

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 альбедо облучаемой части его поверхности, от температуры тела, влияющей на его альбедо, 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 обращающейся 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 .

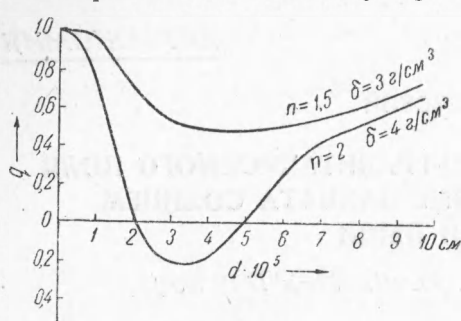


Рис. 1

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 редукции 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 редукции 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 подавляемость 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.