

В. В. РАДЗИЕВСКИЙ

**О НЕКОНСЕРВАТИВНОСТИ ФОТО-ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ
И О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ ЗАХВАТА СОЛНЦЕМ
КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ**

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 17 IV 1950)

Существующее мнение о невозможности захвата в задаче двух тел а также отрицательный ответ, полученный рядом авторов при решении вопроса о возможности захвата в ограниченной задаче трех тел, основываются на фундаментальных выводах классической небесной механики, рассматривающей движение материальных тел или точек в поле консервативных сил гравитации. Между тем, консервативность сил, управляющих движением материи, является лишь допустимой в известных случаях абстракцией, ибо консервативные поля в чистом виде в природе фактически не реализуются.

В самом деле, даже в случае двух идеально изолированных и совершенно нейтральных в электромагнитном смысле тел, их движением управляют не только силы взаимного тяготения, но и силы взаимного лучевого отталкивания, коль скоро температуры этих тел не равны абсолютному нулю. В отличие же от консервативных тел гравитации, силы лучевого давления, действующие на материальное тело, не являются функцией одного его положения, а зависят еще от формы и ориентации тела в пространстве, от величины альbedo облучаемой части его поверхности, от температуры тела, влияющей на его альbedo, и от многих других физических факторов.

Таким образом, поле сил лучевого давления, не будучи консервативным, не накладывает на движущуюся в нем частицу условие постоянства ее механической энергии. Примером допускаемого неконсервативностью поля изменения удельной энергии частицы может служить описанный В. Г. Фесенковым ⁽¹⁾ процесс термической дезагрегации обращаемой вокруг Солнца частицы, вызывающий ее переход с эллиптической на гиперболическую орбиту.

Разумеется, в подавляющем большинстве задач небесной механики учет сил лучевого давления не представляет интереса. Однако в тех случаях, когда одним из взаимодействующих тел является типичная галактическая звезда, а другим космическая пылинка с поперечником порядка 10^{-5} см, фактор светового давления становится соизмеримым с фактором гравитации, и поле такой звезды по отношению к нашей частице перестает быть консервативным. Попутно заметим, что, как показал анализ Струве ⁽²⁾, частицы с поперечником $d = 10^{-5}$ см составляют существенную долю галактической метеорной материи, поскольку именно такими частицами вызывается эффект межзвездного поглощения света. Таким образом, при исследовании проблемы захвата Солнцем облака космической пыли, играющей, как известно, важную

роль в метеоритной теории происхождения планет О. Ю. Шмидта, учет светового давления необходим, какой бы механизм захвата при этом ни рассматривался.

В настоящей работе излагается один из возможных механизмов захвата, основанный на неконсервативности фото-гравитационного поля Солнца.

На частицу, помещенную в это поле, действует сила гравитационного притяжения к Солнцу F_g и сила светового давления F_p .

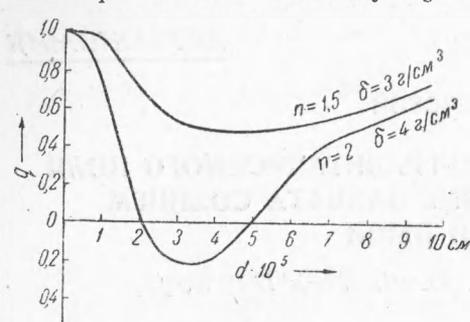


Рис. 1

Так как сила F_p в точности противоположна силе F_g (если пренебречь ничтожно малым эффектом абберации) и изменяется с расстоянием по тому же закону, то мы можем считать, что результат действия этой силы сводится к уменьшению эффективной массы Солнца или частицы. Мы будем говорить о „редуцированной“ массе частицы, поскольку эффект уменьшения ее массы зависит от свойств самой частицы.

Итак, мы можем принять, что на частицу действует результирующая сила:

$$F = F_g - F_p = qF_g,$$

где $q = 1 - F_p/F_g$ — коэффициент редукиции тяжелой массы частицы.

Как известно, отношение F_p/F_g , практически равное нулю для больших тел, превосходит единицу для мельчайших частиц. Поэтому, в зависимости от размеров частиц, q может принимать и положительные и отрицательные значения, вследствие чего в дальнейшем мы будем говорить о частицах с положительной, нулевой и отрицательной редуцированными массами, называя их для краткости, соответственно, гравитами, нейтритами и репелитами.

На рис. 1 изображены кривые $q = f(d)$, построенные по данным Б. Ю. Левина (3) для каменных частиц с различными коэффициентами преломления n и плотностями δ . Как видно, минимум q соответствует частицам с поперечником порядка 10^{-5} см. Резкое возрастание q при дальнейшем уменьшении d связано, как известно, с дифракцией.

При определении коэффициента редукиции частицы мы ограничились учетом светового давления со стороны Солнца и не приняли во внимание возможного воздействия его электромагнитного поля. В связи с этим необходимо отметить, что, как показал В. Г. Фесенков (1), электризация космической пыли жесткими квантами Солнца хотя и возможна, но для того, чтобы возникающая при этом электрическая сила стала соизмеримой с силой его гравитационного воздействия, необходимо, чтобы Солнце было заряжено до 10^{15} в, что совершенно невероятно. Еще меньшую роль может играть магнитное поле Солнца, само существование которого находится под сомнением.

Перейдем теперь к рассмотрению возможного механизма захвата космической пыли Солнцем.

Полная энергия H частицы, движущейся в фото-гравитационном поле Солнца, очевидно, будет:

$$H = \frac{\mu v^2}{2} - \frac{GMq\mu}{R}, \quad (1)$$

где μ и M — массы частицы и Солнца, R — расстояние между ними, v — скорость движения частицы и G — гравитационная постоянная.

Из (1) следует, что у репелитов полная энергия всегда положительна, а у гравитов она может быть и положительной, и отрицательной.

Предлагаемый нами механизм захвата частицы в этом специальном случае задачи двух тел основан на том, что в момент сближения частицы с Солнцем коэффициент редукции ее массы q может внезапно или постепенно возрасти настолько, что полная энергия частицы станет отрицательной и, таким образом, она окажется захваченной Солнцем.

Докажем, что условие мгновенного захвата частицы выражается неравенством:

$$\Delta q > \frac{v_{\infty}^2 R}{2GM}, \quad (2)$$

где $\Delta q = q_2 - q_1$ — изменение коэффициента редукции, v_{∞} — скорость частицы вдали от Солнца, R — расстояние от Солнца в момент захвата.

В самом деле, если до захвата

$$H_1 = \frac{\mu v^2}{2} - \frac{GMq_1\mu}{R} = \frac{\mu v_{\infty}^2}{2} > 0, \quad (3)$$

то после захвата

$$H_2 = \frac{\mu v^2}{2} - \frac{GMq_2\mu}{R} \leq 0. \quad (4)$$

Вычитая (4) из (3), мы получим условие (2).

В частности, из (2) следует, что при $v_{\infty} = 1$ км/сек. для захвата на расстоянии Плутона достаточно увеличения коэффициента редукции на величину $\Delta q > 0,02$, а на расстоянии Меркурия всего на величину $\Delta q > 0,0002$.

Увеличение коэффициента редукции у каменных частиц, лежащих на левом склоне кривых (рис. 1), может произойти вследствие распада этих частиц при приближении к Солнцу.

В самом деле, хотя механизм образования космической пыли и не является еще в достаточной мере выясненным, все же мы можем считать вполне правдоподобным, что для этого механизма существенна низкая температура, господствующая в межзвездном пространстве. В таком случае, предположение о возможности дезагрегации частиц при сближении их с Солнцем также совершенно естественно.

Что же касается металлических частиц, для которых кривая $q = f(d)$ не имеет минимума, то необходимое для их захвата увеличение q может происходить за счет уменьшения альбедо этих частиц с приближением к Солнцу. Действительно, в межзвездном пространстве температура метеоритов, по современным воззрениям, составляет около 3°К. При такой температуре металлические частицы должны быть почти идеальными зеркалами вследствие огромной электропроводности металлов при низких температурах. Нагревание таких частиц в связи с приближением к Солнцу, в свою очередь, должно вызвать уменьшение их отражательной способности, а следовательно, и относительной роли светового давления на эти частицы. Но уменьшение F_p/F_g означает увеличение q , неизбежно приводящее к захвату частиц, характеризующихся необходимыми для этого начальными условиями.

В заключение отметим, что если захват происходил за счет изменения q , то из соображений теории вероятностей следует, что и после захвата коэффициенты редукции подавляющего большинства частиц должны были чувствительно отличаться от единицы.

Именно этим можно объяснить высокую подаваемость захваченных частиц эффекту Пойнтинга—Робертсона, вызвавшего, согласно расчетам О. Ю. Шмидта (4), выпадение на Солнце подавляющей части массы захваченной материи из области земных планет.

С другой стороны, из условия (2) вытекает, что захват на меньших расстояниях от Солнца осуществляется легче, так как для него требуется меньшее увеличение q . Это значит, что распределение захваченной материи по оси R должно описываться убывающей функцией, что также хорошо согласуется с законом планетных расстояний О. Ю. Шмидта (5), согласно которому распределение частиц по оси моментов k описывается функцией $f(k) = \text{const}$ и, следовательно, распределение материи по оси R должно описываться функцией $f(R) = cR^{-1/2}$.

Приношу благодарность Б. Ю. Левину за ряд полезных советов, высказанных им по поводу настоящей работы.

Ярославский государственный
педагогический институт
им. К. Д. Ушинского

Поступило
24 II 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Г. Фесенков, Метеорная материя в межпланетном пространстве, Изд. АН СССР, 1947, стр. 123. ² O. Struve, Annales d'Astrophysique, 1, 143 (1938).
³ Б. Ю. Левин, ДАН, 38, № 9 (1943). ⁴ О. Ю. Шмидт, ДАН, 65, № 1 (1946).
⁵ О. Ю. Шмидт, Четыре лекции о теории происхождения Земли, Изд. АН СССР, 1949, стр. 50.