



Шустов Борис Михайлович

Член-корреспондент РАН

доктор физико-математических наук

Научный руководитель Института астрономии РАН

<http://www.inasan.ru/divisions/administration>

[https://ru.wikipedia.org/wiki/Шустов, Борис Михайлович](https://ru.wikipedia.org/wiki/Шустов,_Борис_Михайлович)

Вопрос для 10-11 классов:

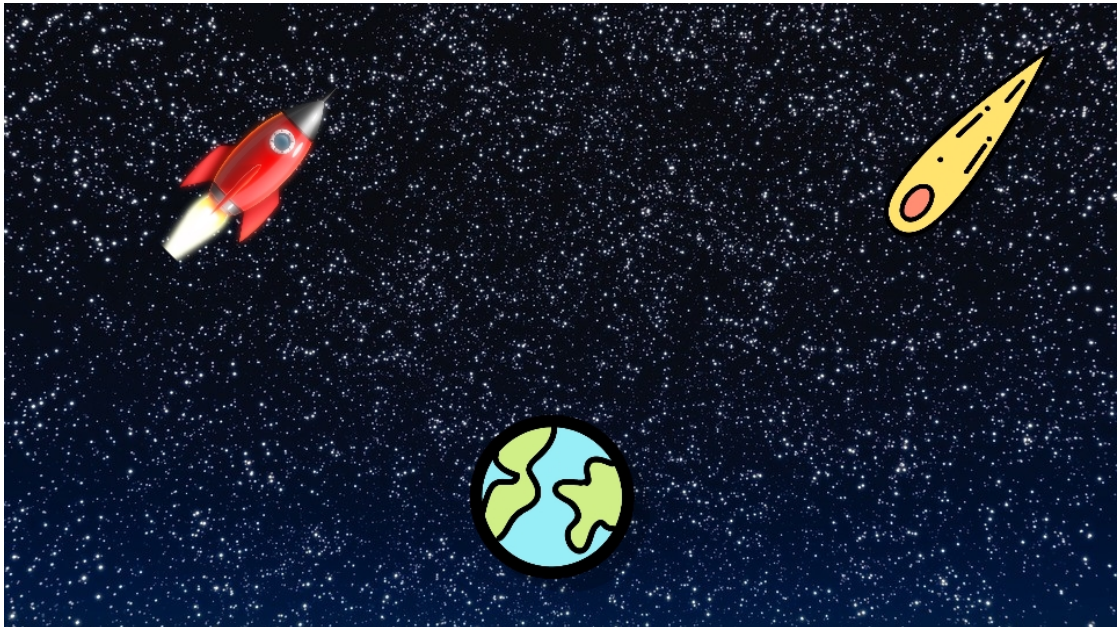
Возвращаясь из межзвездного похода, Вы – юный командор, обнаружили кометное тело на границе Облака Оорта. Приборы подсказали Вам, что комета массой 1 млн тонн сейчас находится в афелии на расстоянии 100 тысяч астрономических единиц (а.е.) и движется по сильно вытянутой орбите с перигелийным расстоянием 1 а.е. Комета может столкнуться с Землей и уничтожить крупный город, и Вы оцениваете, что можете сделать. Компьютер сообщил Вам, что чтобы предохранить Землю от столкновения на это раз и в будущем, нужно изменить орбиту кометы так, чтобы перигелийное расстояние ее орбиты стало не менее 1.1 а.е. У Вас есть один снаряд (болванка) массой 2 тонны, который вы можете выпустить в комету из корабельного рельсотрона со скоростью (относительно кометы) 10 км/с. Поскольку в астероидно-кометную опасность начальство на Земле не верило, то специальных программ в компьютере нет. Вы сами должны просчитать Ваши возможности и принять ответственное решение.

А теперь вопросы:

1. Хватит ли Вам этого ресурса для выполнения задачи.

2. В каком направлении по отношению к вектору скорости кометы нужно стрелять, чтобы добиться максимального эффекта.

Ответ нужно подкрепить расчетами.



Ответ:

Сначала оценим, как изменит выстрел скорость кометы. Считая удар абсолютно неупругим, из закона сохранения импульса, в системе отсчета кометы (т.е. считая скорость кометы равной 0) получим

$$M_{\text{снаряда}} V_{\text{снаряда}} = (M_{\text{снаряда}} + M_{\text{кометы}}) \Delta V_{\text{кометы}},$$

где $M_{\text{снаряда}}$, $M_{\text{кометы}}$ - массы снаряда и кометы соответственно, $V_{\text{снаряда}}$ - скорость снаряда, $\Delta V_{\text{кометы}}$ - приращение скорости кометы (точнее тела комета+снаряд). Масса снаряда очень мала по сравнению с массой кометы, так что достаточно точную оценку $\Delta V_{\text{кометы}}$ дает формула

$$\Delta V_{\text{кометы}} = V_{\text{снаряда}} \frac{M_{\text{снаряда}}}{M_{\text{кометы}}}$$

В нашем случае $\Delta V_{\text{кометы}} = 0.02$ м/с

Чтобы оценить, хватит ли этого, нужно сравнить скорости кометы на одном и том же афелийном расстоянии a на орбитах с перигелийными расстояниями $p_0=1$ а.е. и $p_1=1.1$ а.е.

Вот очень простой вывод:

Для того, чтобы тело (комета) из перигелия улетело в афелий ее кинетическая энергия в перигелии должна быть равной (закон сохранения энергии)

$$\frac{m_{\text{кометы}} V_p^2}{2} = G M_{\text{Солнца}} m_{\text{кометы}} \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{a} \right),$$

где V_p - скорость кометы в перигелии, G - гравитационная постоянная, $m_{\text{кометы}}$ - масса кометы. Вспомним второй закон Кеплера, согласно которому

$$\frac{V_a}{V_p} = \frac{p}{a}$$

Отсюда легко получить ΔV_a

$$\Delta V_a = (V_{a_1} - V_{a_0}) = \frac{\sqrt{G M_{\text{Солнца}}}}{a} (\sqrt{p_1} - \sqrt{p_0}) \quad (1)$$

где V_{a_0} и V_{a_1} - скорости кометы в афелии (напомню, на одном и том же афелийном расстоянии a , но на орбитах с перигелийными расстояниями p_0 и p_1 соответственно).

У нас $p_1 = 1$ а.е., а $p_2 = 1.1$ а.е. Масса Солнца $2 \cdot 10^{30}$ кг, $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ м³·с⁻²·кг⁻¹, а афелийное расстояние по условиям задачи $\approx 1.5 \cdot 10^{16}$ м. Считаем и получим $\Delta V_a = 0.015$ м/с.

Вывод: т.к удар снаряда меняет скорость кометы на $\Delta V_{\text{кометы}} = 0.02$ м/с, а нам необходимо изменить скорость кометы в афелии на $\Delta V_a = +0.015$ м/с, то спасти Землю от столкновения можно. Только стрелять нужно так, чтобы скорость кометы в афелии увеличилась, т.е. снаряд должен ударить в направлении движения кометы по орбите.