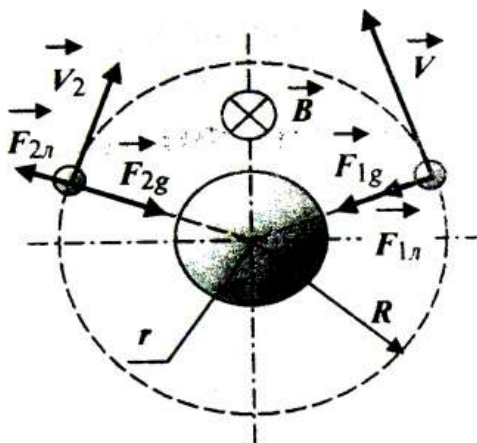


ЭВРИСТИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ПО ФИЗИКЕ СТОЛКНОВЕНИЕ СПУТНИКОВ

доц. Брацыхин В.М., учитель Северин В.Н

Условие задачи: Два абсолютно одинаковых спутника Земли летят навстречу друг другу в плоскости экватора по участку одной и той же стационарной круговой орбиты с радиусом R . Линейная скорость одного из них равна V и больше скорости другого спутника. Считая известными ускорение свободного падения на поверхности Земли g_0 и радиус Земли r , определить, при каких условиях спутники упадут на Землю после их абсолютно неупругого столкновения. Влиянием Солнца, планет, Луны и сопротивлением воздуха движению спутников пренебречь.

Проведем анализ условия задачи. Спутники Земли на стационарной орбите совершают свой полет без работающих двигателей. Но движение по одной и той же круговой орбите с разными скоростями означает разные центростремительные ускорения спутников, что может быть, только если на спутники действуют разные по величине равнодействующие силы. Для круговой орбиты равнодействующая таких сил обязательно должна быть направлена к центру Земли. Из этого следует, что на спутники действует, кроме сил гравитационного притяжения, еще какая-то сила, которая для одинаковых спутников обязательно должна быть одинаковой по величине, т.е. может быть только противоположно направленной. Такой силой может быть только сила Лоренца. Действительно, если спутники имеют одинаковые электрические заряды, то в экваториальной плоскости магнитное поле Земли перпендикулярно ей и для одного спутника сила Лоренца будет направлена к центру Земли, а для другого – от центра Земли.



Проведем соответствующие расчеты. В результате столкновения имеем

$$m(V - V_2) = 2mU \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U = (V - V_2) / 2$$

Спроектируем выражения второго закона Ньютона для первого и второго спутников на направления к центру Земли

$$\begin{cases} F_{1g} + F_{1л} = mV^2 / R \\ F_{2g} - F_{2л} = mV_2^2 / R \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} mg_0 r^2 / R^2 + qVB = mV^2 / R \\ mg_0 r^2 / R^2 - qV_2 B = mV_2^2 / R \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow qB(V + V_2) = m(V^2 - V_2^2) / R$$

откуда $U = qBR / 2m$. Подставим qB из первого уравнения системы и получим $U = (RV^2 - g_0 r^2) / 2RV$.

Найдем, при каких условиях спутники после соударения смогут упасть на Землю. После соударения масса и электрический заряд удвоятся, а магнитное поле Земли остается неизменным. Сила Лоренца работы не совершает, и по закону сохранения механической энергии имеем для объединенного спутника в момент касания поверхности Земли

$$2mU^2 / 2 - GM2m / R = 2mU_1^2 / 2 - GM2m / r \Rightarrow U_1^2 - U^2 = g_0 r (1 - r / R)$$

По закону сохранения момента импульса спутника на орбите, с учетом $m \ll M$, имеем

$$2mU_1 r = 2mUR \Rightarrow U_1 = UR / r$$

Совместное решение этих двух уравнений относительно U дает $U^2(R + r) = g_0 r^3 / R$.

После подстановки найденного выражения U получаем квадратное уравнение $V^2 - 2V \sqrt{g_0 r^3 / R(R + r)} - g_0 r^2 / R = 0$.

С учетом $V > 0$ окончательно имеем условие падения спутников на Землю: $V \leq (1 + \sqrt{2 + R/r}) \cdot \sqrt{g_0 r^3 / R(R + r)}$.