

Влияние давления излучения на газодинамику атмосфер  
экзопланет типа «горячий Юпитер»

А.А. Черенков<sup>1</sup>, Д.В. Бисикало<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт астрономии Российской Академии Наук

Открытие «горячих Юпитеров», газовых планет-гигантов, вращающихся вокруг своих родительских звезд на расстоянии менее чем 0.1 AU, является одним из главных достижений в наблюдательной астрономии последних десятилетий. Из-за их близости к родительским звездам они подвержены сильному облучению и воздействию плазменных явлений, происходящих в короне звезд, и этот факт поставил перед учеными вопрос их происхождения и эволюции. Изучение влияния звезды на атмосферы таких экзопланет поможет нам понять, как планеты земной группы и их атмосферы, в том числе ранней Венеры, Земли и Марса, эволюционировали в течение активной фазы Солнца.

Фотометрические наблюдения транзитов «горячих Юпитеров» (HD 209458 b, HD 189733 b, WASP-12 b) показали что на длине волны Ly $\alpha$  (в ультрафиолетовом диапазоне) затмение длится дольше и имеет большую глубину, чем в оптическом диапазоне, что свидетельствует о том, что планета окружена обширной водородной оболочкой. Эта особенность вызвана тем, что шкала высот в верхних слоях ее атмосферы, нагретых до нескольких тысяч градусов (~7000K), очень велика и вследствие этого атмосферы выглядят «раздутыми». Причем, так как данные планеты расположены очень близко к своей звезде, то их гравитационный радиус влияния (полость Роша) имеет размер всего в несколько их радиусов, тогда как наблюдаемые газовые оболочки имеют большие размеры, что может приводить к их вытеканию, и, соответственно, к ограниченному времени жизни планеты. Гидродинамическое моделирование [1, 2], выполненное нашей научной группой показало, что такие оболочки могут сформироваться и быть стабильными из-за динамического давления звездного ветра. Помимо гравитации и взаимодействия с звездным ветром, некоторые авторы полагают [3], что давление звездного излучения родительской звезды также существенно влияет на динамику и, следовательно, стабильность газовых оболочек экзопланет типа «горячий Юпитер». В данной работе на основе численных моделей мы исследуем, какое влияние оказывает давление излучения в линии Ly $\alpha$  на верхние слои атмосфер этих планет. При расчетах давления излучения учитывается доплеровский сдвиг (если скорость элемента вещества вдоль луча распространения излучения ненулевая) и поглощение излучения при его распространении в атмосфере.

Результаты численного моделирования показывают, что давление излучения действует только на тонкий слой вещества, расположенный ближе всего к звезде, локально изменяя динамику, но суммарный импульс давления излучения в линии Ly $\alpha$  не достаточен, чтобы оказать существенное влияние на газодинамику и, следовательно, эволюцию горячего Юпитера; при этом мы хотим отметить, что это результат слабо зависит от ионизации вещества в атмосфере. При этом отношение суммарной силы давления излучения к гравитационной силе составляет несколько процентов. Поэтому мы хотим подчеркнуть, что в данной работе мы рассматривали только случай HD 209458 b, но, вероятно, для других планет, таких как теплых Нептунов и горячих Юпитеров, вращающихся вокруг звезд с более интенсивной линией Ly $\alpha$ , давление излучения может оказывать существенное влияние на газодинамику верхних слоев атмосферы.

#### Литература

1. Бусикало Д.В. [и др.] Типы газовых оболочек экзопланет, относящихся к классу «горячих Юпитеров» // *Астрономический Журнал*. – 2013. – Т. 90, № 10. – С. 779.
2. Bisikalo D. [at al.] Three-dimensional Gas Dynamic Simulation of the Interaction between the Exoplanet WASP-12b and its Host Star // *Astrophys. J.* – 2013. – V. 764, id. 19. – 18 pp., Volume 764, article id. 19 – 5 pp.
3. Bourrier, V. [at al.] 3D Model of Hydrogen Atmospheric Escape from HD 209458b and HD 189733b: Radiative Blow-out and Stellar Wind Interactions // *Astronomy & Astrophysics*. – 2013. – V. 557, id.A124. – 18 pp.