

## Решение задач творческого тура

Ярославль,  
16-20 мая

### 10-11 классы

1. Ракете, выведенной на орбиту Земли, нужно сообщить еще некоторую скорость для дальнейшего маневра. Чтобы ракета попала на Солнце, нужно практически полностью затормозить ее орбитальное движение, т.е. сообщить ей (в противоположном направлении) орбитальную скорость Земли:

$$V_1 = \left( \frac{GM}{R} \right)^{1/2} = 30 \text{ км/с},$$

здесь  $M = 2 \cdot 10^{30}$  кг – масса Солнца, а  $R = 1$  а.е. = 150 млн.км – радиус земной орбиты. С другой стороны, для запуска ракеты за пределы Солнечной системы, она должна иметь вторую космическую скорость относительно Солнца:

$$V_\infty = \left( \frac{2GM}{R} \right)^{1/2} = 42 \text{ км/с},$$

Т.е. к ее орбитальной скорости нужно добавить всего

$$V_2 = V_\infty - V_1 = 12 \text{ км/с}.$$

Учитывая, что затрата энергии пропорциональна квадрату скорости, получим относительную выгоду запуска за пределы Солнечной системы:

$$(V_1/V_2)^2 = 6,25 \text{ раза}.$$

Существует, однако, метод, который может заметно удешевить оба способа запуска. Это так называемый пертурбационный маневр, т.е. использование гравитационного поля движущейся планеты для изменения орбиты космического аппарата. Достаточно направить ракету к Юпитеру и правильно выбрать траекторию полета, чтобы притяжение Юпитера отклонила ее либо в сторону Солнца, либо за пределы Солнечной системы. Поэтому оба способа захоронения отходов теперь становятся экономически равноправными. Для полета к Юпитеру нужна скорость, немного меньшая, чем  $V_2$ , около 9 км/с (см. задание 1 для 8-9 кл.).