

скользящего разряда по поверхности твердых диэлектриков применительно к высоковольтным коммутаторам, «Электронная техника», сер. 4. Электроракунные и газоразрядные приборы», 1975, № 6, с. 9; Андреев С. И., Зобов Е. А., Сидоров А. Н., Метод управления развитием и формированием системы параллельных каналов скользящих искр в воздухе при атмосферном давлении, «Ж. ПМТФ», 1976, № 3, с. 12; Зарослов Д. Ю., Кузьмин Г. П., Тарасенко В. Ф., Скользящий разряд с CO₂ и эксимерных лазерах, «Радиотехника и электроника», 1984, т. 29, в. 7, с. 1217; Брындавалов П. П. и др., Азотный лазер на основе скользящего по поверхности диэлектрика разряда, «Квантовая электроника», 1988, т. 15, № 10, с. 1971. Г. П. Кузьмин.

СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК — гигантские плотные группировки галактик, содержащие горячей ионизованный газ и невидимое вещество. Обычно С. г., в отличие от групп, цепочек и др. систем галактик, называют комплексы, имеющие размеры прибл. до 1,5—3 Мпк и включающие от неск. сотен до десятков тысяч галактик высокой и средней светимости. Форма С. г. близка к эллиптической. С. г. делятся по богатству (кол-ву галактик) на 6 классов — от 0 до 5. Ближайшее к Галактике С. г. в созвездии Девы (класс богатства 0) содержит ок. 200 галактик, в т. ч. 7 гигантских эллиптических и 10 гигантских спиральных галактик. Ближайшее богатое С. г. в созвездии Волосы Вероники (класс 2 или 3) содержит ок. 10⁴ галактик высокой и средней светимости, преим. эллиптических и линзовидных, и очень мало спиральных галактик. Концентрация галактик в центрах богатых (класса 2 и выше) С. г. превышает 10³ Мпк⁻³. Известно ок. 3000 богатых С. г. В скопления входит часть всех галактик. Галактики скоплений обеспечивают лишь ок. 5% светимости всех галактик.

При сравнительно небольших размерах С. г. в них наблюдаются очень большие среднеквадратичные скорости галактик (v) — до 1—2·10³ км/с. Согласно *вириала* теореме это означает, что С. г. обладают очень большой массой (вириальной массой) M_v , определяемой соотношением

$$M_v = 2\alpha R v^2 G^{-1} \approx 0,5\alpha 10^{15} M_{\odot} v^2 R,$$

где R — радиус скопления (Мпк); M_{\odot} — масса Солнца; G — гравитац. постоянная; α — безразмерный численный коэф. порядка 1, зависящий от распределения плотности С. г. (v в тыс. км/с). С др. стороны, зная светимость С. г. и зависимость масса — светимость (см. *Масса — светимость зависимость*) для галактик, входящих в скопление, можно оценить массу светящегося вещества скопления, M_L . Такие оценки выполнены для центр. частей неск. десятков С. г. Найдено, что $M_L \sim 0,1 M_v$. Значит, расхождение оценок M_L и M_v , впервые отмеченное Ф. Цвикки (F. Zwicky) в 1930-х гг., является одним из самых серьезных свидетельств данных наблюдений в пользу существования невидимого тяготеющего вещества (*скрытой массы*), к-рое в масштабах С. г. прибл. в 10 раз превосходит массу видимого вещества, сосредоточенного в галактиках.

В 70-х гг. обнаружено рентг. излучение горячего газа, заполняющего С. г. Исследование спектра излучения и распределения яркости позволило оценить темп-ру и распределение плотности газа. Оказалось, что в богатых С. г. эти величины хорошо коррелируют со скоростями галактик и их распределением. В более бедных С. г. наряду с общим рентг. фоном выделяется излучение корон отдельных наиб. массивных галактик, гравитац. потенциал к-рых сравним с гравитац. потенциалом скопления как целого. Масса горячего газа в центр. областях С. г. не превосходит неск. процентов вириальной массы скопления, его плотность ок. 10⁻³ см⁻³. Эти данные служат важным независимым подтверждением стационарности С. г. и приведённых выше оценок массы видимого и невидимого вещества в них. Подробные спектральные наблюдения нескольких наиб. ярких С. г. показывают, что в горячем газе присутствуют высокоионизованные тяжёлые элементы (напр., Fe⁺²⁵) с относит. содержанием ок. 0,1—0,3 солнечного (см. *Распространённость элементов*). Это значит, что газ С. г. не является первичным и частично прошёл переработку в звёз-

дах. Однако ныне невозможно сказать, как протекали эволюции горячего газа и его обогащение тяжёлыми элементами. Горячий газ в С. г. может наблюдаться также по искажению спектра *микроволнового фонового излучения* — эффект Зельдовича — Сюняева. Эффект связан с рассеянием фотонов этого излучения на электронах горячего газа С. г., что ведёт к росту ср. энергии фотонов и падению темп-ры излучения T в области спектра, где $h\nu \ll kT$ (ν — частота излучения). Эффект, по-видимому, наблюдается в двух С. г. Одноврем. наблюдение рентг. излучения С. г. и эффекта Зельдовича — Сюняева позволяет точнее оценить параметры С. г., поскольку эти наблюдаемые величины зависят от разных комбинаций темп-ры и плотности газа и размеров скопления.

Наблюдаемая эллиптичность формы С. г., вероятно, связана с анизотропией распределения галактик по скоростям. Это свидетельствует о том, что С. г. возникли при объединении уже сформировавшихся галактик и никогда не проходили фазы стационарного газового облака. Такое заключение согласуется с наблюдаемыми особенностями распределения галактик скопления по скоростям. В большинстве С. г. дисперсия скоростей (квадрат среднеквадратичной скорости) не зависит от массы галактик. Это значит, что в системе успели пройти процессы быстрой релаксации скоростей галактик по скоростям с дисперсией скоростей, зависящей от массы галактик (такая зависимость отмечена лишь у неск. плотных С. г.). Это — свидетельство сравнит. молодости С. г.

С. г. наблюдаются вплоть до красных смещений $z \approx 1$ (С. г. 3C184), тогда как квазары найдены вплоть до $z \approx 4$. Поэтому прямых данных об эпохе формирования С. г. наблюдения не дают. Интересно, что хотя вблизи квазаров часто видят отд. галактики, отмечена отчётливая антикорреляция распределений квазаров и С. г.

С. г. являются ярчайшими элементами *крупномасштабной структуры Вселенной*. Изучение окрестностей Галактики показывает, что богатые С. г., как правило, расположены в узлах, в к-рых сходятся неск. цепочек и сверхскоплений галактик. Менее богатые С. г. часто расположены цепочкой вдоль мощного сверхскопления галактик. Довольно часто С. г., подобно галактикам, собираются в небольшие группы из 2—3 членов. В неск. случаях наблюдается слияние двух С. г., сопровождаемое мощным рентг. излучением. Определённая на основе наблюдений корреляц. ф-ция распределения С. г.

$$\xi(r) \approx (r/r_c)^{-1,8}, \quad r_c \approx 25h^{-1} \text{ (Мпк)}$$

(r — расстояние между парами С. г., h — безразмерный параметр; см. *Хаббла закон*) по форме подобна корреляц. ф-ции галактик, но отличается от неё значением корреляц. радиуса r_c , прибл. в 5 раз превосходящего принятое значение корреляц. радиуса распределения галактик. Отмечается зависимость значения r_c от класса богатства и объёма выборки. Различие корреляц. радиусов распределения галактик и С. г. частично связано с сильным разливом плотности их распределения в пространстве. Подробное изучение и численное моделирование эффекта показывают, что, вероятно, необходимо допустить и добавочное крупномасштабное (~ 50 Мпк) скучивание вещества, к-рое трудно заметить при изучении распределения галактик.

Модели образования структуры Вселенной, основанные на теории *гравитационной неустойчивости*, в общих чертах неплохо описывают образование С. г. и их положение как элементов крупномасштабной структуры. Более подробное изучение этого процесса методами численного моделирования затруднено из-за большого объёма вычислений. Приближённое описание на базе теории особенностей градиентных отображений (см.