

Задачи.

- 1) Оценить массу части протопланетного диска, находящейся за пределами его снеговой линии, приняв, что внешняя граница диска соответствует переходу через единицу оптической толщины, отсчитываемой в направлении оси вращения диска. Считать, что прогрев диска центральной звездой типа Солнца преобладает над внутренним турбулентным прогревом, и диск имеет изотермическую структуру вдоль оси вращения. Также принять, что температура кристаллизации льда из водяного пара составляет 150 К, непрозрачность за снеговой линией $\kappa = \kappa_0 T^2$, где $\kappa_0 = 2.5 \cdot 10^{-4} [\text{сгс}]$, параметр Шакуры-Сюняева $\alpha = 10^{-2}$, а темп аккреции $\dot{M} = 10^{-8} M_\odot / \text{год}$. Дополнительное указание: при оценке прогрева диска звездой пренебречь его толщиной.
- 2) Оценить характерное время оседания твердых частиц микронного и миллиметрового размера на снеговой линии протопланетного диска из задачи 1. Среднюю плотность вещества внутри твердых частиц принять равной $\rho_m = 3 \text{ г/см}^3$.
- 3) Оценить минимальное характерное время радиального дрейфа твердых частиц там же (см. задачу 2) и соответствующий размер этих частиц. Среднюю плотность вещества внутри твердых частиц принять равной $\rho_m = 3 \text{ г/см}^3$.
- 4) Оценить количество планетезималей, образующихся за снеговой линией по механизму Сафронова-Голдрайха-Варда в маргинально гравитационно устойчивом пылевом субдиске, формирующемся путем оседания пыли в протопланетном диске из задачи 1. Среднюю плотность планетезимали принять равной $\rho_m = 3 \text{ г/см}^3$. Радиальным дрейфом пыли пренебречь. Принять, что массовая доля ледяной пыли за снеговой линией $f = 4\%$.
- 5) Сколько планетезималей, описанных в задаче 4, может понадобиться, чтобы сформировать ядро газового гиганта в области снеговой линии соответствующего протопланетного диска? Миграцией планетного эмбриона пренебречь.
- 6) Оценить массу планетного эмбриона, при которой происходит переход с дисперсионного на сдвиговый режим роста в планетезимальном диске, образование которого описано в задаче 4. Принять, что дисперсия скоростей в нем в 10 раз превышает дисперсию скоростей пылинок в пылевом субдиске, из которого он первоначально образуется. Считать, что планетный эмбрион зародился в районе снеговой линии соответствующего протопланетного диска.

- 7) Оценить время взрывного роста планетного эмбриона, описанного в задаче 6.
- 8) Оценить минимальное время быстрой миграции 1го типа и соответствующую ей массу планеты, находящейся на снеговой линии в протопланетном диске, образовавшемся в результате аккреционной эволюции более молодого диска, описанного в задаче 1. Принять, что старый диск в 10 раз старше молодого.
- 9) Оценить время миграции 2го типа для планеты, описанной в задаче 8.