер.

В 1930 г. нейтрино придумал Паули, а в 1934 г. ввел в физику слабых взаимодействий Ферми. Экспериментально (электронное) нейтрино открыли лишь в 1956-том. Вначале, и еще долго (по Стандартной модели), нейтрино были безмассовыми, то есть световыми (по скорости) частицами. Затем у них обнаружили массу, и процесс пошел.

Говоря о тахионном поведении нейтрино, мы, разумеется, не допускаем какого-либо нарушения принципов причинности. Речь может идти лишь о вполне корректных тахионных представлениях группы Лоренца.

1.1 Особенности брадионного нейтрино-антинейтринного конденсата.

Как известно, одним из первых в качестве естественного кандидата на роль темной материи предлагались брадионные (то есть обычные досветовые) нейтрино, обладающие «массой покоя». При этом подразумевалось, что нейтрино-антинейтринный фон («море» свободных нейтрино и антинейтрино) образовался в радиационно-доминированной Вселенной в период лептогенеза в результате аннигиляции лептонов на пороге термодинамически равновесных реакций типа: $e^+ + e^- \leftrightarrow \nu + \bar{\nu}$. Нейтрино отделялись при температурах около $T \leq 1\text{MeV}$, что соответствует космологическим красным смещениям порядка $Z \leq 6 \times 10^9$.

Будучи фермионами, рождающиеся свободные нейтрино (и антинейтрино) подчинялись равновесному распределению Ферми, температура которого затем неуклонно снижалась по мере расширения нашей Вселенной. Позднее, то же самое стало происходить с планковским распределением реликтовых фотонов, рожденных в период рекомбинации водорода. Поскольку фоновые нейтрино образовались раньше, их температура в нашу эпоху $T(\nu) = (4/11)^{1/3} T(\gamma) \approx 2.1^\circ\text{K}$ оказывается меньше температуры микроволнового космического излучения $T(\gamma) \approx 2.73^\circ\text{K}$.

Для оценки возможного вклада нейтрино в темную материю решающее значение имеет их масса m_ν . Так, по самым последним данным [2], если бы массы нейтрино всех типов в среднем превышали 1.5eV , то конденсата реликтовых нерелятивистских нейтрино трех типов («поколений») было бы достаточно для объяснения значительной доли темной материи во Вселенной.

Однако, в течение ряда лет, начиная с известных экспериментов по бета-распаду трития (реакция ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + e^- + \bar{\nu}_e$) и кончая последними данными по нейтринным осцилляциям, оценки масс нейтрино неуклонно ползут вниз от масштабов порядка несколь-

ких eV вплоть до значений порядка meV ($1\text{meV} = 10^{-3}\text{eV}$). В итоге вклад такого фермионного фона в темную материю оказывается всего лишь порядка процента.

Это невеселое обстоятельство вынуждает представлять в качестве кандидатов на роль темной материи экзотические массивные частицы типа вимпов (wimp's), в избытке поставляемые современными суперсимметричными расширениями Стандартной модели в физике частиц, либо гипотетические сверхлегкие псевдоскалярные аксионы, или виспы (wisp's).

Есть еще и другие варианты. В корне модифицировать современную теорию гравитационного взаимодействия которых, мы здесь не касаемся.

1.2 Ожидаемые характеристики тахионного нейтрино-антинейтринного фона.

Ситуация меняется кардинально, если в соответствии с возникающими в последнее время тенденциями, принять, что свободные нейтрино могут распространяться как тахионы, обладающие массой.

Только при таком подходе, привлекая тахионные представления группы Лоренца, можно естественным образом совместить надежно вытекающую из экспериментов с осцилляциями конечность масс нейтрино с требованиями киральности, то есть с тем фундаментальным фактом, следующим из экспериментов по нарушению четности в слабых взаимодействиях, что все нейтрино – левые частицы, а все антинейтрино – правые.

Однако в случае тахионов каноническое квантование не работает, и потому свободные нейтрино больше не подчиняются равновесной статистике Ферми. При достаточно высоких энергиях все процессы с рождением тахионных нейтрино, включая уже упомянутые реакции $e^+ + e^- \leftrightarrow \nu + \bar{\nu}$, становятся практически необратимыми: $e^+ + e^- \rightarrow \nu + \bar{\nu}$. Это означает появление дополнительной тахионной составляющей материи, плотность

которой с самого начала имеет тенденцию возрастать.

Вследствие указанной необратимости локальное термодинамическое равновесие должно нарушаться (в смысле распределения Ферми). Однако, в случае свободных нейтрино, понимаемых как эффективно классические частицы, можно, в принципе, говорить о результирующем релятивистском (тахсионном) распределении Ютнера (или его дискретном аналоге – распределении типа Тцалиса). Но, вообще говоря, в случае не-термальности нельзя исключить, что какая-то часть нейтрино может соответствовать, например, некоторому степенному распределению, аналогичному синхротронному излучению. Этот вопрос требует специального исследования.

Во всяком случае, понятно, что свободные тахионные нейтрино всех типов практически не могут аннигилировать при дальнейшем расширении Вселенной. Зато теперь они способны с самого начала непрерывно накапливаться без каких-либо ограничений (как и гипотетические аксионы) вплоть до плотности, соответствующей темной материи, то есть до величин порядка $\approx 23\%$ от известной критической плотности во Вселенной $\varepsilon_{cr} \sim (10^{-3} eV)^4 \approx 10^{-29} g/cm^3$.

Вследствие того, что свободные тахионные поля нейтрино канонически не квантуются, нейтрино не могут образовывать куперовские пары, так что образование «классического» нейтринного конденсата вообще невозможно.

В то же время три поколения нейтрино («нейтринное море», в которое погружена вся «барионная» материя) могут восприниматься как нейтрино-антинейтринный конгломерат (не конденсат!), который можно описать как эффективное гравитирующее скалярное или псевдоскалярное поле $\Phi = \Phi(\nu, \bar{\nu})$ (см. ниже).

1.3 Спинорное представление эффективно скалярного нейтринного конгломерата.

Темную энергию можно представлять скалярным полем, являющимся суперпозицией квазистатических полей [3], производимых электрическими зарядами разных знаков:

$$\sqrt{2}\phi = \phi_+ + \phi_- .$$

Аналогично можно поступить и в случае нейтрино. Проблема в том, как преобразовать изначально спинорные поля нейтрино и антинейтрино в наблюдаемое эффективное вещественное поле скалярного типа.

С этой целью, по аналогии с комплексными скалярными полями, мы представляем поле, образованное левыми нейтрино и правыми антинейтрино трех поколений ($i = (1, 2, 3)$) бикомплексным спинором:

$$\Psi_i = \nu_i + i\bar{\nu}_i \quad (*)$$

Упуская далее для простоты нижний индекс в анзаце (*) (или, что то же, ограничиваясь одним поколением лептонов) и выписывая эрмитово-сопряженный член, имеем

$$\Psi = \nu + i\bar{\nu}, \quad \Psi^+ = \nu^+ - i\bar{\nu}^+ .$$

Здесь, как обычно, нейтрино описывается левым дираковским спинором:

$$\nu = \psi(\nu) = \psi_L = P_L \psi = \frac{1}{2}(1 - \gamma^5)\psi ,$$

а антинейтрино – правым:

$$\bar{\nu} = \psi(\bar{\nu}) = \psi_R = P_R \psi = \frac{1}{2}(1 + \gamma^5)\psi .$$

Отсюда для скалярного поля, составленного квадратично из свободных спинорных полей нейтрино ν и антинейтрино $\bar{\nu}$, находим:

$$\Psi = \nu + i\bar{\nu} \Rightarrow \Phi = \Psi^+ \Psi = \nu^2 + \bar{\nu}^2, \quad (**)$$

где $\nu^2 = \nu^+ \nu = \psi_L^+ \psi_L$, $\bar{\nu}^2 = \bar{\nu}^+ \bar{\nu} = \psi_R^+ \psi_R$ и, как можно показать, перекрестные члены исчезают: $\nu^+ \bar{\nu} = \psi_L^+ \psi_R = 0$, $\bar{\nu}^+ \nu = \psi_R^+ \psi_L = 0$.

Заметим, что при использовании дираковски-сопряженных (типа $\bar{\nu} = \psi^+ \gamma^0$) величин вместо эрмитово-сопряженных ситуация обратная – квадратичные члены исчезают, а перекрестные отличны от нуля. Но это нарушает киральность и неприемлемо для тахионных нейтрино. Именно отсюда следует анзац (*) $\Rightarrow (**)$.

Аналогично, с помощью дираковских матриц γ^5 можно определить псевдоскалярное представление для нейтрино-антинейтринного конгломерата. Тогда вместо (**) получим:

$$\Phi = \Psi^+ \gamma^5 \Psi = -\nu^2 + \bar{\nu}^2, \quad (***)$$

где при вычислении правой части учтено, что $\gamma^5 P_L = -P_L$. Однако скалярный вариант (**) представляется наиболее адекватным.

1.4 Особенности тахионного нейтрино-антинейтринного конгломерата

• Итак, второе (после антискалярного, или «статонного» фона, соответствующего темной энергии [3]) фундаментальное гравитирующее поле скалярного типа

$$\Phi = \Psi^+ \Psi = \nu^2 + \bar{\nu}^2, \quad \Psi = \nu + i\bar{\nu}$$

может полностью отвечать за феномен темной материи. Это скалярное массивное тахионное ($m^2 < 0$) поле с минимальным лагранжианом

$$L = \frac{1}{2}(\partial^\mu \Phi)^2 + \frac{1}{2}m_\nu^2 \Phi^2.$$

• Очевидно, Φ – поле может обладать практически нулевым сублептонным (или, по Зельдовичу, «нейтринным») $(\nu - \bar{\nu})$ -зарядом, аналогично электрически нейтральному (в незаряженной Вселенной) антискалярному полю темной энергии [3]: $\phi \sim (\phi_+ + \phi_-)$.

• Минимальный энергетический масштаб для нейтрино-антинейтринного поля определяется массой нейтрино порядка $m_\nu \sim (10^{-3} - 10^{-2}) eV$.

• Существенно, что при доступных значениях энергий буст-фактор нейтрино $E/m_\nu c^2$ при $m_\nu \sim 10^{-3} eV$ всегда настолько велик, что типичные скорости нейтрино чрезвычайно близки к скорости света (хотя и несколько ее превышают). Таким образом, тахионные нейтрино в эксперименте кинематически трудно отличить от обычных ультрарелятивистских частиц той же массы.

• Следует подчеркнуть, что отмеченное свойство нейтрино кардинально отличает их от гипотетических, но с необходимостью

введенных [3] (следуя Швингеру) носителей квази-статических электрических полей («статонов») темной энергии, скорости которых на много порядков превышают скорость света. Статоны представляют собой так называемые *трансцендентальные* тахионы, субчастицы, не являющиеся обычными элементарными частицами, отвечающими определенным представлениям группы Лоренца.

• Введенный здесь универсальный нейтрино-антинейтринный фон является гравитирующим скалярным тахионным полем, и как таковой должен входить в уравнения Эйнштейна общей теории относительности с соответствующим тензором энергии-импульса [6], вытекающим из вышеприведенного тахионного лагранжиана.

Этот самостоятельный вопрос в дальнейшем будет рассмотрен подробно.

2. Характерные размеры нейтринных гало.

Тахионный нейтрино-антинейтринный фон, будучи гравитирующей средой с заданной плотностью, должен создавать дополнительное притяжение и тем самым индуцировать образование субгало обычной материи и крупномасштабных структур во Вселенной.

Однако, вследствие тахионности Φ – поле, то есть сами нейтрино, не должны сгущиваться в компактные области (субгало).

В дальнейшем это должно быть подтверждено наблюдениями гравитационных эффектов ТМ во всех спектральных диапазонах, от УФ до радио-данных.

В частности, кривые вращения должны продолжать показывать отклонение от Ньютона (насыщение) на максимально доступных для наблюдений расстояниях.

Вышеуказанный минимальный (по массе) характерный масштаб $m_\nu \sim 10^{-3} eV$ позволяет оценить максимальную эффективную концентрацию частиц нейтрино в пространстве. Поскольку указанный масштаб соответствует (в естественных единицах

$\hbar = c = 1$) обратной длине: $10^{-3} eV = 1 meV \approx 0.5 \cdot 10^2 cm^{-1}$, то отсюда следует, что эффективная концентрация частиц, соответствующая критической плотности энергии $(10^{-3} eV)^4$ будет равна $1 meV^{-3} \approx 1.25 \cdot 10^5 cm^{-3}$. Тогда достаточная концентрация всех нейтрино в темной материи оказывается приблизительно в 4-5 раз меньше критического значения, то есть $n_\nu \approx (2.5 \div 2.9) \cdot 10^4 cm^{-3}$, что и требовалось.

Дальнейшие оценки показывают [6], что характерные размеры нейтринных гало имеют при этом порядок Мпс.

3. Насыщение кривых вращения для галактических систем.

Как известно, существование ТМ впервые постулировал в 1932г. Оорт для объяснения движения звезд перпендикулярно галактической плоскости. Затем в 1933г. Цвикки указал на необходимость ТМ в скоплениях галактик для объяснения наблюдаемого движения самих галактик.

В 1970г. Форд и Рубин открыли так называемый эффект насыщения кривых вращения, состоявший в том, что скорости периферийных звезд в спиральных галактиках оказываются постоянными ($v \approx const$) вплоть до самых больших радиальных расстояний, что уже в корне противоречило ньютоновской механике.

Действительно, вдали от центра скопления гравитирующих масс устойчивое движение пробного тела произвольной массы m под действием силы Ньютона $F_N = GMm/r^2$ должно быть уравновешено центробежной силой $F_c = mv^2/r$. Отсюда следует, что тангенциальная скорость должна убывать обратно пропорционально корню квадратному из расстояния: $v \sim 1/\sqrt{r}$.

К таким же выводам приводит применение известной теоремы вириала о равенстве удвоенной средней кинетической энергии пробного тела его потенциальной энергии в центральном поле сил. Это все находится в

явном противоречии с наблюдаемым во всех галактиках, включая наш Млечный путь, фактическим отсутствием зависимости скоростей от радиальных расстояний: $v \approx const$.

Простейшее объяснение состоит в том, что галактики содержат гораздо большие массы, чем это следует из оптических наблюдений галактических дисков, и эти массы должны быть «размазаны» в пространстве на значительные расстояния.

Именно таким образом астрономы и пришли к открытию феномена ТМ.

Например, даже в простейшем случае однородного распределения материи внутри сферы радиуса R гравитационный потенциал внутри сферы, то есть при $r < R$, имеет вид $\varphi = GM(r^2 - 3R^2)/2R^3$, что приводит даже к возрастанию скоростей вращения с расстоянием. В то же время вне сферы, то есть при $r \geq R$, потенциал, как и следовало, снова становится ньютоновским: $\varphi = -GM/R$, то есть теперь (в отсутствие ТМ) снова должно быть $v \sim 1/\sqrt{r}$. Но этого не происходит. Соответствия с наблюдениями добиваются специальным подбором распределений темной материи.

В дальнейшем оптические наблюдения эффекта насыщения кривых вращения в видимой области были расширены измерениями в радиодиапазоне.

Так, в 1980г. Рубин, Тоннард и Форд связали с темной материей не только наблюдаемое в оптике движение периферийных звезд, но и еще более удаленных водородных облаков в галактиках.

Принято считать, что гравитирующая ТМ сгущается в гало как вокруг галактик, так и скоплений галактик. Эти «гало» ТМ традиционно обнаруживают себя, в наблюдениях эффекта насыщения кривых вращения и по эффектам линзирования в разных диапазонах спектра.

Наибольшее удаление от центра тяжести галактики или скопления галактик допускают облака водорода, которые можно наблю-

дать, в частности, в радиодиапазоне – в линии 21 см нейтрального атомарного водорода HI.

В качестве примера на рисунке 1 представлен по данным обзора [1] профиль кривых вращения для M31 – спиральной галактики Местной группы («Гуманность Андромеды»).

Сравнительная оценка эффекта насыщения кривых вращений, наблюдаемых в гало темной материи для разных диапазонов спектра с учетом эффектов поглощения и точности измерений, говорит в пользу радиоданных. Радиоизмерения способны нести информацию о масштабах, иногда на порядки и больше превышающих размеры оптически видимых областей, то есть как раз о динамике на интересующих нас максимальных расстояниях, обозначенных стрелкой на рисунке 1.

Здесь конечно, имеется ввиду широчайшая распространенность во Вселенной атомарного водорода (для некоторых объектов более 95%), как индикатора неньютоновой динамики.

Однако не следует забывать, что для также весьма распространенного молекулярного водорода в диффузной межзвездной среде единственную реальную возможность прямого исследования предоставляет ультрафиолетовый (УФ) диапазон.

4. Измерения в галактических системах в УФ-диапазоне.

Наблюдения эффекта насыщения кривых вращения в эмиссионных линиях и линиях поглощения ультрафиолетовой части спектра должны соответствовать данным, полученным в видимом и радио-диапазонах и давать дополнительную информацию. Однако эти измерения обычно сильно затруднены сильным поглощением ультрафиолета в атмосфере Земли и приводят к необходимости проведения наблюдений со спутников,

что составляет также и нашу задачу по проекту ВКО-УФ.

Следует отметить, что весьма распространенный молекулярный водород H_2 абсолютно не наблюдаем в оптике. В диффузной межзвездной среде молекулы H_2 обычно находятся в основном и возбужденном состояниях, разделенных по энергии интервалом в 11.2 eV, которому соответствует эмиссия в линии Лайман-альфа дальнего УФ диапазона $L_{\alpha} - 1216\text{\AA}$ (точнее – 1215.67\AA). С учетом расщепления на всевозможные колебательные и вращательные уровни образуется так называемый лаймановский континуум с нижним пределом $\lambda \geq 912\text{\AA}$ (по энергии $\leq 13.56\text{ eV}$), с которым и приходится иметь дело на практике.

Наблюдения сильной L_{α} - эмиссии имеют важное значение в астрономии. Это связано, в частности, с тем что L_{α} - эмиссия непрерывно возникает во многих галактиках с интенсивно идущими процессами звездообразования. Эти процессы происходят, в зависимости от конкретных условий, с самыми разными скоростями (от медленной эволюции до процессов взрывного характера), и в настоящее время являются предметом специального изучения для разных астрономических школ.

Возможности астрономических УФ измерений далеко не исчерпаны. Необходимость дальнейшего тщательного проведения таких работ для уточнения характеристик темной материи постоянно возрастает. В следующем разделе представлена оригинальная методика наблюдений смещенной в красную сторону водородной эмиссии в линии L_{α} .

5. Методика измерений эмиссионной водородной линии лайман-альфа на спектрографе с широкой щелью.

Наиболее надежным способом измерения масс индивидуальных галактик явля-

ется наблюдения их спектров методом длинной щели.

Другие методы, например метод измерения масс с использованием лучевых скоростей отдельных галактик, входящих в группы или пары, менее надежен. Галактики могут быть и гравитационно не связанными, а их движения, получаемые с использованием лучевых скоростей, сильно отличающимися от реальности, т.к. модули их скоростей неизвестны.

При использовании длинной щели получают кривую вращения, которая отображает кеплеровское вращение галактики при вполне обоснованных предположениях.

Обычно принято считать, что галактика стационарна, и ее внешние области вращаются по круговой орбите вокруг массы галактики, отнесенной к ее центру. При этом по видимому сжатию легко определить наклон плоскости симметрии галактики к лучу зрения и таким образом получить значение абсолютной скорости.

Так как и самые внешние области принадлежат, разумеется, той же галактике, а измеряется лишь масса, лежащая внутри радиуса, где эти области расположены, желательнее измерять лучевые скорости как можно более удаленных от центра областей, масса которых мала по сравнению с полной массой галактики.

Плотность звездного населения быстро падает к краю галактики, поэтому получить континуум от звезд, чтобы измерить там лучевые скорости по линиям поглощения, практически невозможно. На краю галактик можно регистрировать лишь эмиссионные линии от наиболее распространенного элемента – водорода.

Радиоастрономическими методами регистрируется, например, линия нейтрального водорода на длине волны 21 см. Однако не всегда водород присутствует на окраинах галактик в достаточном количестве и в неионизованном состоянии.

Встречаются также галактики с частично ионизованными водородными облаками на далеких окраинах. При этом кривые вращения измеряют с Земли по линиям водорода H_α и H_β .

Наиболее мощной линией является L_α (1216 Å), которая обычно должна быть самой интенсивной в водородной среде. Однако она лежит в далекой ультрафиолетовой области спектра и сильно поглощается в атмосфере. Эта линия регистрируется на ультрафиолетовых орбитальных телескопах, но для кривых вращения не очень далеких галактик мало пригодна, так как рассеивается и поглощается диффузной материей в Галактике.

Регистрация кривых вращения по этой эмиссии должна быть перспективной для галактик с достаточно большим красным смещением, когда исследуемая галактика по угловому размеру еще достаточно велика, а ее эмиссия в L_α уже сместилась настолько, что не рассеивается в Галактике.

Именно таким методом можно, в принципе, исследовать наиболее далекие окраины галактик по сравнению с измерениями, проводимыми в видимой области, и изучать такие тонкие эффекты, как, например, наличие распределенной массы в межгалактическом пространстве.

В качестве источника ионизации водородных облаков на больших расстояниях от центра прежде всего можно было бы рассчитывать на ядра квазаров, которые являются самыми мощными излучателями электромагнитной энергии во Вселенной.

Однако практически все квазары большой светимости находятся далеко от нашей Галактики. Поэтому полный угловой размер галактик, принадлежащих большинству квазаров, оказывается меньше, чем доступное угловое разрешение. Для того, чтобы оценить максимальное расстояние, на котором еще возможно по телу галактики разместить хотя бы несколько точек (для измерения

в этих точках лучевых скоростей), очевидно, следует использовать хорошо известные размеры более близких галактик.

Так, если считать галактики Сейферта по размерам такими же, как и галактики, ок-

ружающие ядра квазаров, то можно оценить угловое разрешение аппаратуры, необходимое для регистрации кривой вращения квазаров.

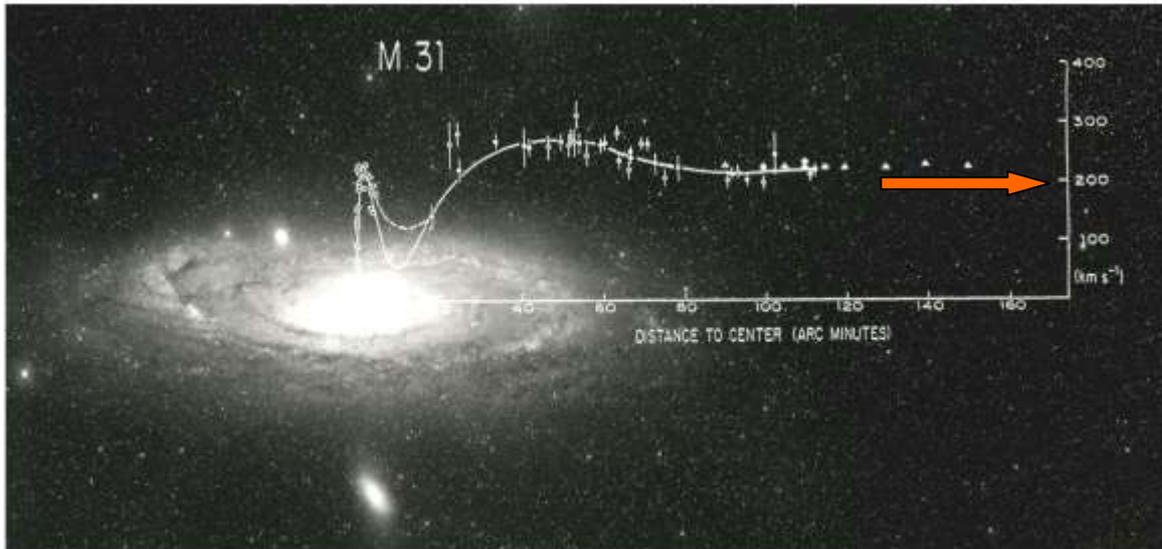


Рисунок 1. Кривые вращения галактики М31 (снимок сделан на хаббловском телескопе) согласно оптическим (точки) и радиоданным (треугольники). Стрелка указывает на интересующее нас направление в сторону максимальных радиальных расстояний.



Рисунок 2. Обнадеживающий факт: объект IC 0657-56. Слияние скоплений галактик (по данным NASA/Chandra Press Release, 2006). Красный цвет – X Ray gas (максимальная видимая часть), голубой цвет – пиковые значения гравитационного потенциала по данным линзирования. Эти данные означают наличие (темной) материи на масштабах Mpc. Самое грандиозное событие ($E \sim 10^{65}$ эрг) со времен Большого взрыва и самый масштабный феномен ТМ.

В качестве примера можно взять сейфертовскую галактику NGC4151. Ее полный видимый по изофоте 25 зв.вел./(")² радиус составляет 180", а красное смещение 0.0033 [4]. Если кривую вращения достаточно построить по 10 точкам с шагом в 1", т.е. радиус галактики – квазара должен быть порядка 10", тогда квазар для построения кривой вращения должен иметь $Z \leq 0.06$.

Если же использовать телескоп с угловым разрешением 0."1, например, орбитальный, максимальное Z будет порядка 0.6. Минимальное красное смещение можно оценить, если учесть то обстоятельство, что для того, чтобы избежать рассеяния L_α -квантов в Галактике, эти кванты должны иметь красное смещение, соответствующее не менее 800-1000 км/сек.

Таким образом, оказывается, что красное смещение галактики, для которой можно по линии L_α строить кривую вращения, должно лежать в интервале $0.003 < Z < 0.6$.

Ионизовать водород на больших расстояниях от центра могут также случайно оказавшиеся там молодые горячие звезды, или новые и сверхновые.

Итак, поиск перспективных галактик, у которых кривые вращения можно наблюдать на максимально больших расстояниях от центра, полезно искать по картам неба, полученным со спутников в спектральном интервале 1300 – 2000 Å.

4. Заключение.

Специальный интерес представляют новейшие работы по статистическому (корреляционному) анализу характеристик УФ излучения от скоплений галактик, находящихся на разных стадиях эволюции [5].

Здесь речь идет, прежде всего, о галактиках с интенсивными процессами звездообразования, при больших красных смещениях ($Z \sim 4, 5, 6$).

Эти данные позволяют, в частности, сделать выбор между различными моделями

процессов звездообразования на фоне темной материи, уточнить параметры гало, выявить эффекты субгало ТМ, если таковые имеют место, или отвергнуть их, и так далее.

Наиболее наглядным подтверждением существования ТМ являются наблюдения эффектов гравитационного линзирования, которые позволяют по восстановленному в пространстве распределению гравитационного потенциала получить представление о реальной протяженности темной материи (см. Рис. 2).

В то же время имеются и нерешенные проблемы, которые стимулируют поиск наиболее адекватных подходов (см. раздел 1).

Например, так называемая «проблема порогового гало» (cuspy halo problem). Это вызов теории темной материи, или, по меньшей мере, её самой популярной модели – холодной темной материи (CDM), который возникает в результате анализа центров галактик с пониженной поверхностной яркостью. Моделирование на основе «холодной темной материи» предсказывает определенную форму кривых вращения в центре систем с преобладанием холодной темной материи, но наблюдения фактических кривых вращения не показали предсказанной формы. Имеются и другие проблемы.

Предложенный в разделе 5 метод спектральных измерений кривых вращения водорода с использованием длинной щели спектрографа эффективен для галактик с заметным красным смещением, когда исследуемая галактика по угловым размерам еще достаточно велика, а ее L_α уже сместилась в красную сторону настолько, что не рассеивается в Галактике и доходит до наблюдателя. Метод предназначен для исследования наиболее далеких окраин галактик (по сравнению с измерениями в видимой области) с целью выявления распределенной массы в межгалактическом пространстве, что и ожидается на основе нейтринной природы темной материи.

Рассмотренная здесь модель тахионного нейтрино-антинейтринного фона представляет интерес и в том отношении, что для нее, как можно показать [6], имеет место соответствие с недавно открытой уникальной эмпирической закономерностью, которая представляет постоянство поверхностной плотности масс для гало ТМ вокруг множества из-

меренных (более тысячи) спиральных галактик [7].

Во всяком случае, тахионная нейтринная модель – это сегодня практически единственная возможность объяснить ТМ, не привлекая новых экзотических полей и частиц, и не модифицируя сколько-нибудь кардинально существующую теорию.

Литература. [1]. *Primack J.R.* Dark Matter and Galaxy Formation. /ArXiv: astro-ph/0909.2021, P. 1-37. [2]. *Nieuwenhuizen Theo M.* Do Non-Relativistic Neutrinos Constitute the Dark Matter? /Europhysics Letters **86** (2009) 59001. [3]. *Мычелкин Э.Г.* Уравнения состояния антискалярного поля. /Журнал проблем эволюции открытых систем. Алматы. Эверо. 2009. Выпуск 11 (том 1). С. 49-57. [4]. *Липовецкий В.А., Неизвестный С.Н., Неизвестная О.М.* «Каталог сейфертовских галактик». /Издание САО АН СССР. Сообщения САО. Выпуск № 55, 1987. С. 1-31. [5]. *Lee K-S et al.* Mapping the Dark Matter from UV Light at High Redshift: an Empirical Approach to Understand Galaxy Statistics. /Preprint: Yale Center for Astronomy and Astrophysics, New Haven, 2009. P. 1-25. [6] *Mychelkin E.* Two fundamental fields/MG12: Twelfth Marcel Grossman Meeting. Paris, UNESCO, 12-18 July 2009. <http://www.icra.it/MG/mg12> Parallel Session MGAT3b (Theoretical Issues in GR), July 16. (в печати). [7]. *Donato F. et al.* A constant dark matter halo surface density in galaxies. /ArXiv: astro-ph/0904.4054. 27 Apr 2009.

Принято в печать 25.08.09

УДК 524.8+530.12

НЕЙТРИННЫЙ ФОН И КРИВЫЕ ВРАЩЕНИЯ ГАЛАКТИК

Мычелкин Э.Г.*, Денисюк Э. К.

*Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова
Национального центра космических исследований и технологий,
Алматы, Казахстан*

**E-mail: mych@topmail.kz and mych@aphi.kz*

Обсуждаются теоретические и экспериментальные вопросы, связанные с феноменом темной материи в форме тахионного нейтринного фона в нашей Вселенной.

THE NEUTRINO BACKGROUND AND ROTATION CURVES OF GALAXIES.

Mychelkin E.G., Denisyuk E.K.

*Fesenkov Astrophysical Institute (API) of National Center of Space Researches and Technologies,
Almaty, RK*

We consider the theoretical and observational problems connected with the supposed tachyon neutrino dark matter background phenomenon in the Universe.

НЕЙТРИНОЛЫКНЫН ФОНАСЫ ЖЭНЕ ГАЛАМДАРДЫН АЙНАЛДЫРУ КИСЫГЫЛАР.

Мычелкин Э.Г., Денисюк Э. К.

В.Г. Фесенков атындагы Астрофизика институты. УФЗТО

Нейтринонын тахионлык фондайдын турлі карангы материясынын жана модельдін теориялык пен эксперименталык мәселері корсетілген.