



Моделирование миграции частиц в экзосферах безатмосферных тел Солнечной системы методом Монте-Карло

Феоктистова Е.А.

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

Метод Монте-Карло широко применяется для моделирования движения различных частиц, таких как молекулы воды, CO_2 или атомы щелочных металлов, в экзосферах Луны, Меркурия и других тел Солнечной системы. Слабое гравитационное поле некоторых тел Солнечной системы не позволяет удерживать атмосферные газы от диссипации и поддерживать высокую плотность атмосферы. В таких условиях наблюдается экзосфера – среда, где атомы и молекулы различных веществ практически не сталкиваются друг с другом, взаимодействуя только с поверхностью небесного тела. Для моделирования движения таких частиц применяется метод Монте-Карло, основанный на использовании генерации случайных чисел.

Модель движения частицы

Место начала движения частицы (молекулы воды, атома щелочных металлов или других) выбирается исходя из условий задачи: при моделировании падения КА ЛКРОСС в качестве места старта принимался кратер Кабео (85° S , 318° E) в районе южного полюса Луны, при моделировании миграции атомов щелочных металлов, выделяющихся в результате падения метеоритов метеорного потока в качестве места старта может быть выбрана подрадиантная точка на поверхности Луны на момент наблюдения. Начальный угол взлета частицы и направление движения выбираются случайным образом. При этом значение угла взлета частицы лежит в пределах $0^\circ - 90^\circ$, значение направления движения частицы лежит в пределах $0^\circ - 360^\circ$. В полете частица движется по параболе. Если в высшей точке траектории значение скорости частицы превышает значение первой космической скорости для данного небесного тела: частица переходит на спутниковую орбиту. Если в высшей точке значение скорости превышает вторую космическую скорость – частица покидает систему. В полете частица может быть разрушена в результате фотолиза, вероятность которого рассчитывается с учетом длительности полета. Если частица не была разрушена во время полета и ее скорость не превысила значение первой космической скорости для данного небесного тела, она снова опустится на поверхность.

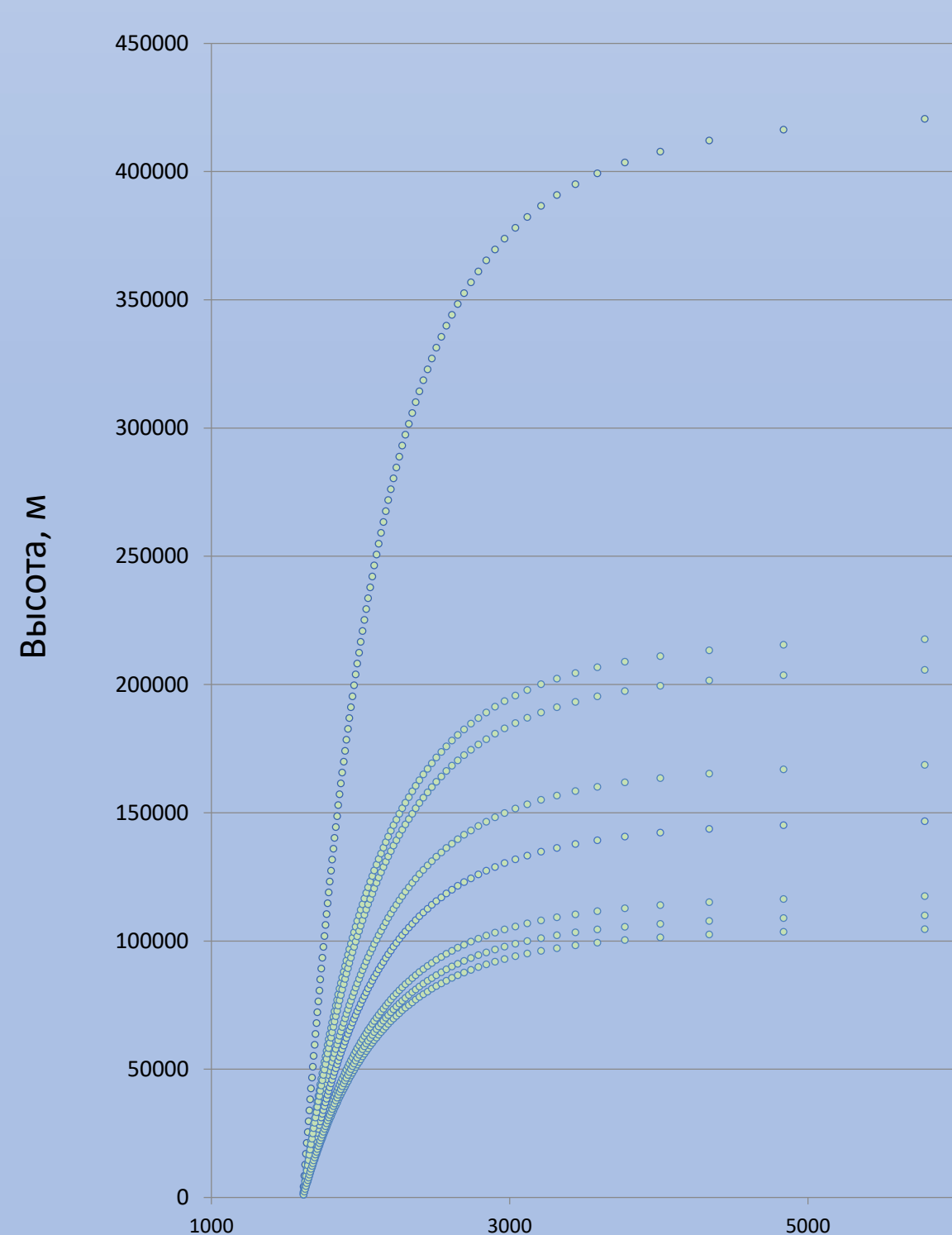


Рисунок 1. Траектории движения атомов Na в экзосфере Луны

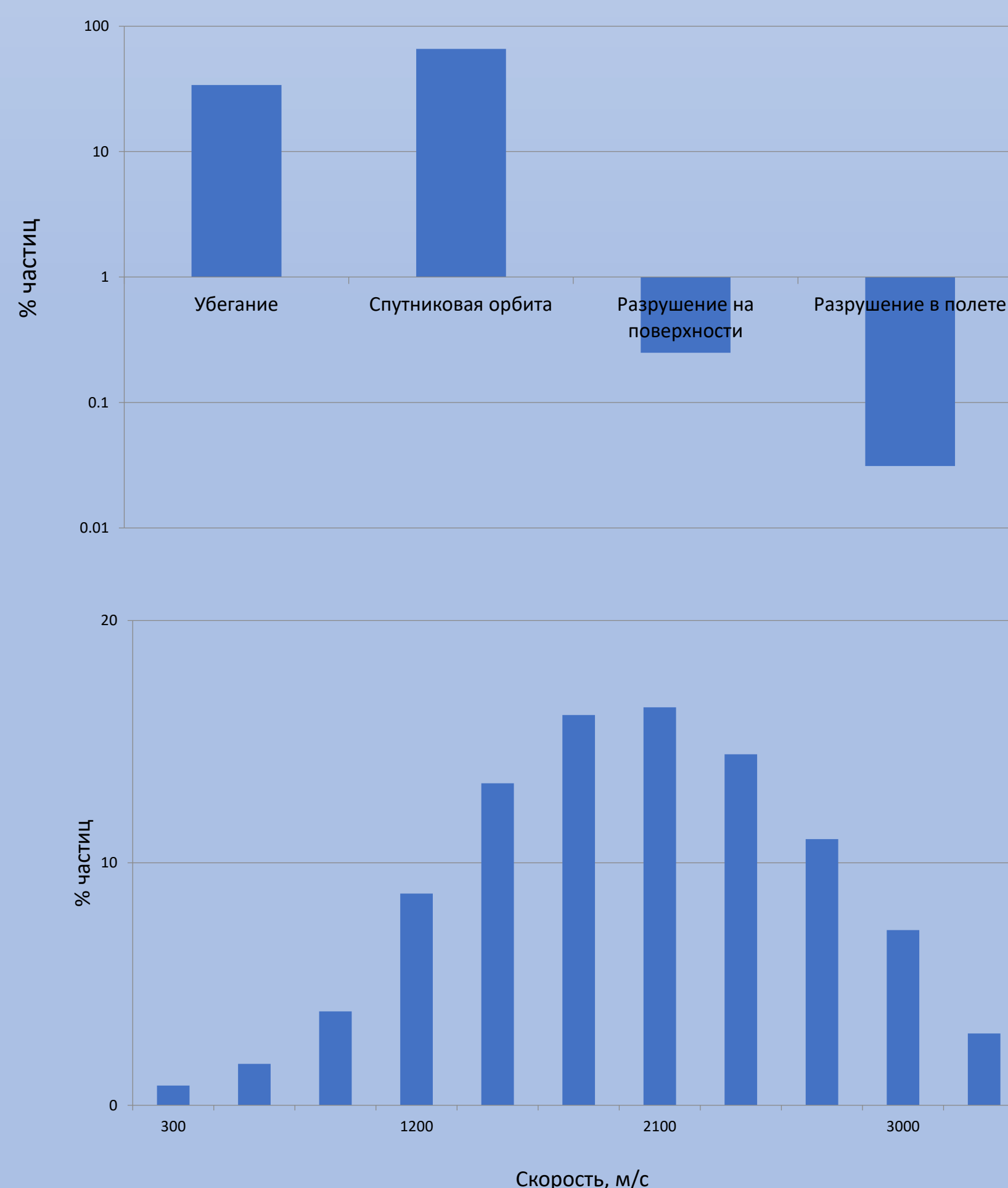


Рисунок 2. Распределение атомов Na в зависимости от процесса, в результате которого частица выбыла из системы

Рисунок 3. Распределение частиц по скоростям взлета

При расчете времени нахождения частицы на поверхности могут быть учтены различные процессы, воздействующие на рассматриваемую частицу: тепловая десорбция, рассеяние, фотонно-стимулированная десорбция. Находящаяся на поверхности частица также может быть разрушена в результате фотолиза. Если частица не была разрушена за время нахождения на поверхности, рассчитывается наиболее вероятный процесс, в результате которого частица покинет поверхность. Направление нового взлета и угол взлета снова определяются генерацией случайного числа. Далее частица снова движется по баллистической траектории.

References:

- Hayne, Paul O., and Oded Aharonson. "Thermal stability of ice on Ceres with rough topography." *Journal of Geophysical Research: Planets* 120.9 (2015): 1567-1584
- Vorburger, A., Wurz, P., Lammer, H., Barabash, S., Mouis, O. (2015). Monte-Carlo simulation of Callisto's exosphere. *Icarus*, 262, 14-29
- Yakshinskiy, B. V., Madey, T. E. (2005). Temperature-dependent DIET of alkalis from SiO_2 films: Comparison with a lunar sample. *Surface science*, 593(1-3), 202-209.