



## Динамические приливы и волны в звездах

д.ф.-м.н. Павел Борисович Иванов

*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва*

В астрофизике приливные взаимодействия играют одну из важнейших ролей в формировании и эволюции тесных двойных звезд и экзопланетных систем, в которых одна из планет находится достаточно близко к родительской звезде. Несмотря на то, что приливные взаимодействия исследуются, начиная с классических работ Дж. Дарвина конца 19 века, до сих пор остаются неясными многие принципиальные моменты. В частности, только в последнее время возникло понимание того, что в астрофизических задачах основную роль играет, вероятно, не классическая концепция «квазистатических приливов», в которых влияние приливов на орбитальную эволюцию связано с небольшим отклонением направления приливного горба на тяготеющий центр за счет диссипативных эффектов, а т.н. «динамические приливы», связанные с резонансным возбуждением низкочастотных собственных колебаний рассматриваемого объекта приливным полем. В этом смысле имеется существенное отличие между приливными взаимодействиями астрофизических объектов, таких как, например, звезды и планеты-гиганты, и приливами в более привычных системах, таких как система Земля–Луна. В этой лекции мы вкратце обсудим общую теорию резонансного возбуждения собственных мод приливным полем, которая справедлива в общем случае; единственными ограничениями на эту теорию является предположение о приблизительно твердотельном характере вращения объекта, в котором рассматриваются приливы, и стандартное предположение об относительной малости приливных сил.

Как будет ясно из наших выражений, эффективность приливных взаимодействий зависит критическим образом от темпа диссипации приливов. В частности, будет отмечено, что линейные механизмы диссипации (радиативная и конвективная вязкость в, соответственно, радиативных и конвективных областях рассматриваемого объекта) совершенно недостаточны для объяснения наблюдений в случае, когда рассматриваемым объектом является звезда главной последовательности или газовая планета-гигант, и необходимо рассмотреть нелинейные механизмы. В данной лекции мы ограничимся случаем звезды главной последовательности и рассмотрим механизмы нелинейной диссипации т.н. внутренних гравитационных волн. Мы обсудим физический механизм, обуславливающий явление «разрушения» таких волн в центрах звезд типа Солнца, обладающих внутренним радиативным ядром. Будет отмечено, что этот механизм не является эффективным для звезд, слегка более массивных, чем Солнце, обладающих конвективным ядром, и поэтому необходим поиск альтернативных механизмов нелинейного разрушения собственных колебаний, возбуждаемых приливами и их последующей диссипацией. В качестве потенциально интересной возможности мы рассмотрим процесс генерации вторичных «сверхгармонических» колебаний первичной волной, возбужденной приливами, на границе между внешней конвективной оболочкой и внутренней радиативной областью.