



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 10. Автостопом на комете

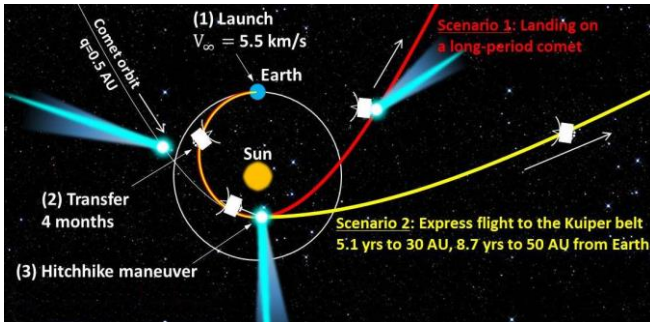


Рис. а



Рис. б

В качестве альтернативы «обычным» ракетным двигателям инженеры NASA предложили использовать для разгона космических кораблей трос, сделанный из углеродных нанотрубок (УНТ). В предложенной схеме космический корабль «ловит» на кончик троса пролетающую мимо с большой скоростью комету, и, разматывая натянутый трос, постепенно увеличивает свою скорость. В нужный момент времени трос отделяется, и разогнавшийся корабль продолжает свое путешествие на окраины Солнечной системы (рис. а).

Оценим эффективность предложенной схемы на простом примере (рис. б).

1. Найдите массу m_{nt} , длину l и толщину d УНТ троса, если
 - масса космического корабля с тросом составляет $m = 1000$ кг;
 - максимальное ускорение, которое может выдержать корабль, составляет $10g$ (в десять раз больше ускорения свободного падения на Земле);
 - кораблю необходимо разогнаться при помощи троса до скорости кометы; ее скорость изначально больше скорости корабля на $\Delta v = 7$ км/с. **(5 баллов)**
2. Сравните, во сколько раз приращение скорости корабля при разгоне УНТ тросом будет отличаться от приращения скорости с использованием реактивного топлива, если массы троса и топлива равны. Для расчета использовать формулу Циолковского*, удельный импульс ракетного двигателя на корабле считать равным 5000 м/с. **(1 балл)**
3. Оцените, какое предельное значение Δv возможно при разгоне корабля с использованием троса из УНТ (т.е. безотносительно суммарной массы корабля и его максимально возможного ускорения). **(4 балла)**

Считать, что:

- трос из УНТ можно для удобства расчетов представить как «рулон» из листа графена той же массы, длины, диаметра и прочности; плотность графена равна 2260 кг/м³, прочность на разрыв – $1,3 \cdot 10^{11}$ Н/м²;
- комета движется параллельно курсу корабля и имеет несоизмеримо большую массу;
- ускорение корабля, «поймавшего» комету, постоянно и равно максимальному;
- растяжением троса можно пренебречь.

*Формула Циолковского определяет скорость, которую развивает летательный аппарат под воздействием тяги ракетного двигателя: $\Delta v = I \cdot \ln(m/m_2)$, где Δv – изменение скорости корабля, I – удельный импульс ракетного двигателя, m – начальная масса корабля с топливом, m_2 – масса корабля, выработавшего топливо.

Всего – 10 баллов