

УДК 656.6

Беленов Алексей Федорович, доцент, к.ф.-м.н., доцент кафедры естественнонаучного образования.

ГБОУ ДПО Нижегородский институт развития образования
603122, г. Нижний Новгород, ул. Ванеева, д. 203

ЭФФЕКТ ПОЙНТИНГА – РОБЕРТСОНА В КУРСЕ АСТРОФИЗИКА

Аннотация. Данный эффект имеет важное значение для понимания результатов солнечного светового давления на объекты Солнечной Системы. В зависимости от масштабов объекта результатами могут быть, как «выдавливание» мелких частиц в пылевой хвост комет, так и постепенное приближение крупномасштабных объектов к Солнцу. Сделана оценка масштабов объектов для учета эффекта Пойнтинга – Робертсона.

Ключевые слова: Эффект Пойнтинга – Робертсона, световое давление, кометы, астрономическая единица, кеплеровские орбиты.

В учебной астрофизической литературе (старшие классы школы, высшие учебные заведения) влияние светового давления Солнца на тела Солнечной Системы обсуждается либо, как фактор, формирующий пылевой хвост комет для мелких частиц [2], либо (кратко) – как тормозящий фактор для более крупных объектов Солнечной Системы (эффект Пойнтинга – Робертсона)[1]. Поэтому заслуживает внимания вопрос об оценке влияния эффекта Пойнтинга - Робертсона на орбитальное движение тел Солнечной Системы. Рассмотрим, как может влиять световое давление (давление фотонного ветра от Солнца) на динамику орбитальных движений (Рис.1).

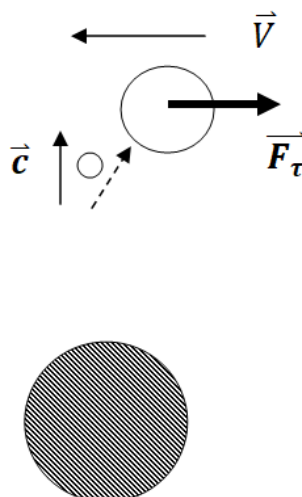


Рис.1 Тормозящий фактор светового воздействия Солнца

На рис.1 указана только одна (тангенциальная) составляющая силы солнечного светового давления; c – скорость света, V – орбитальная скорость движения объекта Солнечной системы. Роль нормальной составляющей силы светового давления достаточно подробно обсуждалась (см., например, [2]), и указывался предельно большой размер частиц, для которых эта составляющая F_n соизмерима с силой гравитационного притяжения F_G к Солнцу:

$$F_n = 2LD^2/4r^2 = GM\rho\pi D^3/6r^2 = F_G \quad (1)$$

где M – масса Солнца, L – светимость Солнца, D – диаметр частицы, r – расстояние до Солнца, ρ – плотность материала частицы, G – гравитационная постоянная. Для плотностей порядка плотности кремния, D – порядка 1 микрона. Именно такие частицы (и более мелкие) формируют пылевые хвосты комет. Тангенциальная составляющая силы светового давления при допущении $V \ll c$ примерно равна $F_t = F_n \cdot V/c$. Оценим характерное время сближения объекта с Солнцем в результате светового торможения (эффекта Пойнтинга – Робертсона). Воспользуемся известным старшекласникам, обучающимся по программам углубленного уровня и студентам законом изменения момента количества движения I объекта [3]:

$$dI/dt = F_t \cdot r \quad (2)$$

При существенном изменении орбиты существенно меняется момент количества движения (для кеплеровских орбит момент количества движения постоянен, что отражено во втором законе Кеплера). Поэтому, для оценок сделаем в (2) замены: $dI \sim I = m V \cdot r$; $dt \sim t_f$ – время «падения» объекта на Солнце (время существенного изменения орбиты). Здесь m – масса объекта: $m = \rho\pi D^3/6$. Тогда, после преобразований, получим:

$$t_f \approx (2\pi/3)(\rho D r^2 c^2/L) \quad (3)$$

Для кремниевых частиц диаметром в 1 см при начальном удалении от Солнца порядка астрономической единицы получим: $t_f \approx 50$ млн лет. Поставим обратную задачу: а для каких объектов время «падения» будет порядка возраста t_c (4,5 млрд лет) Солнечной системы? Подставим в (3) $t_f = t_c$ и получим: $D \approx 1$ м.

Поводя итоги, можно заключить следующее. Эффект Пойнтинга – Робертсона оказывает влияние на сравнительно небольшие объекты Солнечной Системы – от нескольких микрон до 1 м. Изменение траекторий этих тел под действием вышеназванного эффекта влияет на метеорные потоки, в том числе и падающие на Землю. Для больших планет этот эффект существенного влияния не оказывает.

Список литературы:

1. Общий курс астрономии: Учеб. для студентов университетов. / Э.В. Кононович, В.И. Мороз; под ред. В.В. Иванова. - М.: URSS, 2010. - 542 с.
2. Беленов А.Ф. Солнечный парус и хвосты комет в авторском курсе «Астрофизика» Великие реки 2016: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». «ВГУВТ». – 2016. – Режим доступа: <http://вф-река-море.рф/> (0,2 печ.л.).
3. Эволюция солнечной системы: Монография. / Х. Альвен, Г. Аррениус; пер с англ. К.В. Краснобаева и др., под ред. Г.И. Петрова Иванова. - М.: Мир, 1979. - 512 с.

THE POYNTING-ROBERTSON EFFECT IN THE COURSE OF ASTROPHYSICS

Alexey F. Belenov

This effect is important for understanding the results of solar light pressure on objects in the Solar System. Depending on the scale of the object, the results can be both "squeezing" small particles into the dust tail of comets, and the gradual approach of large-scale objects to the Sun. A minimum scale estimate is made to account for the Poynting-Robertson effect.

Keywords: Poynting-Robertson Effect, light pressure, comets, astronomical unit, Kepler orbits.