

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 64

НОЯБРЬ, 2021

ВЫПУСК 4

РАСХОЖДЕНИЕ МЕЖДУ ЗНАЧЕНИЯМИ ПОСТОЯННОЙ ХАББЛА, ПОЛУЧЕННЫМИ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ

Г.ААРУТЮНЯН

Поступила 2 июня 2021

Рассмотрен вопрос о расхождении значений постоянной Хаббла, определенных для "ранней" и "поздней" Вселенной. Отмечается, что в определении первого значения физические свойства барионной материи не фигурируют явным образом, тогда как во втором случае при определении этого же коэффициента используются скорости космических объектов, определяемые измерением красного смещения. Выдвигается гипотеза, что расхождение может быть связано с эволюцией барионной материи. Анализ показывает, что изменение массы атомных ядер и элементарных частиц на долю $6.67 \cdot 10^{-12}$ в год может привести к наблюдаемому расхождению. Этот результат согласуется с нашим предыдущим заключением об увеличении массы Солнца вследствие эволюции барионной материи.

Ключевые слова: темная энергия: взаимодействие: обмен энергией: барионная материя: эволюция

1. *Введение.* Уточнение постоянной Хаббла продолжается почти одно столетие. Исторически первым эту величину определил Леметр [1], который получил значение $625 \text{ км с}^{-1} \text{Мпк}^{-1}$. Через два года эту же величину определил также Хаббл [2], который получил $500 \text{ км с}^{-1} \text{Мпк}^{-1}$.

Первые существенные уточнения постоянной произошли лишь в середине 50-х годов, когда стали учитывать существование двух типов звездных населений, а также возможное влияние наблюдательной селекции [3-4]. Эти уточнения привели к значениям $260\text{--}280 \text{ км с}^{-1} \text{Мпк}^{-1}$. Важными вехами процесса уточнения этой величины можно считать также работы Хюмасона, Мэйола и Сэндиджа [5], Сэндиджа [6]. В работе [6] впервые было получено значение $75 \text{ км с}^{-1} \text{Мпк}^{-1}$, которое стало эталонным в течение достаточно долгого времени. Впоследствии Сэндидж с Тамманом продолжали работы с целью получить все более низкие значения (см., напр., [7-9]). Это по-видимому было продиктовано желанием обосновывать больший возраст Вселенной.

Новый этап уточнений постоянной Хаббла начался в 90-е годы прошлого столетия, когда было предложено много новых методов более точных измерений. Достаточно подробную информацию об этих проектах можно найти в обзорных статьях Хухры [10] и Джексона [11]. Здесь мы упомянем

лишь два проекта, которые выделяются своей последовательной и долгосрочной активностью. На наш взгляд таким является ключевой проект телескопа имени Хаббла по определению масштаба внегалактических расстояний.

Второе направление было связано с изучением структуры космического микроволнового фонового излучения (CMB - Cosmic Microwave Background). Здесь в одну группу объединяются проект WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe - Зонд имени Уилкинсона по изучению анизотропности микроволнового излучения), а также проект, Европейского космического агентства "Планк".

2. Современные наблюдательные данные. Постепенное уменьшение погрешностей измерений постоянной Хаббла неожиданно привело к расхождению этих значений, которое было названо напряженностью Хаббла (Hubble tension). При невысокой точности измерений исследователи были уверены, что расхождения являются результатом погрешностей измерений. Однако повышение точности привело к образованию двух групп значений, статистически отличающихся друг от друга на уровне $(4 \div 6)\sigma$.

Все значения группируются вокруг величин, полученных в рамках проекта SH0ES, с одной стороны, и спутником "Планк" - с другой. Поскольку микроволновое космическое излучение описывает пространственную и температурную структуру Вселенной в ранних этапах ее жизни, то постоянную Хаббла, полученную в рамках проекта "Планк", часто называют параметром ранней Вселенной. Соответственно, другое значение постоянной считается величиной поздней Вселенной. На рис.1 показаны заимствованные из [12] значения постоянной Хаббла с соответствующими величинами погрешностей.

В верхнем левом углу приведены значения постоянной Хаббла, полученные на основе параметров ранней Вселенной. Первое значение с точностью $67.4 \pm 0.5 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$ обеспечено данными спутника "Планк". Это значение поддерживает также некоторые другие проекты, изучающие структуру космического микроволнового фона. Такие измерения, сделанные, например, с помощью ACT (Atacama Cosmology Telescope), которых нет на приведенном рисунке, дают значение $67.9 \pm 1.5 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$ [13].

В средней части рисунка, приведены результаты, относящиеся к поздней Вселенной ($z \leq 1$), которые получены исследованием барионных объектов в различных галактиках. Проект SH0ES использовал цефеиды, H0LICOW - гравитационное фокусирование квазаров. Как следует из данных на рис.1, указанные проекты дают значения $74.0 \pm 1.4 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$ и $73.3 \pm 1.8 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$, соответственно. Наименьшее значение для поздней Вселенной получено, когда в качестве индикатора расстояния использована, так называемая, верхушка ветви красных гигантов (TRGB - Tip of the Red-Giant Branch). На рис.1 этот

результат обозначен через ССНР и численно равен $69.8 \pm 1.9 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$.

Результаты статистического сравнения значений постоянной Хаббла для

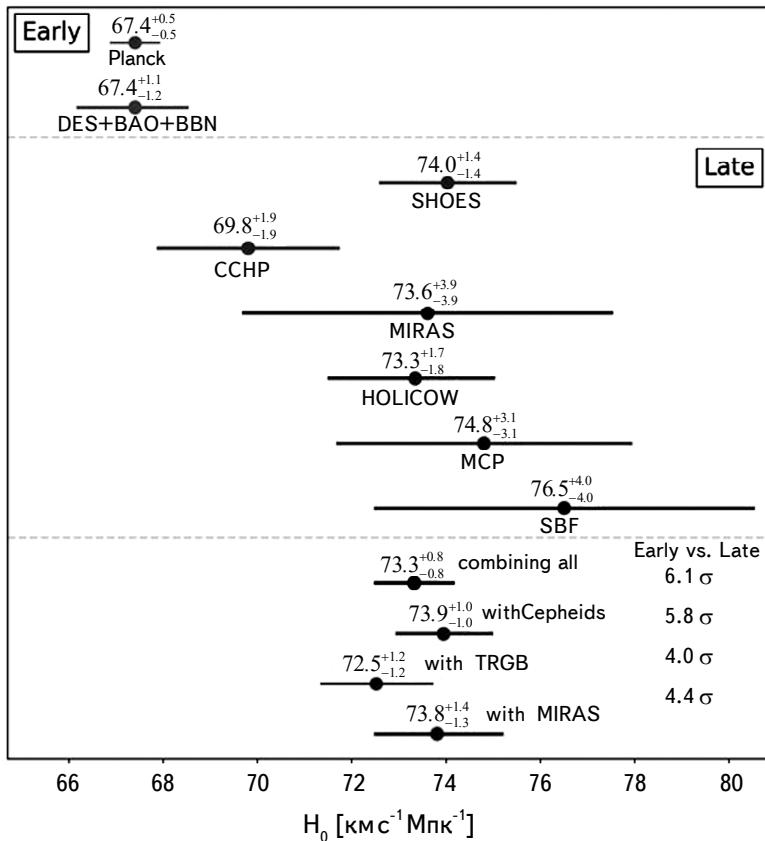


Рис. 1. Постоянная Хаббла, измеренная различными методами. В нижней части рисунка показано статистическое различие между значениями постоянной Хаббла, полученными для "ранней" и "поздней" Вселенной. Рисунок заимствован из [12].

ранней и поздней Вселенной показаны в нижней части диаграммы. Как видно из приведенных данных, эти значения, определенные для ранней и поздней Вселенной, отличаются на уровне $4\sigma \div 6\sigma$. Таким образом, расхождение между значениями постоянной Хаббла в настоящее время не вызывает сомнения.

Следует отметить, что все объективные данные свидетельствуют о том, что наблюдательный материал и методы обработки безупречны. С другой стороны, специалисты пока не находят изъяны в теоретическом обосновании Λ CDM модели. И тем не менее, на наш взгляд, есть один нюанс, который не учитывается: Λ CDM космология базируется на геометрии микроволнового излучения, а физические свойства барионной материи явным образом не

фигурируют в используемых уравнениях. То обстоятельство, что большое значение постоянной Хаббла получается именно для поздней Вселенной, наводит на мысль, что проблема может быть скрыта в эволюционных свойствах вещества, из чего состоят космические объекты.

При определении постоянной Хаббла в "близком" космосе измеряются расстояния галактик и их красные смещения. Численное значение постоянной Хаббла может получиться больше ее истинного значения, если красное смещение не является чисто доплеровским, но содержит некоторый компонент, который не связан со скоростью расширения.

3. Взаимодействие темной энергии с барионным веществом. Открытие ускорения расширения Вселенной в конце прошлого века [14,15] коренным образом изменило представление о причинно-следственных связях в расширяющейся Вселенной. Вместо первоначальных представлений о расширении вследствие первичного большого взрыва, новые данные свидетельствуют о существовании постоянной расширяющей силы. Такая физическая картина превращает космологическое расширение из прерогативы космологических масштабов в универсальное воздействие, которое должно наблюдаться во всех масштабах. Это следует непосредственно из того, что энергия, которая ускоряет расширение, по принятым сегодня представлениям, равномерно наполняет все пространство на всех масштабах.

Более того, эта энергия, которую назвали темной, была открыта на основе выявления ускорения разбегания галактик. А это доказывает, что она взаимодействует с обычной барионной материи. Этот факт имеет далеко идущие следствия, которые должны быть учтены в любом частном случае энергетического обмена между барионным веществом и носителем темной энергии. С целью получения самосогласованной картины должны быть учтены все законы, относящиеся к этому случаю.

Сегодня большинство исследователей считает, что взаимодействие носителя темной энергии с барионной материи происходит лишь гравитационным способом. Однако следует отметить, что нет никаких доказательств о запрещенности других типов взаимодействий. Например, нет веских аргументов против того, что темная энергия влияет на структурные особенности атомных ядер. В подобных случаях наиболее эффективным инструментом исследований становится мысленный эксперимент, с применением апробированного арсенала физики.

Такой подход был применен нами для рассмотрения некоторых частных задач данной области (см., например, [16-19] и ссылки в них). В этих работах сделана попытка рассмотрения физических процессов в рамках современной физики при самосогласованном применении известных законов природы. При

этом возможные эволюционные пути космических объектов различных иерархических уровней были рассмотрены с учетом эффектов воздействия темной энергии на барионную материю. В первую очередь, предполагалось, что любой процесс взаимодействия обычной барионной материи с носителем темной энергии происходит при сохранении второго закона термодинамики. Тогда, рассматривая энергетический баланс взаимодействия, мы должны были иметь в виду процесс обмена энергиями в свете упомянутого закона.

Действительно, тот факт, что при взаимодействии с барионными объектами некоторые порции темной энергии трансформируются в кинетическую энергию этих объектов, не вызывает сомнений. Еще раз подчеркнем, что именно благодаря этому эффекту было открыто ускорение расширения Вселенной и введено понятие темной энергии. То есть, ускорение расширения барионной Вселенной объясняется тем, что кинетическая энергия всех галактик увеличивается за счет темной энергии.

С другой стороны, мы должны иметь в виду, что любой целостный объект, а также стационарная система объектов всегда обладают отрицательной потенциальной энергией. В микромире аналогом отрицательной энергии может считаться дефект масс атомных ядер, что обеспечивает целостность ядра. Тогда, имея в виду второй закон термодинамики, приходим к выводу, что вследствие взаимодействия с носителем темной энергии, в барионные объекты могут влияться некоторые порции сугубо положительной темной энергии.

Как известно, гравитационная энергия, например, сферического однородного объекта с массой M и радиусом r выражается формулой

$$E_g = -\frac{3}{5}G \frac{M^2}{r}. \quad (1)$$

Вливание положительной энергии в такой объект, если такое действительно имеет место, должно привести к уменьшению абсолютного значения правой части выражения (1). Это может произойти лишь при условии, что увеличивается радиус объекта или уменьшается его масса. В общем случае, очевидно, что потенциальная энергия данного объекта может расти, если радиус объекта увеличивается быстрее, чем квадрат его массы.

При рассмотрении систем космических объектов, следует учитывать возможные изменения как кинетической, так и потенциальной энергий. Если рассмотрим простейшую систему, состоящую из двух объектов, то для полной энергии системы будем иметь

$$E = \frac{mv^2}{2} - G \frac{mM}{R} = T + U, \quad (2)$$

где m и M - массы движущегося и "неподвижного" объектов, R - расстояние между ними, v - линейная скорость вращающегося объекта, T - кинетическая

энергия и U - потенциальная энергия. Для стационарной системы, как известно, $E < 0$, а также согласно теореме о вириале

$$2T + U = 0. \quad (3)$$

При взаимодействии с носителем темной энергии увеличение энергии данной системы, как нетрудно видеть, может произойти вследствие возрастания кинетической энергии T , или уменьшения абсолютного значения потенциальной энергии U . Рассмотрим случай, когда увеличивается кинетическая энергия, а второй член остается без изменения. Тогда соотношение (3) нарушится и получим $2T + U > 0$, что справедливо для расширяющихся систем. Получается, что увеличение кинетической энергии приводит к расширению системы или росту расстояния между объектами. А рост расстояния приводит к уменьшению скорости второго объекта, что противоречит нашему предположению. Что касается возможности увеличения потенциальной энергии (при уменьшении абсолютного значения U), то такое может произойти либо при увеличении R , либо при уменьшении массы M . Уменьшение массы при вливании энергии не понятно с точки зрения физики. Тогда приходим к выводу, что происходит увеличение расстояния между объектами, т.е. система расширяется, что приводит к уменьшению скорости второго объекта.

Но все сказанное относится лишь к системе без учета энергетических изменений в самих объектах. Происходят ли изменения в этих объектах согласно соотношению (1)? С другой стороны, что же может произойти с атомными ядрами и элементарными частицами при взаимодействии с носителем темной энергии, если предположить, что они также участвуют в обмене энергиями? Аксиомы современной физики утверждают, что все одноименные элементарные частицы и атомные ядра по всем внутренним параметрам неразличимы друг от друга. Нет никаких достоверных свидетельств об эволюционном изменении этих параметров, и поэтому вопрос об эволюции объектов микромира никогда не рассматривался более или менее самосогласованно. Однако, с другой стороны, нет веских оснований утверждать абсолютную незыблемость этих объектов, если объекты всех других иерархических уровней подвержены эволюции.

Тем не менее, даже при самом поверхностном представлении об атомном ядре, мы точно знаем, что внутри ядра барионы имеют меньшую среднюю массу по сравнению с той массой, которую они имеют в свободном состоянии. Более того, масса барионов в ядре изменяется при переходе от одного ядра к другому. Данное свойство хорошо известно и достаточно очевидно представляется в учебниках на графике зависимости средней удельной энергии связи (дефекта массы) в зависимости от количества барионов, показывающий максимум в районе ядра железа. То есть, любой барион может характеризоваться различными массами, в зависимости от физических условий, в которых он

находится.

Из общих соображений можно заключить, что вследствие энергетического обмена при взаимодействии с носителем темной энергии, если такое происходит, атомное ядро может "освоить" некоторое количество сугубо положительной темной энергии. Причем этот процесс (если разрешен физическими законами) происходит за все время существования данного ядра и взаимодействия с темной энергией. Поглощенная атомным ядром положительная энергия, по-видимому, как и в случае гравитационных систем, уменьшает энергию связи внутри ядра. С другой стороны, поскольку энергия связи равна дефициту массы, то не лишен смысла вывод о том, что благодаря взаимодействию барионной материи с носителем темной энергии, можно ожидать увеличение масс атомных ядер.

То же самое, по-видимому, можно ожидать и в случае одиночных барионов, так как их целостное существование также зависит от энергии связи, контролируемой сильными взаимодействиями. Более того, если такой вывод качественно верен, то при изменении массы барионов в составе различных атомных ядер, процесс управляемся тем же физическим механизмом.

4. Наблюдаемые эффекты, связанные с влиянием темной энергии на барионную материю. Помимо расширения нашей барионной Вселенной наблюдательные данные свидетельствуют о расширении и в других системах более низких иерархических уровней. Одно явление связано с удалением Луны от Земли с достаточно большой скоростью в 3.82 см за год. Традиционное объяснение с привлечением приливного взаимодействия между нашей планетой и ее спутником не дает удовлетворительных результатов. Совместное использование традиционного механизма с универсальным расширением решает эту проблему [16] и вдобавок позволяет определить вклад каждого из механизмов в наблюдательном значении скорости удаления.

Другое подобное явление связано с ростом астрономической единицы. При классическом подходе для интерпретации данного явления было испробовано несколько возможных механизмов, в том числе, уменьшение массы Солнца вследствие излучения и выброса материи, которое не больше, чем $\sim 9 \cdot 10^{-14} M_{\odot}$ в год. Тогда, учитывая также следующие соотношения:

$$\frac{M_{\odot}v^2}{R} = G \frac{M_{\odot}M_{\odot}}{R^2} \quad (4)$$

и

$$M_{\odot}vR = \text{const}, \quad (5)$$

где M_{\odot} - масса Земли, R - астрономическая единица, v - орбитальная скорость вращения Земли и, считая массу Земли M_{\odot} неизменной, получаем

$$M_{\odot}R = \text{const.} \quad (6)$$

Из (6), для приращения астрономической единицы, получаем 1.05 см/год, что на порядок ниже наблюдаемой величины в 15.4 см/год [20].

Если придерживаться мнения, что темп расширения под влиянием темной энергии одинаков во всех масштабах и задается постоянной Хаббла $70 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$, то годовое приращение астрономической единицы по этой причине будет 10.7 м. Это на два порядка больше наблюдаемой величины, и расхождение не только не исчезает, но становится еще выпуклее. Получается, что традиционные механизмы обеспечивают окончательный результат, который на порядок меньше наблюдаемого значения, а расширение вследствие темной энергии - на два порядка больше.

Однако во втором случае остается еще один неучтенный фактор, который нами был рассмотрен в [18]. Этим фактором является возможность увеличения массы Солнца вследствие уменьшения энергии связи в атомных ядрах и отдельных барионах. Учитывая, что обмен энергиями барионных объектов с носителем темной энергии происходит при всех масштабах, мы проверили, с какой скоростью должна увеличиваться масса Солнца, чтобы вместо увеличения астрономической единицы на 10.7 метров, прирост был бы равен наблюдаемой величине 15.4 см. Расчеты показывают, что для этого годовой прирост солнечной массы должен быть [18]:

$$\frac{\Delta M_{\odot}}{M_{\odot}} = 7.04 \cdot 10^{-11}, \quad (7)$$

что в абсолютных значениях составляет $4.4 \cdot 10^{15}$ г/с или в энергетическом эквиваленте - $4.0 \cdot 10^{36}$ эрг/с. Это 1000 раз больше светимости Солнца, т.е., если 0.1 процентов данной массы превратится в лучистую энергию, то может обеспечить наблюдаемую светимость Солнца.

С другой стороны, увеличение массы атомных ядер, если такое действительно происходит, означает, что со временем их энергетические уровни становятся более глубокими, а соответствующие спектральные линии перемещаются в сторону коротких волн, т.е. происходит "голубое смещение" всех линий. Действительно, для длины волны λ_{mn} простейшей модели атома водорода имеем

$$\frac{1}{\lambda_{mn}} = Ry \frac{1}{hc} \frac{M_p}{m_e + M_p} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (8)$$

$$Ry = \frac{m_e e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^2}, \quad (9)$$

где Ry - энергетическая единица Ридберга, а остальные обозначения общеприняты.

Из (8)-(9) очевидно, что длина волны для спектральных линий обратно пропорциональна приведенной массе электрона и протона

$$\lambda \sim \frac{m_e + M_p}{m_e M_p} = \frac{1}{m_r} \quad (10)$$

и становится короче, если она увеличивается. Если действительно происходит такое монотонное изменение, то в спектре далеких объектов, кроме доплеровского красного смещения, должна быть некоторая составляющая, не обусловленная скоростью расширения Вселенной, а связанная лишь эволюционными свойствами обычной материи. Исходя из этого представления и считая, что разность двух значений постоянной Хаббла может быть следствием увеличения массы обычной материи за время прохождения света путь в один мегапарсек, можно вычислить годовое приращение массы, которое может обеспечить такое расхождение.

Разница значений постоянной Хаббла для поздней и ранней Вселенной составляет $6.6 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$. Тогда красное смещение, соответствующее расстоянию в один световой год, будет равно

$$\Delta z = \frac{6.6}{3.26 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^5} = 6.7 \cdot 10^{-12}, \quad (11)$$

где учтено, что 1 Мпк составляет 3.26 млн световых лет.

С другой стороны, если выразить это же значение красного смещения через изменение длины волны, тогда

$$\Delta z = \frac{\Delta \lambda}{\lambda}, \quad (12)$$

где $\Delta \lambda = \lambda_2 - \lambda_1$. Учитывая (10), находим

$$\Delta z = \frac{m_{r2} - m_{r1}}{m_{r2}} = \frac{\Delta m_r}{m_r}, \quad (13)$$

где m_{r1} и m_{r2} - суть приведенные массы пары протон-электрон, измеренные с разницей времени в один год. Тогда, из (11) и (13) для прироста приведенной массы находим

$$\frac{\Delta m_r}{m_r} = 6.67 \cdot 10^{-12}. \quad (14)$$

Имея соотношение (14), можно вычислить темп изменения массы протона. Мы здесь рассматриваем два случая. Наши рассуждения об изменении массы относились к атомным ядрам и барионам, которые являются составными объектами и обладают энергией связи. Согласно современным представлениям, лептоны, в том числе и электрон, не обладают внутренней структурой. Поэтому в качестве первого варианта мы массу электрона считали неизменной,

а во втором случае рассмотрено одинаковое изменение масс электрона и протона. В первом случае для барионной компоненты окончательно находим

$$\frac{\Delta M_p}{M_p} \approx \frac{M_p}{m_e} \frac{\Delta m_r}{m_r} \approx 1.3 \cdot 10^{-8}, \quad (15)$$

а во втором случае

$$\frac{\Delta M_p}{M_p} \approx \frac{\Delta m_r}{m_r} \approx 6.6 \cdot 10^{-12}. \quad (16)$$

Не имеет смысла рассматривать первый вариант, поскольку прирост массы обычной материи в этом случае огромен и скорее всего был бы обнаружен даже при определении массы протона $M_p = 1.67262192369(51) \cdot 10^{-24}$ гр. Поэтому можно прийти к выводу, что если рассмотренный здесь механизм действительно работает, то со временем эволюционирует масса не только барионов, но и всех лептонов или, по крайней мере, электрона. Означает ли это, что электрон также обладает внутренней структурой, пока трудно сказать. В первую очередь следует найти другие методы, свидетельствующие об эволюционном росте массы атомных ядер и элементарных частиц.

Обнадеживает тот факт, что полученная здесь оценка прироста массы атомных ядер и элементарных частиц качественно подтверждает найденную нами оценку изменения массы Солнца. С другой стороны, разница в один порядок искомой величины может быть интерпретирована по-разному, и как результат погрешностей измерений, и как следствие недоучета различных факторов.

5. Обсуждение и заключение. Начнем эти обсуждения с рассмотрения парадокса, который обычно обходится молчанием или интерпретируется не с точки физических законов, а непонятных умозрительных доводов. Дело в том, что две общепринятые гипотезы современности, а именно предположение о возникновении Вселенной, благодаря так называемому большому взрыву, с одной стороны, и возможность существования объектов-монстров под названием черные дыры, с другой, вообще говоря, несовместимы. Такой вывод следует из самосогласованного применения логически связанных утверждений, обоснованных законами физики.

Согласно принятым сегодня представлениям о большом взрыве, наша Вселенная возникла примерно 13.8 млрд лет назад из физического вакуума вследствие грандиозной флуктуации и продолжает расширяться по сей день. Теория, построенная на базе той же гипотезы, утверждает, что вся барионная материя уже была сформирована, а электроны были захвачены первичными ядрами уже за первые 379000 лет после взрыва. Но если это так, то возникшая из ничего материя уже обладала своим собственным гравитационным полем.

Тогда не ошибемся, если заключим, что барионная Вселенная-зародыш достаточно долгое время находилась внутри сферы с радиусом Шварцшильда. Но при этом возникает вопрос, каким образом Вселенная продолжала расширяться?

При самосогласованном рассмотрении этой картины с точки зрения современной физики, может быть лишь одно решение для этого парадокса. Оно заключается в том, что масса Вселенной в любом этапе ее эволюции внутри любого радиуса всегда была меньше критической. Принимая во внимание, что гравитационный радиус пропорционален массе, неизбежно приходим к выводу, что в прошлом масса Вселенной должна была быть меньше и она растет со временем, благодаря эволюции материи.

Как показывает анализ причинно-следственных последовательностей, применение идеи об эволюционном росте массы атомных ядер и барионов приводит к некоторым другим физическим эффектам, которые имеют наблюдательные проявления. Одно из таких проявлений нами рассмотрено в [19]. Оно связано с эволюцией материи, темп которой выше в объектах с меньшей массой. Исследование двух скоплений галактик, а именно, скоплений в Деве и в Печи, показывает, что у карликовых галактик в среднем красное смещение меньше (подробнее см. [19]). Этот факт может быть интерпретирован с точки зрения эволюционного роста массы барионов и атомных ядер.

Таким образом, все анализы наблюдательных данных, по крайней мере, не противоречат возможности эволюционного изменения барионной материи на уровне микромира. Более того, в некоторых случаях эволюция кажется неизбежной. Конечно, нет сомнений, что анализы с привлечением как можно большего количества различных наблюдательных данных должны продолжаться для получения более твердых и обоснованных заключений.

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна,
Армения, e-mail: hhayk@bao.sci.am

DISCREPANCY BETWEEN VALUES OF THE HUBBLE CONSTANT, DETERMINED BY DIFFERENT METHODS

H.A.HARUTYUNIAN

The issue of the discrepancy between the values of the Hubble constant, determined for the "early" and "late" Universe is considered. We note here that

the definition of the first value does not depend explicitly on the physical properties of baryonic matter, while in the second case the velocities of cosmic objects are determined. Therefore, we put forward a hypothesis that the mystery may be hidden in the evolutionary changes of baryonic matter. Our analysis shows that a growth of the mass of atomic nuclei and elementary particles by a fraction $6.67 \cdot 10^{-12}$ per year could lead to the observed discrepancy. This result is consistent with our previous conclusion about the secular increase in the mass of the Sun.

Keywords: *dark energy: energy exchange: baryonic matter: evolution*

ЛИТЕРАТУРА

1. *G.Lemaître*, Annales de la Société Scientifique de Bruxelles A., **47**, 49, 1927.
2. *E.P.Hubble*, Proceedings of the National Academy of Sciences, **15**, 168, 1929.
3. *A.Behr*, Astron. Nachr., **279**, 97, 1951.
4. *W.Baade*, Trans. IAU, **8**, 397, 1952.
5. *M.L.Humason, N.U.Mayall, A.R.Sandage*, Astron. J., **61**, 97, 1956.
6. *A.R.Sandage*, Astrophys. J., **127**, 513, 1958.
7. *A.R.Sandage, G.Tamman*, Nature, **307**, 513, 1984.
8. *G.Tamman, A.R.Sandage*, Astrophys. J., **294**, 81, 1985.
9. *G.Tamman*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **108**, 1083, 1996.
10. *J.P.Huchra*, "The Hubble Constant", Harvard Center for Astrophysics, 2008.
11. *N.Jackson*, Living Rev. Relativity, **18**, 2, 2015.
12. *L.Verde, T.Treu, A.G.Riess*, Nature Astron., **3**, 891, 2019.
13. *S.K.Chi, M.Hasselfield, Sh.-P.P.Ho et al.*, arXiv:2007.07289, 2020.
14. *A.G.Riess, A.V.Filippenko, P.Challis et al.*, Astron. J., **116**, 1009, 1998.
15. *S.Perlmutter, G.Aldering, G.Goldhaber et al.*, Astrophys. J., **517**, 565, 1999.
16. *H.A.Harutyunian*, Astrophysics, **38**, 374, 1995.
17. *H.A.Harutyunian*, Astrophysics, **54**, 290, 2011.
18. *H.A.Harutyunian, A.M.Groryan*, ComBAO, **65**, 268, 2018.
19. *H.A.Harutyunian, A.M.Groryan, A.Khasawneh*, ComBAO, **66**, 25, 2019.
20. *G.A.Krasinsky, V.A.Brumberg*, Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy, **90**, 267, 2004.