

ОБ ОДНОМ ВОЗМОЖНОМ ИСТОЧНИКЕ ЭНЕРГИИ ВЫБРОСОВ МАТЕРИИ ИЗ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Г.А.АРУТЮНЯН

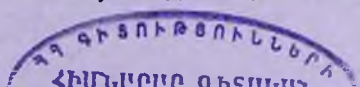
Поступила 31 мая 2010

В работе обсуждается вопрос трансформации энергии ускоряющегося расширения Вселенной во внутреннюю энергию космических объектов. Учитывается общеизвестный факт, что хаббловское расширение наблюдается в масштабах, на два и более порядка меньших размеров "ячеек однородности", а также известные наблюдательные данные, свидетельствующие о том, что это расширение происходит также и на масштабах солнечной системы. На основе этого рассматривается изменение потенциальной энергии отдельных модельных объектов, и показывается, что при этом потенциальная энергия увеличивается, что угрожает дальнейшему существованию данного объекта. Получено выражение для величины массы, которая может получить энергию отрыва за данный период накопления энергии. Сделаны оценки для принятых масс скоплений галактик. Показано, что за 10^7 лет протоскопление накапливает столько энергии, которая достаточна для выброса сгустка вещества с массой нашей галактики.

Ключевые слова: *хаббловское расширение: cD галактики: формирование космических объектов*

1. Введение. Современные сценарии образования космических объектов непременно наталкиваются на необходимость введения физического механизма, который объяснил бы выбросы сгустков материи огромных масс из недр этих тел. Такие процессы наблюдаются как в звездах, так и в галактиках. На планетарном уровне в качестве отдаленных отзвуков таких явлений могут служить вулканы. Правда, мы не наблюдаем таких вулканических процессов, энергетика которых достаточна для обеспечения скорости отрыва для осязаемых масс. С другой стороны, у нас нет также веских и неопровержимых доказательств, что на раннем этапе эволюции этих объектов не было извержений с большей энергией. Космические объекты со временем, вместе с выбросом сгустков части собственной материи теряют внутреннюю энергию, что приводит к ее снижению.

В традиционном космогоническом учении вся энергия Вселенной во всех ее проявлениях является трансформированным продуктом Большого взрыва. То есть, согласно данной гипотезе в самом начале образования Вселенной был один лишь акт сотворения материи и энергии, после чего на фоне всеобщего расширения происходит формирование объектов всех иерархических уровней с помощью синтеза, конденсации и слияния.



Общая идеология такого подхода подразумевает, что энергия выброса материи из космических объектов, в том числе и релятивистских струй, должна была быть интерпретирована аналогичной трансформацией [1,2].

Амбарцумяновская парадигма активности космических объектов предполагает, что их активность является внутренним свойством данных объектов, а *энергия активности* вырабатывается внутри данного объекта. Мы в качестве источника энергии рассматриваем ускоряющееся расширение Вселенной или, согласно другой терминологии, «темную энергию». За последние десятилетия были приведены свидетельства о том, что хаббловское расширение является универсальным и не является прерогативой больших масштабов или Вселенной, как одной цельности. Действительно, есть достаточно веские факты, что этому расширению подвержена Местная группа галактик [3,4], и что оно наблюдается даже в масштабах планетарной системы или отдельных планет [5]. Тогда можно прийти к заключению, что расширение является более универсальным, чем казалось бы [6,7].

2. О природе расширения Вселенной. В числе космологических учений наиболее распространенным и по количеству последователей, и по публикациям считаются теории, основанные на гипотезе Большого взрыва. Именно в рамках этих теорий предлагаются самые различные сценарии формирования и эволюции космических объектов и их систем, которые, кажется, достаточно уверенно объясняют наблюдательные факты, даже предсказывают некоторые явления (наиболее выдающимся предсказанием можно считать реликтовое излучение). Тем не менее, традиционная космология адекватно воспринимается не всей научной общественностью, и причиной тому являются некоторые физические механизмы, предложенные с целью объяснения того или иного явления. Поэтому постепенно формируются как альтернативные космологические учения, так и группы астрономов и физиков, которые организуют конференции по теме "Кризис в космологии".

Следует отметить, что становление традиционной космологии происходило достаточно бурно и, в некотором смысле, спонтанно. Как известно, Слайфер был первым, кто обнаружил, что спектры (почти) всех галактик смещены в красную сторону (см., например, [8,9]). Примерно в то же время всеобщее расширение Вселенной, на основе решения гравитационного уравнения Эйнштейна, было предсказано Фридманом [10]. Через два года Леметр предложил аналогичное решение [11]. Этот результат в дальнейшем был опубликован в журнале Nature [12], где впервые автор предложил идею о "первозданном атоме" из которого, благодаря первичному взрыву и последующему расширению, была сформирована Вселенная. Именно этот сценарий и был назван Фредом Хойлом "Большим взрывом".

Благодаря этим работам, для астрономической общественности конца двадцатых годов прошлого столетия не было сюрпризом открытие закона Хаббла [13,15], который был воспринят как теоретически предсказанное расширение Вселенной. В дальнейшем, отчасти вследствие сильного влияния теории и, в частности, результатов решения уравнения Эйнштейна, постепенно стало общепринятым, что красное смещение в спектрах галактик имеет доплеровское происхождение, и, окончательно сформировалось сегодняшнее доминирующее представление о хаббловском или космологическом расширении Вселенной. Обычно эта расширяющаяся Вселенная описывается метрикой Фридмана-Леметра-Робертсона-Уолкера (ФЛРУ), но поскольку метрика ФЛРУ предполагает однородное распределение масс и энергии, которого нет при малых масштабах, возникает некоторое противоречие с наблюдательными данными.

Сказанное непосредственно следует из анализа тех начальных условий, которые были использованы при решении уравнения общей теории относительности Эйнштейна. Одним из наиболее важных упрощающих условий было предположение об универсальности космологического принципа, что, как отметили выше, требует выполнения однородности и изотропности пространства, при которых решение могло быть применено к наблюдательным данным. С другой стороны, весь наблюдательный опыт доказывает, что наблюдаемая Вселенная не может считаться однородной до пространственных ячеек с диаметром несколько сотен мегапарсек. То есть, согласно постановке задачи, которая считается адекватно описывающей динамическое состояние Вселенной в больших масштабах, на расстояниях, меньших, чем несколько сотен Мпк, расширение Вселенной не должно было быть наблюдено.

Реальная ситуация совершенно иная. Уже в оригинальной статье Хаббла [13] для установления соотношения расстояние - красное смещение были использованы данные о галактиках, которые находятся на расстоянии от 2 до 20 Мпк, на один-два порядка меньше, чем "масштаб однородности". Спустя 70 лет Сэндидж [16] продолжает утверждать, что Вселенная расширяется согласно закону Хаббла, причем постоянная Хаббла имеет одно и то же значение для всех расстояний от нескольких до нескольких тысяч Мпк, что остается необъяснимой тайной. То, что хаббловское расширение наблюдается даже для самых близких внегалактических расстояний Местной группы галактик [3,4], где не может быть и речи об однородности, ставит резонный вопрос о применимости метрики ФЛРУ к реальной Вселенной. Более того, детальные исследования явлений расширений в непосредственной близости от Земли и сравнение с хаббловским потоком позволяют прийти к выводу, что наблюдаемое расширение является универсальным и не может быть связано с Большим взрывом, по крайней мере, в его классическом

понимании [5,7]. Тогда возникает и другой вопрос, который связан с той работой, которая совершается благодаря хаббловскому расширению в масштабах отдельных космических объектов. Этот вопрос становится еще более интригующим, когда учитывается ускоряющийся характер расширения [15,16] (для альтернативной интерпретации см. также [5,7]). Тогда, без сомнения, имеет смысл рассмотреть задачу о том, как ускоряющееся расширение влияет на энергетическое состояние космических тел и систем.

3. Амбарцумяновские события. Амбарцумян был первым, кто обратил внимание на явления активности в ядрах галактик, отличающихся огромным энерговыделением, и подчеркнул их огромное значение для эволюции этих объектов (см., например, [19,21]). В качестве одного из признаков активности Амбарцумян всегда настаивал на возможности выброса из активного ядра галактики сгустка материи такой массы, из которого могла бы сформироваться новая галактика. Следует отметить, что в дальнейшем такая же идея была высказана о выбросе квазаров из ядер галактик (см., например, [22] и ссылки в ней). Бэрбиджем было предложено назвать явление выброса материи из ядер галактик амбарцумяновским событием [23].

При таком подходе наиболее актуальным становится вопрос об энергии выброса. Мы здесь обращаем внимание на один возможный механизм, который связан с "темной энергией". Если принять во внимание, что темная энергия проявляет себя также и на малых масштабах [5-7], то мы должны исследовать вопрос о том воздействии, которое оставляет соответствующая сила на материальные объекты, в том числе, галактики, звезды и др. Для предварительного исследования рассмотрим простейший случай.

Увеличение потенциальной энергии (уменьшение ее абсолютного значения) легко обнаружить при расширении сферических тел, плотность которых зависит лишь от радиуса. Для подобных объектов нетрудно получить потенциальную энергию. Легко видеть, что в общем случае потенциальная энергия сферического объекта радиусом R и плотностью $\rho(r)$ задается следующим выражением:

$$U = -4\pi G \int_0^R \frac{r^2 \rho(r) m(r)}{r} dr, \quad (1)$$

где величиной

$$m(r) = 4\pi \int_0^r x^2 \rho(x) dx \quad (2)$$

выражается масса центральной сферической части радиуса r .

С помощью формул (1) и (2) сразу получаем следующее выражение для сферического объекта с радиальной зависимостью плотности:

$$U = -k_U G \frac{M^2}{R}, \quad (3)$$

где коэффициент k_U зависит только от распределения $\rho(r)$. В случае однородной сферы, например, $k_U = 3/5$, при гиперболическом распределении $\rho(r) = 1/r$ получаем $k_U = 2/3$, а при обратно-квадратном распределении $k_U = 1$.

Следует отметить, что полученная формула описывает лишь гравитационный потенциал и может быть использована для оценки его изменения, например, вследствие хаббловского расширения. Изменение потенциальной энергии означает, что совершается работа для преодоления гравитационного потенциала. Эффект универсального расширения в микромире, если оно действительно имеет место, должен быть гораздо сильнее, что следует из более сильной зависимости ядерных сил от расстояния. Однако этот вопрос требует отдельного рассмотрения, так как пока еще нет достаточно четкого представления об истинной функциональной зависимости этих сил от расстояния.

В классической космогонии и космологии энергетический запас любого космического тела или любой системы объектов, так или иначе, самым тесным образом связан и определяется энергией гипотетического Большого взрыва. Даже "спокойное" излучение звезд, в конечном счете, является трансформированным результатом той энергии, которая была освобождена в самом начале формирования Вселенной, в виде кинетической энергии разлетающегося вещества, вновь появившегося благодаря Большому взрыву. Другими словами, согласно классическому подходу вся энергия, которая в настоящее время наблюдается во Вселенной, по сути дела была произведена в момент формирования этой Вселенной. После этого начального момента происходит всего лишь простое превращение энергии из одного вида в другой.

Откуда берется добавочная энергия различных проявлений активности на всех иерархических уровнях мироздания? Несмотря на наличие хорошо отлаженных сценариев, которыми описываются упомянутые явления, вопрос об источнике энергии остается самым интригующим. С другой стороны, явление выбросов может считаться пуассоновским процессом с некоторой средней или характерной частотой, которая, в общем случае, может быть функцией времени или возраста данного объекта, а также его массы, вращательного момента и других физических характеристик, которые в каждый момент определяют физическое состояние рассматриваемого объекта. Такие процессы достаточно хорошо прослеживаются на иерархическом уровне звезд, где вспыхивающим звездам, а также повторным новым можно приписывать некоторые средние частоты.

В качестве активных источников формирования галактик в скоплениях вследствие выбросов нами были предложены и рассмотрены cD галактики [6,7]. Самосоогласованный анализ наблюдательных данных, касающихся

этих галактик и их материнских скоплений, выявляет ряд закономерностей (в том числе, известных), которые позволяют рассматривать упомянутые галактики в качестве материнского объекта всех галактик данного скопления. В рамках такого подхода считается, что из вещества начального объекта были сформированы все галактики тех скоплений, в которых они находятся. Другими словами, нами предлагается простой феноменологический сценарий, согласно которому, формирование любого скопления галактик начинается с первоначального объекта достаточно большой массы (а именно, массы скопления), который, *вследствие однородного и изотропного расширения, со временем становится все более нестабильным, поскольку неуклонно увеличивается его внутренняя энергия*. Накопление энергии не может продолжаться бесконечно. Уже через некоторое время эта энергия может стать угрозой для целостного существования данного объекта, вследствие чего он должен либо делиться на части, либо выбросить накопленную положительную энергию. После этого процесс накопления возобновляется, и, с этой точки зрения, мы должны наблюдать рекуррентный процесс энерговыделения, который может произойти, например, в виде выбросов сгустков материи.

На одном простом примере можно определить какое количество энергии накапливается внутри сферического объекта при увеличении пространственного масштаба за промежуток времени Δt . Хаббловское соотношение для умеренных расстояний задается следующим соотношением:

$$r = r_0 [1 + \epsilon (t - t_0)], \quad (4)$$

где $\epsilon = 1.018 \times 10^{-12} \text{ Н}$, и при $H = 75 \text{ км/с/Мпк}$ приводит к значению $\epsilon = 7.65 \times 10^{-11} \text{ год}^{-1}$.

С помощью формул (3) и (4) можно видеть, что при хаббловском расширении объекта его потенциальная энергия увеличивается, а внутри объекта накапливается добавочная энергия, которая выражается соотношением

$$U_{add} = k_U G \frac{\epsilon \Delta t M^2}{R(1 + \epsilon \Delta t)}. \quad (5)$$

С другой стороны, учитывая тот факт, что для данной массы и данного радиуса скорость отрыва определяется с помощью хорошо известной формулы

$$v_2^2 = \frac{2GM}{R(1 + \epsilon \Delta t)}, \quad (6)$$

формулу (5) можно переписать в следующем виде:

$$U_{add} = \frac{k_U \epsilon \Delta t M v_2^2}{2}. \quad (7)$$

Формула (7) показывает, что накопленная за время Δt энергия достаточна, чтобы масса

$$\Delta M_{ej} = k_U \epsilon \Delta t M, \quad (8)$$

являющаяся частью данного объекта, получила необходимое количество энергии для удаления от материнского объекта. Интересно, что эта величина зависит лишь от массы материнского объекта и от времени, за которое происходит накопление энергии. Из этого непосредственно следует, что более массивные объекты интенсивнее освобождаются от дополнительной энергии, чем объекты с меньшими массами. На этом мы подробнее остановимся в следующем разделе в связи с интерпретацией светимостей сD галактик и их гало.

С помощью простого соотношения (8) можно сделать оценки для различных объектов и различных промежутков времени. Рассмотрим, например, массы, характерные для скоплений галактик. По современным данным массы скоплений галактик составляют примерно $10^{14} + 10^{15}$ солнечных масс. Нетрудно убедиться, что протоскопление такой массы могло бы выбросить объекты массой $10^{11} + 10^{12} M_{\odot}$ за 10^7 лет. То есть, за 10^7 лет накапливается столько энергии, которая способна отрывать от первоначального протоскопления примерно 0.1 процента его массы. А такими массами обладают, например, самые массивные спиральные галактики. По недавним оценкам масса нашей Галактики, например, составляет $5.8 \cdot 10^{11} M_{\odot}$, а для Туманности Андромеды она доходит до $7.1 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ [24].

Если перейти к рассмотрению объектов с массой нашей Галактики, следует исходить из того, объекты с какой массой составляют их собственное население и (по всей вероятности) спутники. В случае нашей Галактики следует в первую очередь рассматривать население гало, которое с большей уверенностью может считаться результатом изотропного хаббловского расширения. Что касается дискового компонента, то его огромный вращательный момент требует отдельного рассмотрения. Очевидно, что в данном случае играет существенную роль также центробежная сила, которая должна быть учтена. В гало наиболее массивными объектами являются шаровые скопления, сегодняшние массы которых доходят до $10^5 + 10^6 M_{\odot}$, т.е. $10^{-6} + 10^{-5}$ части массы нашей Галактики. Энергия, достаточная для выброса таких масс, согласно формуле (8), накапливается за $10^5 + 10^6$ лет. При более точном расчете получаем, что протогалактика могла бы каждый год выбрасывать (со скоростью отрыва) несколько десятков солнечных масс. Естественно, что выбросы с меньшей скоростью (например, с первой космической скоростью) будут еще больше.

Очевидно, что со временем, когда первоначальная масса материнского объекта уменьшается, в среднем уменьшается также и масса выброшенных сгустков материи. Этот процесс по своему характеру напоминает распад радиоактивных ядер и поэтому может быть определен некоторый параметр, аналогичный периоду полураспада. Однако этот вопрос здесь пока еще не

рассматривается.

4. *Некоторые особенности сD галактик и амбарцумяновские события.* Рассмотрим некоторые физические свойства сD галактик, которые могли быть результатом рекуррентных выбросов. В предыдущих работах [6,7] мы уже обсуждали некоторые возможные проявления таких процессов. Среди этих наблюдательных фактов, в первую очередь, следует отметить местонахождение галактики в центре скопления или в точке локального максимума плотности галактик. Они никогда не обнаруживаются в среде, где плотность галактик низкая ($< 1 \text{ галактика Мпк}^{-3}$). Правда, этот же факт, с другой стороны, приводится в пользу противоположного объяснения на том основании, что в центре скопления находится потенциальная яма, куда падают галактики скопления.

Однако следует обратить внимание, в первую очередь, на удивительно узкий спектр светимости (и массы) "основного тела" указанных галактик, а также на известную корреляцию между светимостями гало центральной галактики L_* и скопления $L_{\text{ср}}$, обнаруженную Оемлером [25]. Обнаружена также несомненная корреляция между светимостью, гало, с одной стороны, и богатством скопления, а также рентгеновской светимостью скопления, с другой [26]. В настоящее время нет сомнения в том, что гало сD галактик являются исключительной привилегией богатых скоплений: галактики внушительных масс и светимостей, обнаруженных в бедных скоплениях не считаются сD галактиками, поскольку не обладают гало [27,29]. Очевидно также, что перечисленные выше факты показывают, что формирование гало и скопления происходило (происходит) единым механизмом. Классическая космогония нередко пользуется указанной корреляцией с целью аргументации сценария формирования гало из обломков галактик, падающих на центральную галактику.

С другой стороны, чрезмерно узкий спектр светимостей "основного тела" ставит почти непреодолимые проблемы перед традиционными сценариями образования центральных сD галактик, которые основываются на предположении, что указанные галактики увеличивают свою массу и светимость за счет "проглатывания" других галактик данного скопления. Плотность галактик от скопления к скоплению меняется больше чем на порядок, и при этом остается неясным, почему же не отличаются светимости "основных тел", которые являются продуктом окружающего населения. Ситуация становится более ясной, когда учитывается формула (8) и соответствующий механизм формирования как скопления, так и эволюции центральной галактики. Из этого соотношения видно, что, чем больше первоначальная масса протоскопления, тем интенсивнее происходит его распад, и тем больше материи выбрасывается из материнского объекта за один и тот же промежуток времени, и тем больше осколок разбрасывается

в процессе удаления выброшенных сгустков, которые формируют гало. С другой стороны, если считать, что при каждом этапе расширения пространства для объектов каждого иерархического уровня существует некий верхний предел массы (для современной эпохи эти пределы известны как для атомных ядер, так и для звезд), то можно заключить, что постепенное уменьшение массы, согласно закону (8), приводит именно к данному пределу.

Здесь нам бы хотелось еще раз обратиться к эмпирическому соотношению Фэйбер-Джексона [30], которое связывает между собой светимость L и дисперсию скоростей σ эллиптических галактик

$$L \propto \sigma^\alpha, \quad (9)$$

где α тем больше, чем массивнее галактика (см., например, [31-33] и ссылки в них). Другими словами, светимость (масса) галактик растет быстрее, чем дисперсия скоростей. Нами уже был рассмотрен этот вопрос в связи с обсуждением физических свойств cD галактик [7], и общая картина подтверждается результатом, полученным в настоящей работе. Наш вывод был сделан на основе следующего концептуального подхода. Мы считаем, что и светимость, и дисперсия скоростей галактики определяются механизмом звездообразования галактики, благодаря чему, в конечном счете, формируется звездное население галактики, общей светимостью и кинематикой которого определяются физические величины, связанные соотношением (9). С физической точки зрения и при учете описанного нами механизма выброса вещества из материнских объектов, можно сделать заключение о том, что, *чем интенсивнее было звездообразование, в смысле темпа и скорости выброса материи, тем больше светимость галактики.* Однако, если для галактик умеренных масс все или почти все вещество, выброшенное материнским объектом, формирует саму галактику и учитывается при определении параметра α , то более массивные галактики выбрасывают значительную часть за пределы галактики, выводя тем самым из расчетов именно ту часть излучающей материи, которая могла бы увеличить дисперсию наибольшим образом.

5. Заключение. Тот факт, что хаббловское расширение Вселенной наблюдается на несравненно меньших масштабах, чем следовало бы ожидать из теоретических предпосылок, свидетельствует о том, что теория, по крайней мере, не вполне соответствует тому реальному миру, в котором мы живем. Очевидно, что не может быть аргументировано существование нижнего предела тех масштабов, после которого не действует расширение. Тогда есть определенный резон рассматривать задачу о физических процессах, которые могли бы произойти в космических объектах, если бы хаббловское расширение имело место в этих масштабах.

Несложный анализ показывает, что в таком случае увеличивается

потенциальная энергия объектов, которые вследствие существования внутренних сил притяжения не могут свободно следовать за расширением пространства. Из-за этого в объектах может наблюдаться так называемый *"амороженный в веществе пространственный масштаб"*. Расчет показывает, что накопленная энергия может выбросить огромные массы со скоростью отрыва от материнского объекта. Именно эта энергия может быть использована для интерпретации наблюдаемых выбросов из различных космических объектов. В настоящей работе мы вкратце рассмотрели также так называемые амбарцумяновские события в случае cD галактик и показали, что некоторые наблюдательные закономерности лучше объясняются именно такими событиями.

На наш взгляд данный механизм накопления энергии может оказаться достаточно плодотворным для объяснения огромных энергий, которые выделяются космическими объектами различных иерархических уровней. Данный механизм отличается некоторыми особенностями. Во-первых, очевидно, что источник пространственно находится внутри объекта, и поэтому проявления активности благодаря накопленной энергии, несомненно, могут считаться внутренним свойством данного объекта. С другой стороны, учитывая физические особенности хаббловского расширения, можно прийти к выводу, что космические тела постоянно накапливают энергию, которая постепенно разрушает их.

Нет сомнения, что данный механизм трансформации "темной энергии" во внутреннюю энергию космических объектов требует дальнейшей детализации и больше наблюдательных фактов, согласующихся с ним. С другой стороны, очевидно, что с точки зрения термодинамики он согласуется также и законом увеличения энтропии во Вселенной, но не может считаться ее энергетической смертью, поскольку в нее постоянно вливается энергия. С этой точки зрения представляет определенный интерес и другая задача. Здесь мы обсуждали процесс накопления внутренней энергии, фактически находясь в системе покоя объекта. Однако все объекты Вселенной, благодаря ускоряющемуся расширению ускоряются и накапливают также и кинетическую энергию. Поэтому задача о том, как проявляет себя эта энергия в системе отсчета данного объекта, также является важным предметом для дальнейшего детального обсуждения.

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

ON A POSSIBLE SOURCE OF ENERGY FOR EJECTIONS OF MATTER FROM COSMIC OBJECTS

H.A.HARUTYUNIAN

An issue of transformation of the Universe accelerating expansion energy into the internal energy of cosmic objects is considered. The known observational fact that the Hubble expansion is observed for scales for two or more orders smaller than the "cells of homogeneity" is taken into account as well as the observational data speaking in favor of the same expansion in the scales of the solar system. On this base the change of potential energy for some model objects is discussed and it is shown that the potential energy increases as a result which threatens the further existence of the object. An expression is derived for the mass which can obtain an escape velocity due to accumulation of the potential energy for the given period of time. Some estimates have been done for the clusters' masses. It is shown that in 10^7 years a proto-cluster can accumulate an amount of energy sufficient for ejection a matter of our Galaxy's mass.

Key words: *Hubble expansion:cD galaxies:formation of cosmic objects*

ЛИТЕРАТУРА

1. R.D.Blandford, R.L.Znajek, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 179, 433, 1977.
2. R.Penrose, Nuovo Cimento Rivista, Numero Speciale, 1, 252, 1969.
3. И.Д.Караченцев, Д.И.Макаров, Астрофизика, 44, 5, 2001.
4. I.D.Karachentsev, O.G.Kashibadze, D.I.Makarov, R.B.Tully, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 393, 1265, 2009.
5. H.A.Harutyunian, Астрофизика, 38, 667, 1995.
6. Г.А.Арутюнян, Астрофизика, 46, 103, 2003.
7. Г.А.Арутюнян, Астрофизика, 51, 173, 2008.
8. V.M.Slipher, Proc. Amer. Phil. Soc., 56, 403, 1917.
9. V.M.Slipher, Astrophys. J., 61, 353, 1925.
10. A.Friedman, Zeitschrift für Physik, 10, 377, 1922 (English translation: General Relativity and Gravitation, 31 (12), 1991-2000, 1999).
11. G.Lemaître, Annales de la Société Scientifique de Bruxelles, 47, 49, 1927.
12. G.Lemaître, Nature, 127, No 3210, 706, 1931.
13. E.P.Hubble, Proceedings of the National Academy of Sciences, 15, 168, 1929.
14. E.P.Hubble, M.L.Humason, Astrophys. J., 74, 43, 1931.
15. E.P.Hubble, M.L.Humason, Proc. of the Nat. Acad. of Sci., 20, 264, 1934.
16. A.Sandage, Astrophys. J., 527, 479, 1999.

17. *A.G.Riess, A.V.Filippenko, P.Challis et al.*, *Astron. J.*, **116**, 1009, 1998.
18. *S.Permutter, G.Aldering, G.Goldhaber et al.*, *Astrophys. J.*, **517**, 565, 1999.
19. *V.A.Ambartsumian*, *La Structure et l'Evolution de l'Univers*, Editions Stoops, Bruxelles, 241, 1958.
20. *V.A.Ambartsumian*, *Astron. J.*, **66**, 536, 1961.
21. *V.A.Ambartsumian*, *The Structure and Evolution of Galaxies*, Interscience Publishers, London-NY-Sydney, 1, 1964.
22. *H.Arп*, *Seeing Red: Redshifts, Cosmology and Academic Science*, Montreal, Apeiron, p.312, 1998.
23. *G.Burbidge*, Частное сообщение, Париж, 2004.
24. *И.Д.Караченцев, О.Г.Кашибадзе*, *Астрофизика*, **49**, 5, 2006.
25. *A.Oemler*, *Astrophys. J.*, **209**, 693, 1976.
26. *J.M.Schombert*, *Astrophys. J.*, **328**, 475, 1988.
27. *W.W.Morgan, S.Kayser, R.A.White*, *Astrophys. J.*, **199**, 545, 1975.
28. *C.E.Albert, W.W.Morgan, R.A.White*, *Astrophys. J.*, **211**, 309, 1977.
29. *T.X.Thuan, W.Romanishin*, *Astrophys. J.*, **248**, 439, 1981.
30. *S.M.Faber, R.E.Jackson*, *Astrophys. J.*, **204**, 668, 1976.
31. *W.R.Oegerle, J.G.Hoessel*, *Astrophys. J.*, **375**, 15, 1991.
32. *T.R.Lauer, S.M.Faber, D.Richstone et al.*, *Astrophys. J.*, **662**, 808, 2007.
33. *A. von der Linden, P.N.Best, G.Kauffmann, S.D.M.White*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **379**, 867, 2007.