

АДИАБАТНАЯ МОДЕЛЬ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА В АТМОСФЕРЕ ЭКЗОПЛАНЕТЫ KEPLER-62E

Изучение экзопланет и условий на них сегодня является одной из актуальных тем не только для астрономии, но и для человечества в целом. Ученые, изучая экзопланеты, пытаются найти обитаемые среди них. Одной из экзопланет, которая имеет большую вероятность подобия с Землей [1], является экзопланета Kepler-62e, находящаяся в созвездии Лира. Поскольку к процессам, происходящим в атмосфере Земли, применима модель адиабатного процесса, то можно предположить, что её можно использовать для атмосферы экзопланеты Kepler-62e. Модель адиабатного процесса при парниковом эффекте в атмосфере Земли разработал и научно обосновал российский геофизик О.Г. Сорохтин. Согласно этой модели наличие в атмосфере Земли углекислого газа не влияет на температурный режим. Парниковый эффект (разница между эффективной и средней температурой планеты) обусловлен тремя факторами: конвективным переносом тепла, поглощением инфракрасного излучения, конденсацией водяного пара.

Цель работы – оценить параметры парникового эффекта, описываемого адиабатной моделью, в атмосфере экзопланеты Kepler-62e.

Парниковым эффектом называется разность между средней температурой поверхности планеты T_s и ее радиационной (эффективной) температурой T_e , под которой эта планета видна из космоса. Согласно адиабатной модели О.Г.Сорохтина [2], если считать атмосферу идеальным газом, то при адиабатном процессе абсолютная температура описывается уравнением:

$$T = Cp^\alpha,$$

где C – постоянная; p – давление газовой смеси; $\alpha=(\gamma-1)/\gamma$ – показатель адиабаты; $\gamma=c_p/c_v$ – удельные теплоемкости газа соответственно при постоянном давлении и постоянном объеме.

Для любой планеты можно найти чернотельную температуру T_{bb} , если считать ее абсолютно черным телом.

$$T_{bb} = \sqrt[4]{\frac{E}{4\sigma}}$$

Эффективная температура находится через альбедо планеты, т.к. в любом случае планета поглощает не всю энергию. Средняя температура T_s планеты обусловлена наличием атмосферы у планеты. Среднюю температуру на любом уровне тропосферы можно представить как:

$$T_s = b^\alpha T_{bb} p^\alpha$$

b – масштабный множитель (по теории Сорохтина $b = 1,186 \text{ атм}^{-1}$)

Параметр α определяется через удельные теплоемкости c_p , c_w , c_r , которые обусловлены конвективной передачей тепла, процессами конденсации влаги во влажной атмосфере и поглощения теплового излучения планеты.

$$\alpha = \frac{R}{\mu(c_p + c_w + c_r)}$$

Таким образом, планета получает от родительской звезды порцию энергии в виде излучения. Если планета имеет атмосферу, то на ней будет наблюдаться парниковый эффект, т.е. атмосфера планеты будет дополнительно нагреваться. По теории адиабатного процесса это нагревание будет обусловлено тремя факторами: конвективным переносом тепла в тропосфере, получением дополнительного тепла за счет задержки инфракрасного излучения и выделение тепла и-за конденсации влаги.

Применив теорию адиабатного процесса к экзопланете Kepler-62e мы смоделировали две ситуации: если атмосфера рассматриваемой экзопланеты подобна Земле, и если подобна Венере. При этом для расчетов нужно было использовать среднюю температуру. Поэтому в качестве средней температуры использовались а) данные интернета; б) расчетные данные по адиабатной модели; в) расчетные данные по адиабатной модели с учетом изменения коэффициента α .

Сделанные нами расчеты (таблица) показали, что в первом случае, если за среднюю температуру брать 276 К, как приводится в интернете, то основной вклад в парниковый эффект создает тепло из-за конденсации влаги. При этом парниковый эффект составит 17 К. Аналогичные результаты получены и рассчитав среднюю температуру по адиабатной модели. При этом парниковый эффект составит 43 К. По адиабатной модели с учетом изменения коэффициента α парниковый эффект составит 301 К. Однако во всех данных случаях расчеты показывают, что если экзопланета Kepler-62e имеет атмосферу, подобную атмосфере Земли, то парниковый эффект на ней будет обусловлен конденсацией влаги.

Если атмосферу экзопланеты Kepler-62e моделировать подобную Венере, то получим следующие данные. В случае средней температуры 390 К, как приводят данные интернет-источников, получается, что парниковый эффект будет равен 189 К. Но в данной ситуации половина тепла получается за счет задержки инфракрасного излучения. Такие же результаты получаются и при моделировании атмосферы экзопланеты по теории адиабатного процесса. При этом парниковый эффект составит 151 К. А если изначально учесть влажность атмосферы, то данный эффект действует наравне с инфракрасным излучением.

| Модель атмосферы | Источник данных T_s | T_s , К | T_{bb} , К | T_e , К | ΔT , К | c_p , кал/гК | c_r , кал/гК | c_w , кал/гК |
|--------------------------|---------------------------|-----------|--------------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Подобна атмосфере Земли | интернет | 276 | 290 | 259 | 17 | 0,2378 | 0,0815 | 0,9273 |
| | ад. модель | 302 | | | 43 | 0,2378 | 0,2061 | 0,8269 |
| | ад. модель с уч. α | 300 | | | 41 | 0,2378 | 0,2381 | 1,0608 |
| Подобна атмосфере Венеры | интернет | 390 | | 201 | 189 | 0,2371 | 0,4058 | 0,1944 |
| | ад. модель | 352 | | | 151 | 0,2371 | 0,3592 | 0,2410 |
| | ад. модель с уч. α | 336 | | | 135 | 0,2371 | 0,4488 | 0,4312 |

Таким образом, адиабатная модель атмосферы экзопланеты Kepler-62 доказывает существование парникового эффекта, который обусловлен разными факторами в зависимости от начальных условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Как выглядят новые планеты, похожие на Землю // Популярная наука [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <https://nauka/kak-vygliadiat-novye-planety-pohojie-na-zemliu-5bb322032119b800acc05199> – Дата доступа: 21.10.2020
2. Сорохтин, О.Г., Адиабатическая теория парникового эффекта // Первое сентября, «Физика», 2005, № 11

УДК 532.135

Учащ. Н. В. Варнахов, М. С. Кожан
 Науч. рук. Е. А. Макарова, учитель физики и математики
 (ГУО «Средняя школа № 4 г. Витебска»)

НЕНЬЮТОНОВСКАЯ ЖИДКОСТЬ

Нас окружает огромное количество жидкостей. Жидкость окружает везде и всегда. Сами люди состоят из жидкости, вода дает нам жизнь, из воды мы вышли и к воде всегда возвращаемся. Но