

Под действием сил взаимного притяжения они сближаются и последовательно образуют всё более крупные объекты вплоть до сверхскоплений галактик (эскалация масштабов).

Процесс фрагментации возможен, если по к.-л. причинам в спектре нач. возмущений диссипируют неоднородности в масштабах менее  $10^{15} M_{\odot}$ , как это, напр., имеет место в модели нейтринной Вселенной, в к-рой осн. масса приходится на космологич. нейтрино (предполагается, что нейтрино имеют массу  $\sim 10-100$  эВ). В модели фрагментации первыми возникают сгущения вещества с  $M \sim 10^{15} M_{\odot}$ , причём они имеют характерную форму «блинов» — сильно сплюснутых газовых облаков повышенной плотности. С течением времени «блины» разрастаются и смыкаются друг с другом, образуя связную ячеистую структуру. Образование галактик в этой модели связано с дроблением (фрагментацией) «блинов» на части.

Если осн. доля массы Вселенной приходилась на слабовазаимодействующие релятивистские частицы (нейтрино или др.), то ведущим фактором в образовании К. с. В. являлся рост возмущений в распределении этих частиц. К сгусткам газа релятивистских частиц под действием сил тяготения подтягивалось обычное вещество (барiony). Как в иерархич. модели, так и в модели фрагментации предполагается, что галактики образовались из неоднородностей барионной компоненты и осн. роль при этом играли газодинамич. и тепловые процессы.

Наблюдаемая К. с. В. не получила исчерпывающего объяснения ни в одной из предложенных теорий, хотя качественно лучше согласуется с картиной фрагментации, естественно объясняющей анизотропию и связность сверхскоплений, а также существование «чёрных областей». Возможно, что в природе осуществляется нек-рый промежуточный вариант.

Тесная связь процесса образования К. с. В. с типом элементарных частиц, доминирующих в ср. плотности Вселенной в эпоху образования К. с. В., позволяет использовать изучение К. с. В. для исследований ряда физ. свойств этих частиц, пока не осуществимых в совр. лабораториях. Так, космологич. данные ограничивают массу всех типов стабильных нейтрино и антинейтрино величиной  $\Sigma m_{\nu} < 100$  эВ.

*Лит.*: Шандарин С. Ф., Дорошкевич А. Г., Зельдович Я. Б., Крупномасштабная структура Вселенной, «УФН», 1983, т. 139, с. 83; Пиблс Ф. Дж. Э., Структура Вселенной в больших масштабах, пер. с англ., М., 1983; Oort J. H., Superclusters, «Ann. Rev. Astron. Astrophys.», 1983, v. 21, p. 373.

**КРУТИЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ** — механич. колебания, при к-рых упругие элементы испытывают деформации сдвига. Имеют место в разл. машинах с вращающимися валами: в поршневых двигателях, турбинах, генераторах, редукторах, трансмиссиях транспортных машин.

К. к. возникают в результате неравномерности перюдич. момента как движущих сил, так и сил сопротивления. Неравномерность крутящего момента вызывает неравномерность изменения угловой скорости вала, т. е. то ускорение, то замедление вращения. Обычно вал представляет собой чередование участков с малой массой и упругой податливостью с более жёсткими участками, на к-рых закреплены значит. массы. В каждом сечении вала будет своя степень неравномерности вращения, поскольку в одинаковый промежуток времени массы проходят разные углы и, следовательно, движутся с разными скоростями, что создаёт переменное кручение вала и динамич. знакопеременные напряжения, гл. обр. касательные.

При совпадении частот собств. колебаний системы с частотой периодич. крутящего момента движущих сил и сил сопротивления возникают резонансные колебания. В этом случае повышается уровень динамич. переменных напряжений; возрастает акустич. шум, излучаемый работающей машиной. Динамич. знакопе-

ременные напряжения при неправильно выбранных (заиженных) размерах вала, недостаточной прочности его материала и возникновении резонанса могут превысить предел выносливости, что приведёт к усталости материала вала и его разрушению.

При расчёте К. к. валов машин часто пользуются расчётной схемой с двумя дисками, соединёнными упругим стержнем, работающим на кручение. В этом случае собств. частота

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C(I_1 + I_2)}{I_1 I_2}},$$

где  $I_1$  — момент инерции 1-го диска,  $I_2$  — момент инерции 2-го диска,  $C$  — крутильная жёсткость стержня. Для круглого стержня диаметром  $d$  и длиной  $l$   $C = \pi d^4 G / 32l$ , где  $G$  — модуль сдвига. Более сложные расчётные схемы содержат большее число дисков, соединённых стержнями и образующих последоват. цепи, а иногда — разветвлённые и кольцевые цепи. Расчёт собств. частот форм и вынужденных К. к. по этим расчётным схемам производится на ЭВМ.

Др. примером К. к. является крутильный маятник, к-рый представляет собой диск, закреплённый на одном конце стержня, работающего на кручение и жёстко заделанного др. концом. Собств. частота такого маятника  $f = (1/2\pi) \sqrt{C/I}$ , где  $I$  — момент инерции диска. Приборы с использованием крутильного маятника применяют для определения модуля упругости при сдвиге, коэф. внутр. трения твёрдых материалов при сдвиге, коэф. вязкости жидкостей.

К. к. возникают в разнообразных упругих системах; в нек-рых случаях возможны совместные колебания с разл. видами деформации элементов системы, напр. изгибно-крутильные колебания. Так, при определ. условиях полёта под действием аэродинамич. сил иногда возникают самовозбуждающиеся изгибно-крутильные колебания крыла самолёта (т. н. флаттер), к-рые могут вызывать разрушение крыла.

*Лит.*: Ден-Гартог Д. П., Механические колебания, пер. с англ., М., 1960; Маслов Г. С., Расчёты колебаний валов. Справочник, 2 изд., М., 1980; Вибрации в технике. Справочник, под ред. В. В. Болотина, т. 1, М., 1978; Словные передачи транспортных машин, Л., 1982.

**КРУЧЕНИЕ** — деформация стержня, вала и др., характеризующаяся взаимным поворотом поперечных сечений друг относительно друга вокруг центр. оси стержня под действием крутящих моментов (пар сил), приложенных к его концам. К. пластинок и оболочек возникает под действием моментов внутр. касат. сил, появляющихся при их деформации.

Задача о К. круглых стержней (валов) решается в предположении, что все поперечные сечения стержня в процессе деформации остаются плоскими, расстояния между поперечными сечениями не изменяются, а радиусы, проведённые в них, остаются прямыми. В результате действия крутящихся моментов два поперечных сечения стержня на расстоянии  $l$  поворачиваются на угол  $\varphi$  (рис. 1), наз. углом закручивания. Угол закручивания, приходящийся на единицу длины стержня, наз. относит. углом закручивания  $\theta$ . В круглых стержнях имеет место свободное (нестеснённое), или чистое, К., при к-ром возникают только касат. напряжения. Относит. угол закручивания и касат. напряжения при чистом К. в упругой стадии работы материала стержня определяются по  $\phi$ -лам

$$\theta = \frac{M_K}{GI_K}, \quad \tau = \frac{M_K}{I_K} \rho, \quad \tau_{\max} = \frac{M_K}{W_K},$$

где  $M_K$  — крутящий момент, равный сумме крутящих

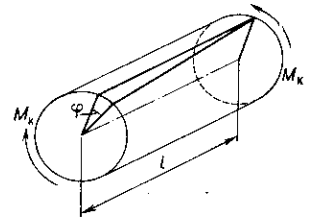


Рис. 1. Кручение круглого вала.