



ГРАВИТАЦИОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ

Авторы: А. Г. Дорошкевич

ГРАВИТАЦИОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ, развитие возмущений плотности и скорости среды под действием сил собственного тяготения. Согласно совр. взглядам, Г. н. однородного и изотропно расширяющегося вещества привела к образованию наблюдаемой *крупномасштабной структуры Вселенной* – галактик, их скоплений и сверхскоплений. Г. н., вероятно, играет также важную роль в образовании звёзд и звёздных скоплений.

Линейная теория гравитационной неустойчивости

Если рассматриваются лишь силы тяготения и газовое давление, Г. н. проявляется в областях, размеры которых превышают критич. размер Джинса (длину волны Джинса)

$l_{Дж}$, зависящий от плотности вещества

ρ и скорости звука

$c_{зв}$:

$$l_{Дж} = 2\pi c_{зв} t_h = 2\pi c_{зв} (4\pi G\rho)^{-1/2}.$$

Здесь

$t_h = (4\pi G\rho)^{-1/2}$ – характерное время эволюции вещества с плотностью

ρ под действием тяготения,

G – гравитац. постоянная. Т. о., в этом случае размер

$l_{Дж}$ близок к расстоянию, которое проходит звук за время

t_h . Аналогичные формулы для

$l_{Дж}$ могут быть получены и при учёте др. негравитац. сил (центробежных, магнитных и др.). Эти силы увеличивают устойчивость распределения вещества и значение

$l_{Дж}$ в некоторых направлениях. Иногда среду удобно характеризовать массой

Джинса

$M_{Дж}$, связанной с

$l_{Дж}$ соотношением $M_{Дж} = \rho (l_{Дж}/2)^3$ $M_{Дж} = \rho (l_{Дж}/2)^3$.

Идея Г. н. была высказана И. [Ньютоном](#) в 1692. Практич. разработка теории началась после работы Дж. [Джинса](#) (1902), рассматривавшего вопросы происхождения звёзд. Теория Г. н. хорошо разработана для однородной нестационарной среды (в связи с задачами происхождения структуры Вселенной), а также для разл. стационарных (хотя бы в одном направлении) распределений вещества: плоский слой, осесимметричные конфигурации (в т. ч. и с вращением), тонкий диск и др.

В достаточно больших масштабах [гравитационное взаимодействие](#) по силе превосходит все др. известные виды взаимодействий. Поскольку гравитац. энергия среды при распаде её на сгустки уменьшается, то близкое к однородному распределение вещества неустойчиво относительно распада на отд. облака достаточно большого масштаба. Напротив, в малых масштабах роль тяготения невелика и гравитация существенно не влияет на развитие возмущений. Так, напр., адиабатические возмущения в идеальном газе в больших масштабах растут под действием тяготения, а в малых масштабах превращаются в обычные звуковые волны.

Скорость роста возмущений под действием сил тяготения зависит от масштаба возмущений. Возмущения в масштабах меньших критического ($l < l_{Дж}$) не нарастают вовсе. Возмущения в масштабах больших критического растут тем быстрее, чем больше масштаб. В пределе $l \gg l_{Дж}$ скорость роста возмущений не зависит от масштаба, и возмущения растут (на линейной стадии) без искажения начальной формы (в т. н. автомодельном режиме).

В однородных космологич. моделях возмущения развиваются на нестационарном фоне. Изменение со временем плотности вещества и скорости звука ведёт к изменению $l_{Дж}$ и скорости развития возмущений. Эти процессы, меняя режим развития неоднородностей, искажают спектр возмущений, сформированный в период инфляции и определяющий наблюдаемую сегодня крупномасштабную структуру Вселенной.

Нелинейная теория гравитационной неустойчивости

Крупномасштабная структура Вселенной формируется на нелинейной стадии развития возмущений, которая наступает в период, когда относительные возмущения плотности

$\Delta\rho/\rho$ становятся сравнимыми с единицей. В период доминирования нерелятивистских частиц развитие неоднородностей в начальный период нелинейного сжатия хорошо описывается (приближённой) теорией Г. н. (Я. Б. [Зельдович](#), 1970). Пока возмущения малы, эта теория совпадает с теорией возмущений в среде без давления. Теория предсказывает, что в начальный период происходит одномерное сжатие вещества с образованием т. н. блинов Зельдовича. В настоящее время «блины» наблюдаются как гигантские сверхскопления галактик и отд. цепочки групп галактик. Увеличиваясь в размерах, «блины» со временем сливаются и создают единую крупномасштабную сетчатую структуру Вселенной.

Степень развития крупномасштабной структуры и её эволюцию во времени изучают методами кластерного анализа и теории перколяции. Интересно, что хотя в образующие структуру «блины» входит до 70% вещества, они занимают лишь ок. 10% объёма. Между яркими плотными «блинами» расположены громадные области пониженной плотности, не содержащие галактик (ярких).

Литература

Лит.: Лифшиц Е. М., Халатников И. М. Проблемы релятивистской космологии // Успехи физических наук. 1963. Т. 80. Вып. 7; Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. Строение и эволюция Вселенной. М., 1975; Пиблс Ф. Дж. Э. Структура Вселенной в больших масштабах. М., 1983.

Processing math: 100%