

Задачи.

- 1) Вокруг звезды типа Солнца наблюдается протопланетный диск с эффективной температурой, равной 150 К на расстоянии 1 а.е. от звезды и падающей обратно пропорционально корню из расстояния до нее. Спектральные наблюдения звезды показывают, что темп аккреции вещества на ее поверхность $\dot{M} = 10^{-9} M_{\odot}/\text{год}$. Считая, что диск изотермический вдоль оси вращения, оценить, какую максимальную массу может иметь изотермическая атмосфера у планеты, образовавшейся в таком диске на радиусе орбиты Нептуна. Принять, что параметр Шакуры-Сюняева имеет стандартное значение $\alpha = 10^{-2}$, а химический состав диска соответствует солнечному.
- 2) Оценить атмосферное давление на поверхности планеты в задаче 1, приняв, что средняя плотность планеты без атмосферы составляет $\rho_m = 3 \text{ г/см}^3$.
- 3) На каком расстоянии от звезды турбулентный прогрев диска, описанного в задаче 1, начинает преобладать над его внешним прогревом от звезды? Размером звезды пренебречь.
- 4) Оценить, какое количество энергии в единицу времени перехватывает описанный в задаче 1 диск от звезды в пределах орбиты Нептуна. Размером звезды при этом пренебречь.
- 5) Сравнить характерное время оседания твердых частиц микронного и миллиметрового размера с их же характерным временем роста на радиусе орбиты Нептуна в протопланетном диске из задачи 1. Среднюю плотность вещества внутри твердых частиц принять равной $\rho_m = 3 \text{ г/см}^3$.
- 6) Сравнить минимальное характерное время радиального дрейфа твердых частиц там же (см. задачу 5) с их соответствующим характерным временем роста. Каков размер этих частиц? Среднюю плотность вещества внутри твердых частиц принять равной $\rho_m = 3 \text{ г/см}^3$.
- 7) На радиусе орбиты Нептуна оценить длину свободного пробега в рое планетезималей, рождающемся из протопланетного диска, описанного в задаче 1. Считать, что характерная планетезималь имеет размер 50 км и среднюю плотность $\rho_m = 3 \text{ г/см}^3$, а рой планетезималей рождается из пылевого слоя, который маргинально устойчив внутри газового диска по критерию Ричардсона.

- 8) Оценить характерное время роста протопланеты массой 10 масс Земли на радиусе орбиты Нептуна в рое планетезималей, образовавшемся по условиям задачи 7.
- 9) Оценить минимальное время быстрой миграции 1го типа и соответствующую ей массу планеты, находящейся на радиусе орбиты Нептуна в протопланетном диске, описанном в задаче 1.
- 10) Оценить время миграции 2го типа для планеты, описанной в задаче 9.