

КРУПНОМАСШТАБНАЯ СТРУКТУРА ВСЕЛЕННОЙ — термин, введённый для обозначения строения Вселенной в масштабах от неск. Мпк до неск. сотен Мпк (в первую очередь пространственного распределения галактик, их скоплений и сверхскоплений; рис.).

Изучение пространственного распределения галактик — трёхмерного крупномасштабного строения Вселенной — стало возможным благодаря совр. достижениям внегалактич. астрономии в массовом определении расстояний до далёких галактик. В осн. методе оценки расстояний до очень далёких объектов (галактик и их скоплений) используются измерение скорости удаления галактики (по *Доплера эффекту*) и *Хаббла закон* $v = H_0 r$, где v — скорость галактики вдоль луча зрения, r — расстояние до галактики, H_0 — постоянная Хаббла. Совр. астр. измерения H_0 дают значения от 50 до 100 км/(с·Мпк). Для учёта неопределённости значения H_0 вводят безразмерный параметр h , так что $H_0 = 100h$ км/(с·Мпк). Этот метод определения расстояний до галактик обладает принципиальными недостатками: 1) абс. значения расстояний содержат неопределённый множитель h^{-1} ; 2) отклонения в движении галактик от закона Хаббла, связанные с существованием неоднородностей, вносят искажения в оценку расстояний. Первая погрешность влияет лишь на общий масштаб К. с. В., не искажая её пропорций, вторая — приводит к нек-рой деформации структуры, наиб. ярко проявляясь в видимом растяжении богатых скоплений галактик вдоль луча зрения, тем больше, чем выше скорости галактик, находящихся в гравитац. поле скопления.

Среди скоплений галактик особый класс составляют т. н. богатые, или эйбелловские, скопления, названные по имени Дж. Эйбелла (G. O. Abell), составившего их первый каталог. Они имеют размеры в неск. Мпк и представляют собой наиб. плотные сгущения галактик во Вселенной. В центр. областях наиб. компактных скоплений концентрация галактик превосходит $10^3 h^3$ Мпк $^{-3}$, что превышает ср. концентрацию галактик во Вселенной более чем в 10^4 раз. Известно ок. 3000 богатых скоплений галактик.

Сверхскопления галактик имеют бльшие размеры (20—100 h^{-1} Мпк), но концентрация галактик в них существенно меньше. Они, как правило, сильно анизотропны (отношение осей до 1 : 10), состоят из неск. богатых скоплений, соединённых перемычками из отд. галактик. Выделено около десятка сверхскоплений, среди к-рых есть сплюснутые, как Местное сверхскопление, в к-ром расположена наша *Галактика*, и вытянутые, как сверхскопление в созвездиях Персея — Рыб. Сверхскопления не обладают чёткими границами, они непрерывно переходят одно в другое, образуя единую связную структуру, к-рую наз. сетчатой или ячеистой. Между сверхскоплениями обнаружены гигантские «чёрные области», достигающие $100 h^{-1}$ Мпк в поперечнике, в к-рых галактики практически отсутствуют. В масштабах, превышающих неск. сотен Мпк, Вселенная практически однородна.

Для статистич. оценки однородностей распределения галактик в разных масштабах используют корреляц. ф-ции, из к-рых наиб. распространение получила двухточечная корреляц. ф-ция $\xi_g(r)$, определяемая соотношением

$$dP = \bar{n}_g [1 + \xi_g(r)] dV,$$

где dP — вероятность найти галактику в малом объёме dV на расстоянии r от выбранной наугад др. галактики, \bar{n}_g — средняя пространственная концентрация галактик. Ф-ция $\xi_g(r)$, построенная на основе данных о пространственном распределении неск. тысяч ближайших галактик, имеет примерно степенной вид $\xi_g(r) \approx (r/5 h^{-1} \text{ Мпк})^{-1.8}$ в диапазоне от $\approx 0,1 h^{-1}$ Мпк до $\approx 10 h^{-1}$ Мпк; в бльших масштабах ξ_g определяется ненадёжно из-за ошибок возрастания ошибок.

Другая корреляц. ф-ция $\xi_c(r)$, рассчитанная по распределению примерно полутора сотен ближайших бо-

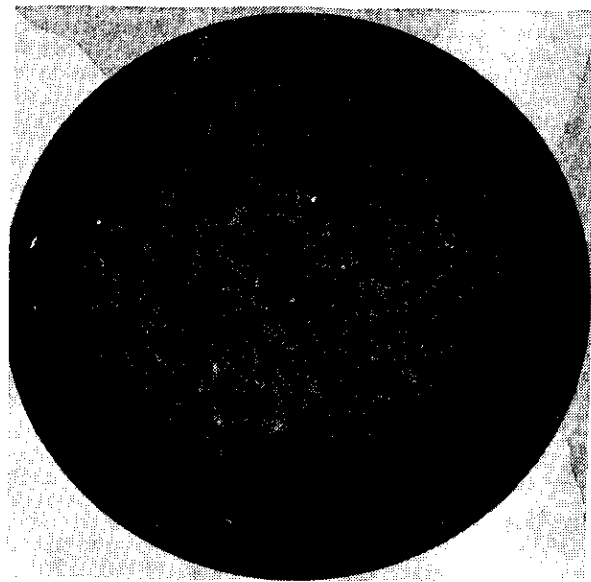
гатых скоплений галактик, тоже имеет примерно степенной вид в диапазоне расстояний от $\approx 2,5 h^{-1}$ Мпк до $50 h^{-1}$ Мпк: $\xi_c(r) \approx (r/25 h^{-1} \text{ Мпк})^{-1.8}$. Корреляц. анализ показывает, что во Вселенной существует закономерность (определ. масштаб) в распределении галактик и, что существенно, в распределении скоплений галактик также существует свой масштаб.

Изучение вращения спиральных галактик, распределения скоростей галактик в скоплениях и сверхскоплениях показало, что бльшая часть (возможно до 90%) полной массы Вселенной невидима и обнаруживается лишь по гравитац. воздействию на наблюдаемые объекты. Это — т. н. *скрытая масса* Вселенной. Оставшаяся доля массы ($\approx 10\%$) приходится на массу барионов (нуклонов), из к-рых состоит вещество звёзд. Носители скрытой массы могут быть слабозаимодействующие частицы, обладающие отличной от нуля массой (вероятные кандидаты — *нейтрино*, *фотино*, *аксион* и т. п.).

Теории образования К. с. В. основываются на привлечении к-н. механизма усиления первичных (космологических) неоднородностей плотности вещества Вселенной (см. *Адиабатические флуктуации*), наиб. вероятным из к-рых является гравитационная неустойчивость. Среди др. механизмов рассматривается также взрывной процесс — воздействие на вещество Вселенной взрывов большого числа *сверхновых звёзд* первого поколения.

Гравитац. неустойчивость на стадии образования К. с. В. может проявляться в разл. формах в зависимости от вида спектра малых неоднородностей плотности, характерного для предшествующей стадии. В одном крайнем случае гравитац. неустойчивость приводит к иерархич. скучиванию вещества, в другом — к его фрагментации.

Процесс иерархич. скучивания протекает в том случае, если нач. возмущения плотности имеют сравнимые амплитуды как в масштабах сверхскоплений (для масс $M \sim 10^{15} M_\odot$), так и в масштабах галактик ($M \sim 10^{11} M_\odot$) и, возможно, в ещё меньших масштабах — вплоть до $10^6 M_\odot$ (здесь M_\odot — масса Солнца). В этом случае первыми возникают наим. массивные объекты.



Распределение галактик в северном галактическом небе (по Э. Гроту, П. Пиблсу и др.), полученное с помощью компьютера. Окружность — галактический экватор, с которым совпадает плоскость Галактики. При приближении к экватору видимая плотность галактик падает, что связано с возрастающей непрозрачностью диска Галактики.