

СКРЫТАЯ МАССА И ВЗРЫВНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ГАЛАКТИК

А.В.Кац¹, В.М.Конторович^{2,3}

¹Институт радиофизики и электроники НАН Украины, Харьков 61085

²Радиоастрономический институт НАН Украины, Харьков 61002

³Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков 61077

E-mail: ak_04@rambler.ru, vkont@ri.kharkov.ua,

Быстрая эволюция числа массивных галактик при красном смещении $z=6$, обнаруженная в последние годы при анализе сверхглубокого поля Хаббла и Субару, может быть объяснена взрывным характером процесса слияний галактик.

1. ВВЕДЕНИЕ

Сообщение [1,2] об обнаружении в сверхглубоких полях Хаббла и Субару "внезапного" появления массивных галактик при красном смещении $z=6$, (см. также [3]) а также сообщение о наблюдении заключительной стадии процесса вторичной ионизации в этот же период [4] (см. литературу и обсуждение в обзоре [5]), может свидетельствовать, по нашему мнению, так же как и эпоха возникновения квазаров [6], о взрывном характере эволюции галактик в результате слияний [7, 8].

Долгое время считалось, что после своего образования в результате развития гравитационной неустойчивости (из газового протогалактического облака), галактики эволюционируют сугубо индивидуально. Наблюдательные данные последних трех десятилетий, в особенности, данные космического телескопа Хаббла и крупнейших наземных телескопов, дают убедительные доказательства определяющей роли слияний в космогонии галактик. обстоятельный обзор Кенникута, Швейцера и Барнса [9], посвященный взаимодействию и слиянию галактик и вызванному им индуцированному звездообразованию (около 1000 ссылок и более 200 иллюстраций!) позволяет опустить здесь подробное описание соответствующей библиографии и наблюдательных аргументов.

Процессы слияний происходят в темной холодной материи (CDM), джинсова длина в которой мала, несмотря на то, что эволюция происходит в горячей Вселенной. Первоначально возникшие флуктуации малых масс, порядка массы шаровых скоплений в эпоху рекомбинации водорода, сливаясь (и сгущиваясь) образуют за космологическое время массивные объекты – галактики (и их скопления). При этом светящееся барионное вещество представляет собой малую примесь к темной материи в галактиках.

В работах римской и харьковской групп в 90-е годы [7,8,10-14] показана возможность кинетического «фазового перехода» [15-17] в системе галактик, проявляющегося в самоускоряющемся процессе образования массивных галактик за счет слияний галактик малых масс – «эпоха» возникновения галактик. То есть процесс слияний при гравитационном взаимодействии носит «взрывной характер». Взрывное поведение слияний су-

щественно связано с зависимостью вероятности слияния от масс галактик. А именно, к взрывной эволюции и фазовому переходу приводит рост вероятности более быстрый, чем первая степень массы [8, 10]. В современных космологических теориях это обстоятельство либо игнорируется, либо учитывается недостаточно детально. "Внезапное" появление галактик при $z=6$ можно пытаться рассматривать как наблюдательное свидетельство "взрывной" эволюции, чему и посвящена данная работа.

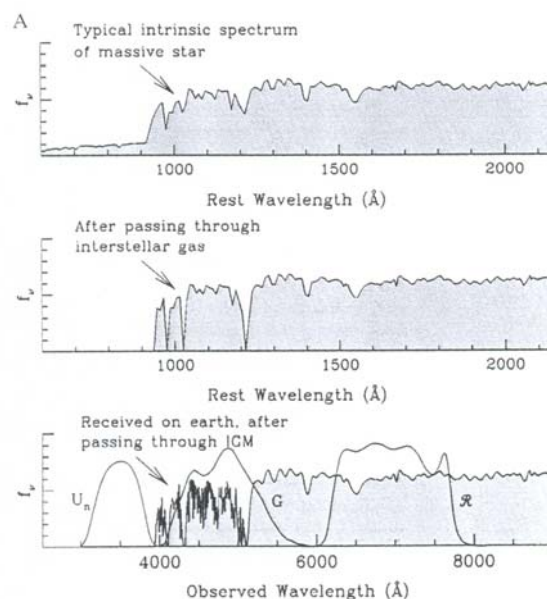


Рис. 1. Иллюстрация метода многоцветной фотометрии, используемого при поиске далеких галактик. Показано изменение наблюдаемого спектра за счет красного смещения [18]

Корреляция между активностью галактик и их взаимодействием и слияниями также является сейчас уже хорошо установленным наблюдательным фактом [6,19,11]. Малая концентрация квазаров и радиогалактик позволяет возникать им даже за счет очень редких соударений или слияний. Активные галактики могут играть роль удобного маркера при исследовании вопроса о слияниях. Примером может служить обрыв в распределении квазаров при красных смещениях $z_{cr} \approx 2-3$, который может означать окончание момента "сборки" массивных галактик из менее массивных блоков, когда возмущения, соответ-

ствующие "взрывной" эволюции, свойственной процессу слияния галактик, приводят к активности в их центрах, связанной с аккрецией вещества на черную дыру.

2. ЭПОХА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГАЛАКТИК И ВТОРИЧНОЙ ИОНИЗАЦИИ

2.1. НАБЛЮДЕНИЯ ДАЛЕКИХ ГАЛАКТИК

При таких наблюдениях используется метод многоцветной фотометрии в полях глубоких обзоров космического телескопа Хаббла и крупнейших наземных телескопов [1,2]. Принцип легко понять из рисунка, заимствованного из обзора [18] одного из авторов этого метода (Рис.1). Благодаря большому красному смещению изображения далеких галактик исчезают в ультрафиолетовых и оптических фильтрах, и галактика видна только в красной или даже в ИК области спектра.

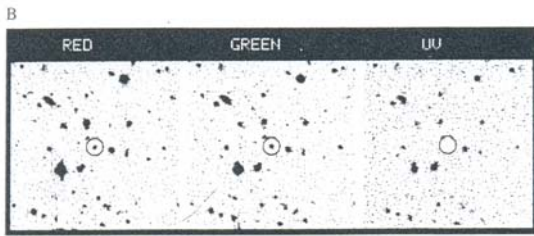


Рис. 2. Сравнение изображения далекой галактики в разных фильтрах при использовании метода многоцветной фотометрии [18]

2.2. ЭВОЛЮЦИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕЙТРАЛЬНОГО ВОДОРОДА

Другим эффектом, свидетельствующим о появлении звезд и галактик на больших красных смещениях, служит наблюдение вызываемой ими вторичной ионизации водорода. О концентрации нейтрального водорода можно судить по линиям поглощения в спектрах далеких квазаров (Рис.3).

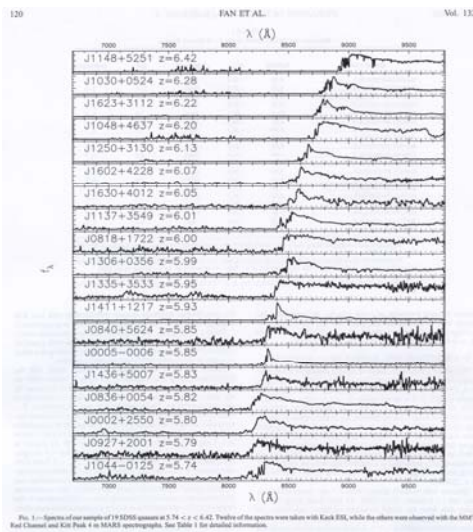


Рис. 3. Спектры далеких квазаров [4]

Обнаруженная в [4] резкая зависимость концентрации водорода от красного смещения в окрестности $z=6$ (Рис.4) также свидетельствует в пользу взрывной эволюции.

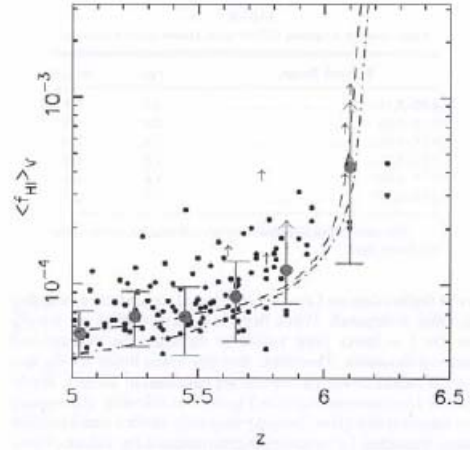


Рис. 4. Быстрое изменение концентрации нейтрального водорода вблизи $z=6$ [4]

3. УРАВНЕНИЕ СМОЛУХОВСКОГО И СЛИЯНИЯ ГАЛАКТИК

3.1. ВЕРОЯТНОСТЬ СЛИЯНИЯ ГАЛАКТИК

Поскольку за неупругость столкновения, приводящую к слиянию, ответственны быстро убывающие приливные силы в бесстолкновительной звездной подсистеме галактик, для слияния необходимо их тесное сближение (вплоть до перекрытия). При большой относительной скорости V галактики пройдут друг сквозь друга даже при полном пересечении. Сечение слияний используем в виде $\sigma = \pi(R_1 + R_2)^2(1 + \gamma)\varphi(\gamma)$, где $\gamma \equiv V_g^2/V^2$ – параметр фокусировки, V – относительная скорость галактик, V_g – скорость убегающая («вторая космическая скорость»), а функция $\varphi(\gamma) \rightarrow 1$ при $\gamma \rightarrow \infty$; $\varphi(\gamma) \rightarrow 0$ при $\gamma \rightarrow 0$ и зависит от модели слияния. Простейший вариант критерия слияния: минимальное расстояние между сталкивающимися галактиками меньше суммы их радиусов $(R_1 + R_2)$, а относительная скорость на бесконечности меньше V_g . Это приводит к следующему выражению (выписываем только зависимости от масс) для коэффициента коагуляции $U \equiv \overline{\sigma V}$, где черта означает усреднение по скоростям галактик:

$$U = \begin{cases} c_{1+\beta}(M_1 + M_2)(M_1^\beta + M_2^\beta), & \text{(большие массы)} \\ c_2(M_1 + M_2)^2, & \text{(малые массы)} \end{cases} \quad (1)$$

Здесь радиус галактики R связан с её массой M соотношением $R = CM^\beta$ ($\beta = 1/3$ соответствует постоянной плотности, $\beta = 1/2$ – наблюдаемым законам Фабера-Джексона и Талли-Фишера). Коэффициенты в (1) равны

$$c_{1+\beta} = 2\sqrt{3\pi}CG/\bar{V}, \quad c_2 = 9\sqrt{3\pi}G^2/2\bar{V}^3, \quad (1a)$$

где G – гравитационная постоянная. Для функции $U(M_1, M_2)$ удобно ввести ее степень однородности u и показатели $u_{1,2}$, описывающие ее асимптотики при сильно отличающихся массах: $U \propto M_1^{u_1} M_2^{u_2}$, $M_1 \ll M_2$, $u_1 + u_2 = u$. Очевидно, что в случае малых масс ($M \ll M_b$) $u_1 = 0$, $u_2 = u = 2$, а для больших масс ($M \gg M_b$) $u_1 = 0$, $u_2 = u = 1 + \beta$, где $M_b = (c\bar{V}^2/G)^{3/2}$ разделяет области больших и малых масс. Заметим, что именно параметры $u_{1,2}$ (т. е. асимптотики U) определяют асимптотики источника в уравнении для функции светимости квазаров (см. ссылки в [19]). Поскольку скрытая масса (темное вещество), также бесстолкновительна, то в простейших схемах, по-видимому, можно не отделять темную материю от светящейся, если считать гало индивидуализированными для галактик.

3.2. ФУНКЦИЯ МАСС ГАЛАКТИК

Если массивные галактики преимущественно образуются в результате слияния менее массивных, то этот процесс отражает их распределение по массам [20, 21] – функция масс (ФМ). Вычислить такую функцию можно, например, если ограничиться парными слияниями, решив описывающее её уравнение Смолуховского (УС):

$$\frac{\partial f(M, t)}{\partial t} = \int dM_1 dM_2 [U_{12} \delta_M f_1 f_2 - cycle - bicycle]. \quad (2)$$

Здесь $f_1 \equiv f(M_1, t)$, $\delta_M \equiv \delta(M - M_1 - M_2)$ – дираковская δ -функция, выражающая закон сохранения массы при слияниях, U_{12} – коэффициент коагуляции (1). В случае обобщенного УС (см. ниже) мы будем считать выполняющимся также закон сохранения углового момента. Законы эти для столкновения галактик отнюдь не очевидны, но с удовлетворительной точностью подтверждаются численными экспериментами [19]. Для темного вещества вопрос остается открытым. Однако, и для него чисто гравитационные взаимодействия и бесстолкновительность должны иметь место. Выход за эти рамки, как и за рамки УС требует использования значительно более изощренного математического аппарата, который применительно к интересующему нас кругу задач еще только развивается. В то же время, как известно, кинетические уравнения хорошо описывают ситуацию и шире формальных рамок применимости. Отметим, что между классическим подходом Пресса и Шехтера [20], использующим ренормгрупповую перенормировку масштаба, и кинетическим подходом также имеется связь. С точки зрения кинетики, в [20] описывается результат многих слияний ближайших соседей с вероятностью, не зависящей от масс. Поэтому взрывной эволюции в этом сценарии не возникает.

3.3. "ВЗРЫВНАЯ" ЭВОЛЮЦИЯ ГАЛАКТИК

В случае галактик весьма существенной оказывается зависимость U от масс, которая приводит, в частности, к взрывной эволюции ФМ. Необычное поведение решения УС (в наших терминах при $u > 1$) было открыто Стокмайером применительно к полимеризации, а затем последовательно переоткрывалось в других областях физики [15-17]. В этом случае в системе происходит нечто близкое к фазовому переходу: за конечное время $t \approx t_{cr}$ устанавливается квази-

степенное распределение $f \propto M^{-\alpha}$, вплоть до формально бесконечных масс ("взрывная" эволюция). Достаточно подробное исследование взрывной эволюции в связи с образованием центральных массивных сD-галактик в группах, эпохой рождения квазаров, эффектом Бутчера-Эмлера «покраснения» галактик на определенных красных смещениях и т.п. было проведено в работах римской и харьковской групп [7,8,10-14]. Если число галактик (с массами порядка M_0) в единице объема равно N_0 , то характерное время взрывной эволюции (если оно много меньше хаббловского) можно оценить как [8]

$$t_{cr} = \xi_u / (c_u N_0 M_0^u), \quad (3)$$

где соответственно $\xi_u = 0.002, 0.26, 0.1$ для $u = 2; 4/3; 3/2$, c_u см. в (1a). Появление в процессе слияний относительно крутой промежуточной асимптотики ($\alpha \approx 2$) легко может быть понято из следующих аргументов. Оба полученные численно значения для индексов ($\alpha \approx 1.9$ для $u = 4/3$ и $\alpha \approx 2.1$ для $u = 3/2$) находятся между $(u+2)/2$ и $(u+3)/2$. ФМ с $\alpha = (u+3)/2$ соответствует постоянному потоку массы вдоль спектра масс до «бесконечности», то есть к сD-галактике в нашем случае. (Решения с постоянным потоком сохраняющейся величины аналогичны колмогоровским спектрам в теории слабой турбулентности). Однако, благодаря нелокальности распределений с $u > 1$ (расходимость интеграла в УС на степенном распределении) такое решение не реализуется точно в обоих наших случаях. Нелокальность приводит к существенной роли взаимодействий между галактиками малых и больших масс. При этом число массивных галактик приблизительно сохраняется и постоянный поток их числа по спектру соответствует индексу $\alpha = (u+2)/2$. В итоге индекс спектра ФМ (как можно видеть из численного решения УС [12]) расположен между этими значениями: $1.67 < \alpha \approx 1.9 < 2.17$ ($u = 4/3$), $1.75 < \alpha \approx 2.1 < 2.25$ ($u = 3/2$). Мы ограничились здесь обсуждением случая больших масс. При малых массах $u = 2$ и нелокальность еще существенней. В этом случае естественным является переход от интегрального УС к соответствующему дифференци-

альному уравнению, которое допускает более детальное аналитическое исследование, что и было предпринято в [8]. Вклад темной материи делает оценку (3) достаточно приемлемой.

4. ОБОБЩЕННОЕ КИНЕТИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ СМОЛУХОВСКОГО

Обобщенное уравнение Смолуховского было введено авторами для описания совместного распределения галактик $f(M, \mathbf{S}; t)$ по массам и моментам \mathbf{S} количества движения [22]. Оно имеет вид:

$$\frac{\partial f(M, \mathbf{S}, t)}{\partial t} = \int d\tau [U_{12} \delta_{ms} f_1 f_2 - \text{cycle} - \text{bicycle}]$$

$$d\tau \equiv dM_1 d\mathbf{S}_1 dM_2 d\mathbf{S}_2,$$

$$\delta_{ms} \equiv \delta(M - M_1 - M_2) \delta(\mathbf{S} - \mathbf{S}_1 - \mathbf{S}_2). \quad (4)$$

Интерес к распределению галактик по моментам определяется формированием различных морфологических типов при слияниях, но этим не ограничивается: слияния приводят к возникновению активности галактических ядер (АЯГ). Один из способов описания этого грандиозного феномена, включающего ультраяркие ИК галактики, радиогалактики и квазары, состоит в учете компенсации момента при слиянии (см. [22, 8]). Найти распределение по массам и моментам $f(M, \mathbf{S}; t)$, устанавливающееся в результате слияний галактик, можно найти, решив обобщенное УС [22]. Аналитически это возможно сделать лишь при весьма упрощающих допущениях. В частности, в т. н. анизотропной модели распределение факторизовано и имеет вид произведения ФМ на острую функцию от моментов. Отказавшись от упрощений, приходится прибегать к численным методам, в частности, к моделированию с помощью метода Монте-Карло [23]. Оказывается, что в системе сливающихся галактик происходит аналог кинетического фазового перехода Стокмайера.

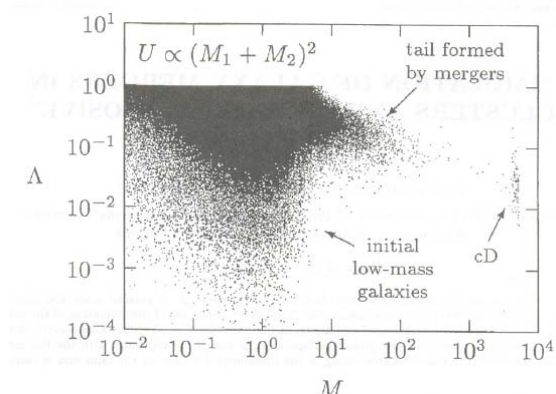


Рис. 5. Формирование степенного «хвоста» ФМ и массивных сD-галактик за счет слияний. По оси ординат отложен безразмерный момент [23].

Система разделяется на две фазы: гигантскую галактику, в которой заключена макроскопическая часть массы и много мелких галактик. Возникающую гигантскую галактику можно отожде-

ствить с реальными сD-галактиками в центрах групп и скоплений. Среди мелких большинство составляют галактики, ни разу не испытавшие слияния. За счет слияний образуется степенное распределение. Его ФМ, полученная в результате численного моделирования (рис.5), находится в хорошем согласии с функцией, полученной прямым решением УС [12, 22].

Вследствие значительного вклада слияний между относительно небольшим числом появляющихся массивных галактик и мало массивными галактиками, время t_{cr} , соответствующее "фазовому переходу", существенно меньше среднего времени парных столкновений. Этот процесс можно также сопоставить наблюдаемому укрупнению ФМ галактик на ее легком конце [14]. При $\alpha > 2$ основная барионная масса Вселенной может быть сосредоточена в невидимых маломассивных галактиках.

4.1. АКТИВНОСТЬ И СЛИЯНИЯ

Согласно практически общепринятым представлениям активные ядра галактик (АЯГ) представляют собой весьма сложно устроенную аккрецирующую систему вокруг сверхмассивной черной дыры, находящейся в центре хозяйской галактики. (Упомянем аккреционный диск, затеняющий тор или толстый диск, по оси которого направлен радиовыброс в случае радиогромких объектов, систему быстролетающих облаков, формирующих широкие, а на больших расстояниях – уже за тором – узкие оптические эмиссионные линии и т.п.). Хотя в силу чрезвычайной эффективности энерговыделения при аккреции для питания большинства АЯГ достаточно "внутренних ресурсов", они, по не вполне понятным причинам, не обеспечивают необходимую поставку топлива. Данные последних трех деkad, а в особенности данные космического телескопа Хаббла, убедительно свидетельствуют в пользу того, что взаимодействие галактик и, в первую очередь, их слияния (это непосредственно подтверждается наблюдением хозяйских галактик ближайших квазаров [24]) ответственны за феномен активности, поставляя необходимое для аккреции вещество. Процесс слияний может носить взрывной характер (см. выше) и "эпоха квазаров" может соответствовать заключительному этапу сборки массивных галактик из строительных блоков (мало массивных и карликовых галактик), когда возмущенные движения достигают центра.

Подобная "сборка" галактик позволяет объяснить как быстрое убывание числа квазаров от прошлого к настоящему, так и известный обрыв в их распределении на больших красных смещениях, сделать выводы о виде и эволюции их функции светимости [11-13, 25] и т.п. Радиогромкие квазары в модели слияний естественно связываются с вращением черной дыры, которое инициируется либо недавним "сильным" слиянием с галактикой сравнимой массы, либо относительно

небольшим количеством "слабых" слияний массивной галактики с галактиками малых масс.

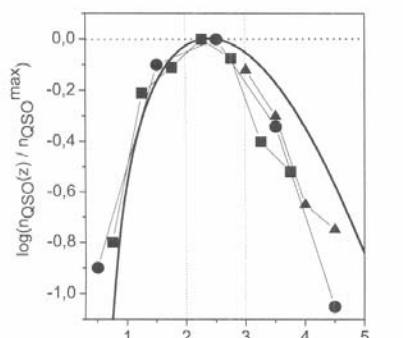


Рис. 6. Распределение ярких квазаров по красным смещениям [25].

Местонахождение удаленных квазаров в скоплениях, а более близких в группах, способствует слияниям. Наиболее экзотический вариант – возможность слияния галактики (или облака межгалактической среды) с "голой" массивной черной дырой [26].

В модели слияний характерная масса галактик со временем растет, а светимость квазаров после эпохи их образования, как известно из наблюдений, падает.

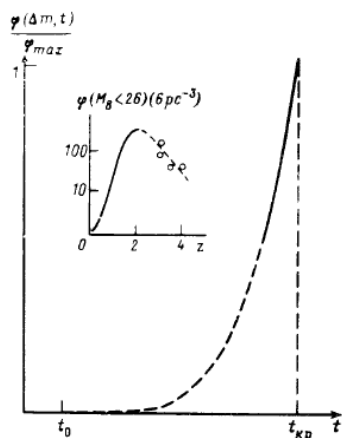


Рис. 7. Изменение числа активных галактик при взрывной эволюции [8]. Аналогично ведет себя и распределение галактик по массам [27]. На врезке – ранний вариант распределения квазаров по z .

Таким образом, простая космологическая эволюция ФМ не может быть причиной этого падения. Одно из возможных объяснений уменьшения светимости квазаров [28] заключается в космологической эволюции доли вещества η , реально попадающего в центр при слияниях [13]. Уменьшение η на космологических временах можно связать с уменьшением содержания газа в галактиках. Действительно, при слиянии в центр попадает, в основном, газ, а за счет интенсивного звездообразования при каждом слиянии его доля, естественно, должна уменьшаться, как это и наблюдается. Влияет также эволюция контраста

плотности галактик. При этом для не эволюционирующей ФМ доля вещества, попавшего в центр, изменяется с $\eta \sim 0.12-0.3$ при $z \sim 2$ до $\eta \sim 0.025-0.043$ при $z \sim 0.5$, а средний контраст плотности в местах образования квазаров – от $\sim 1.4-2.4$ при $z \sim 2$ до $\sim 4.5-7.2$ при $z \sim 0.5$. (В случае эволюции ФМ и учета эддингтоновского ограничения светимости параметр η и контраст плотности могут быть еще выше). Таким образом, рассматриваемая модель может описать наблюдаемую эволюцию квазаров.

Галактики в обсуждаемой схеме являются носителями массы и момента. Возможна параметризация хаббловских морфологических типов различными значениями эффективного момента $S_{eff}(M)$ [22, 29]). Дополнительное обсуждение и ссылки на работы по взрывной эволюции галактик можно найти также в обзорах [30, 31].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Если предположение об обнаружении взрывной эволюции галактик за счет слияний подтвердится, это даст не только новые возможности исследования их эволюции, но и новые данные о скрытой массе и темной материи в галактиках, существенно влияющей на эти процессы.

ЛИТЕРАТУРА

1. R.J. Bouwence & G.D. Illingworth. Rapid Evolution in the Most Luminous Galaxies During the First 900 Million Years // *Nature*, 2006, v. 443, p. 189-193.
2. M. Iye, et al. A galaxy at a redshift $z=6.96$ // *Nature*, 2006, v. 443, p. 184-188.
3. J.S. Dunlop, et al. A systematic search for very massive galaxies at $z>4$ // *MNRAS*, 2007, v. 376, p. 1054-1064.
4. X. Fan et al. Constraining the evolution of the ionizing background and the epoch of re-ionization with $z\sim 6$ quasars // *Astron. J.*, 2006, v. 132, p. 117-136.
5. R. Ellis and J. Silk. New frontiers in cosmology and galaxy formation: challenges for the future. In: *Structure formation in Astrophysics*, Ed. G. Chabrier, Cambridge: CUP, 2008.
6. M. Schmidt, D.P. Schneider & J.E. Gunn. Evolution of the luminosity function from quasars detected by their Ly α emission // *Astron. J.*, 1995, v. 110, p. 68-77.
7. A. Cavaliere, B. Colofrancesco, N. Menci. The merging runaway // *Astrophys. J.*, 1991, v. 376, №2, p. L37-41.
8. В.М. Конторович, А.В. Кац, Д.С. Кривицкий. "Взрывная" эволюция галактик в модели слияний и эпоха возникновения квазаров // *Письма в ЖЭТФ*, 1992, т. 55, №9, с. 3-9.
9. R.C. Kennicutt, P. Schweizer & J.E. Barnes. *Galaxies: Interactions and Induced Star Formation*. Saas-Fee Advance Course, v. 26, Springer, 1998, 404 p.

10. A. Cavaliere, S. Colofrancesco & N. Menci Merging in cosmic structures // *Astrophys. J.*, 1992, v. 392, No 1, p. 41-44.
11. V.M. Kontorovich. The connection between the interaction of galaxies and their activity // *Astron. and Astrophys. Trans.*, 1994, v. 5, No 3, p. 259-278.
12. V.M. Kontorovich, D.S. Krivitsky, A.V. Kats. "Explosive" evolution of galaxies (an analogue of collapse) and appearance of quasars in the merger model // *Physica D*, 1995, v. 87, p. 290-294.
13. В.М. Конторович, Д.С. Кривицкий. Функция светимости квазаров в модели слияний // *Письма в Астрон. журн.*, 1995, т.21, №9, с. 643-649.
14. V.M. Kontorovich. The weak turbulence methods in the problem of galaxy mass distribution function // *Problems of Atomic Sci. & Techn.*, 2000, №6, Series: Plasma Physics, p. 84-87.
15. В.М. Волошук *Кинетическая теория коагуляции*. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984, 284 с.
16. W.H. Stockmayer. Theory of molecular size distribution and gel formation in branched-chain polymers // *J. Chem. Phys.*, 1943, v. 11, №2, p. 45-55.
17. Б.А. Трубников. Решение уравнений коагуляции при билинейном коэффициенте слипания частиц // *ДАН СССР*, 1971, т. 196, с. 1316-1319.
18. C. Steidel. Observing the epoch of galaxy formation // *Proceedings of the NAS of the USA*, 1999, v. 96, p. 4232-4235.
19. В.М. Конторович. Влияние слияний на динамические свойства галактик // *КФНТ*, 1999, Приложение №2, с. 47-56.
20. W.H. Press & P. Shechter Formation of galaxies and clusters of galaxies by self-similar gravitational condensation // *Astrophys. J.*, 1974, v. 187, №3, p. 425-435.
21. B. Binggeli, A. Sandage, G.A. Tammann The luminosity function of galaxies // *Ann. Rev. Astron. Ap.*, 1988, v. 26, p. 509-560.
22. Кац А.В., Конторович В.М. Распределение галактик по массам и моментам, формирующееся в результате слияний, и проблема активности ядер // *ЖЭТФ*, 1990, т. 97, №1, с. 3-19.
23. V.M. Kontorovich, D.S. Krivitsky. Merger of galaxies in clusters: Monte Carlo simulation of mass and angular momentum distribution // *Astron. & Astrophys.* 1997, v. 327, p. 921-929.
24. J.N. Bacall, S. Kirhakos, D.P. Schneider. PKS 2349-014: a luminous quasar with thin wisps // *Astrophys.J.*, 1995, v. 447, №1, p. L1-4.
25. P.A. Shaver. High Redshift Quasars. In: *17-th Texas Symposium on Relativistic Astrophysics and Cosmology*. Eds: H. Boringe, G.E. Morfill and J.E. Trumper. NY Acad. Sci., N.Y. 1995, p. 87-109.
26. M.J. Valtonen, P. Heinamaki. Double Radio Sources: Two Approaches // *Astrophys. J.*, 2000, v. 530, №1, p. 107-123.
27. A.V. Kats, V.M. Kontorovich, D.S. Krivitsky. Galaxy mass spectrum explosive evolution caused by coalescence // *Astron. and Astrophys. Trans.*, 1992, v. 3, p. 53-56.
28. A. Cavaliere, V. Vittorini. The fall of the quasar population, *Astrophys. J.*, 2000, v. 543, №2, p. 599-610; *astro-ph/9802320*.
29. V.M. Kontorovich, M.F. Khodyachikh, K.L. Golobokov, V.N. Balashov. The effective rotational momentum as a characteristic of the Hubble's type of galaxies // *Astr. & Ap. Tr.*, 1995, v. 8, p. 83-88.
30. V.M. Kontorovich. Zakharov's transformation in the problem of galaxy mass distribution function // *Physica D*, 2001, v. 152-153, p. 676-681.
31. В.М. Конторович. Линейные и нелинейные волны. Ч.2. // *Радиофизика и радиоастрономия*, т. 11, №1, с. 5-30, 2006.

DARK MATTER AND EXPLOSIVE GALAXY EVOLUTION

V.M.Kontorovich

The fast evolution of number of massive galaxies at the redshift $z=6$, which recent was found in analyses of the ultra deep Hubble field and the same of Subaru, may be explained by the explosive character of galaxy mergings.

СКРЫТАЯ МАССА И ВЗРЫВНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ГАЛАКТИК

В.М.Конторович

Быстрая эволюция числа массивных галактик при красном смещении $z = 6$, обнаруженная в последние годы при анализе сверхглубокого поля Хаббла и Субару, может быть объяснена взрывным характером процесса слияний галактик.

СКРИТА МАССА ТА ВИБУХОВА ЕВОЛЮЦІЯ ГАЛАКТИК

В.М.Конторович

Швидка еволюція числа масивних галактик при червоному зміщенні $z = 6$, яка була виявлена в останні роки з аналізу надглибокого поля Хаббла і Субару, може бути пояснена вибуховим характером процесу злиття галактик.

ВАНТ №4 (68) 2010, с.137-142.