



УДК 629.12.001.2: 656.66.

А.Ф. Беленов, к.ф.-м.н., доцент, ГБОУ ДПО НИРО
603600 г. Нижний Новгород, ул. Ванеева, 203

СОЛНЕЧНЫЙ ПАРУС И ХВОСТЫ КОМЕТ В АВТОРСКОМ КУРСЕ «АСТРОФИЗИКА»

Ключевые слова: солнечный парус, солнечный ветер, давление света, хвосты комет, ионосфера.

В статье рассматривается ряд задач – оценок для учащихся НОЦ при ИПФ РАН с целью определения предельной толщины солнечного паруса, при которой межпланетный космический корабль будет удаляться от Солнца: 1. Выбор приоритетных воздействий солнечных излучений на ионный и пылевой хвосты комет. 2. Оценка характерного размера частицы пылевого хвоста и толщины солнечного паруса.

Советский инженер Фридрих Цандер в 1924 году подал в Комиссию по изобретениям соответствующую заявку, но эксперты назвали ее слишком фантастической и отклонили. Впоследствии идею двигателя от давления солнечного излучения высказывал известный американский астрофизик Карл Саган. Один из первых успешных экспериментов с использованием солнечного паруса был реализован в начале сентября 2012 года Японским аэрокосмическим агентством (JAXA). Удалось зафиксировать два сигнала от экспериментального космического парусника IKAROS («Икар»). Солнечный парус (СП) изготовлен из полиамидной плёнки толщиной 7,5 мкм и по расчету, парус обеспечивает тягу в 2-4 мН. Эти события послужили автору тезисов поводом для постановки ряда астрофизических задач для аудитории старшеклассников Научно – Образовательного Центра (НОЦ) при ИПФ РАН. Кратко, мотив этих задач можно сформулировать в виде двух вопросов:

1. Какие типы солнечного излучения оказывают приоритетное воздействие на частицы хвостов комет и на плоскость солнечного паруса?
2. Как оценить предельную толщину солнечного паруса, чтобы он «отталкивался» от Солнца?

Перед постановкой задач школьникам сообщаются сведения описательного характера о структуре кометных хвостов - *ионного* и *пылевого*. Когда комета находится далеко от Солнца (удаление более 6 а.е.), то она внешне похожа на астероид, с отличием физико – химических свойств. Вещество кометы, по образному выражению американского астронома Фреда Уиппла – «Грязный снежок». Более точно – это глыба замороженных газов, включающих метан, аммиак, водяной лёд, а также вкрапления мелкой пыли, включающей химические элементы от кремния до железа. При сближении с Солнцем менее, чем на 6 а.е., начинается таяние и испарение «снежка» – комета обрастает газо –пылевой атмосферой. Коротковолновая компонента солнечного излучения ионизирует газообразную часть кометной атмосферы, поэтому газообразная часть атмосферы комет в значительной степени состоит из заряженных частиц – ионов

(ионосфера). Дальнейшее развитие событий связано с воздействием на атмосферу солнечного излучения. Итак, в атмосфере близкой к солнцу кометы присутствует две компоненты: газ ионов (плазма) и пыль из каменных веществ. На кометную атмосферу воздействуют две компоненты солнечного излучения:

1) электромагнитные волны (в основном, – фотоны видимого света);
2) потоки заряженных частиц (солнечный ветер). Постановка первой конкретной задачи выглядит так: нужно сравнить два воздействия Солнца по двум качествам:

1. по потокам энергии в случае, когда комета находится вблизи Земли.
2. по энергии одной частицы излучения.

Учащимся сообщаются необходимые сведения:

Мощность солнечного светового излучения $L \approx 4 \cdot 10^{26}$ Вт, средняя энергия фотона порядка $3 \cdot 10^{-19}$ Дж. Для солнечного ветра: поток энергии вблизи Земли $\approx 3 \cdot 10^{-4}$ Вт/м², средняя скорость протона ≈ 300 км/сек, масса протона $1.67 \cdot 10^{-27}$ кг. После такого сравнения учащиеся делают вывод о приоритетных воздействиях на ионный и пылевой хвост комет. На ионный хвост определяющим является корпускулярное воздействие солнечного ветра, так как здесь важна энергия отдельной частицы. На пылевой хвост важнее интегральное воздействие – поток энергии, и здесь приоритет у световой компоненты солнечного излучения. После этого вывода учащимся ставится задача – оценка наибольшего размера частиц пылевого хвоста, при котором они еще будут отталкиваться от Солнца. Пылинка моделируется прямоугольником с площадью S освещенной Солнцем грани (грань перпендикулярна падающим солнечным лучам). Сила светового давления – это суммарный импульс фотонов $P_{\phi S}$, переданный грани S за одну секунду (в предположении абсолютно неупругого удара, соответствующего полному поглощению). В качестве необходимых сведений приведены соотношения между энергией E_{ϕ} и импульсом P_{ϕ} одного фотона, а также между силой светового давления F на площадку S и потоком энергии L_s от Солнца вблизи кометы (здесь c – это скорость света). Как результат баланса сил притяжения к Солнцу и светового давления, учащиеся выводят формулу для оценки размера пылинки вдоль светового луча:

$$d = \frac{2?L}{4\pi G \rho c M_{\text{Солнца}}} \approx 1 \text{ мкм}$$

Здесь G – гравитационная постоянная, ρ – плотность вещества «пылинки» (порядка плотности кремния), $M_{\text{Солнца}}$ – масса Солнца. Знак ? стоит не случайно – множитель «2» соответствует ситуации 100% отражения без поглощения, поэтому реальный множитель меньше 2. Аналогия пылинки с солнечным парусом уместна – формула выше не содержит размеров поперек светового луча. Сама численная оценка по порядку величины согласуется с приведенной выше толщиной космического парусника IKAROS («Икар»).

Список литературы:

- [1] Проблемы межпланетных полётов [Сборник]. М., Наука, 1988. — 231 с
- [2] Колчинский И.Г., Корсунь А.А., Родригес М.Г. Астрономы: Биографический справочник. — 2-е изд., перераб. и доп. — Киев: Наукова думка, 1986. — 512 с.
- [3] Карл Саган. Космос. К. Саган. Random House, 2002, 384 стр
- [4] Уиппл Ф.Л. Земля, Луна и планеты. — Москва: Наука, 1967
- [5] Японский космический парусник успешно "заработал". Статья с сайта РИА Новости, Наука, 9.07.2010 г. <http://ria.ru/science/20100709/253371463.html>

SOLAR SAIL AND TAIL OF COMETS IN THE AUTHOR'S COURSE "ASTROPHYSICS"

A.F.Belenov

Keywords: solar sail, solar wind, the pressure of light, tails of comets, the ionosphere/

The article presents a number of problems - estimates in order to determine the thickness of the solar sail limit at which an interplanetary spaceship bude removed from the Sun:

1. Selection of priority solar radiation effects on the ion and dust tails of comets.
2. Evaluation of the characteristic size of the particles of the dust tail and the thickness of the solar sail.