

# Движение КОСМИЧЕСКИХ аппаратов



# Космические скорости

- Наиболее простой случай движения тел вблизи поверхности Земли под действием силы тяжести — свободное падение с начальной скоростью, равной нулю. В этом случае тело движется прямолинейно с ускорением свободного падения по направлению к центру Земли.
- Если тело имеет начальную скорость, величина которой отлична от нуля, и ее вектор направлен не по вертикали, то тело под действием силы тяжести начнет двигаться с ускорением свободного падения по криволинейной траектории.
- Рассмотрим тело, находящееся за пределами земной атмосферы.
- Предположим, что вектор начальной скорости этого тела направлен по касательной к поверхности Земли.

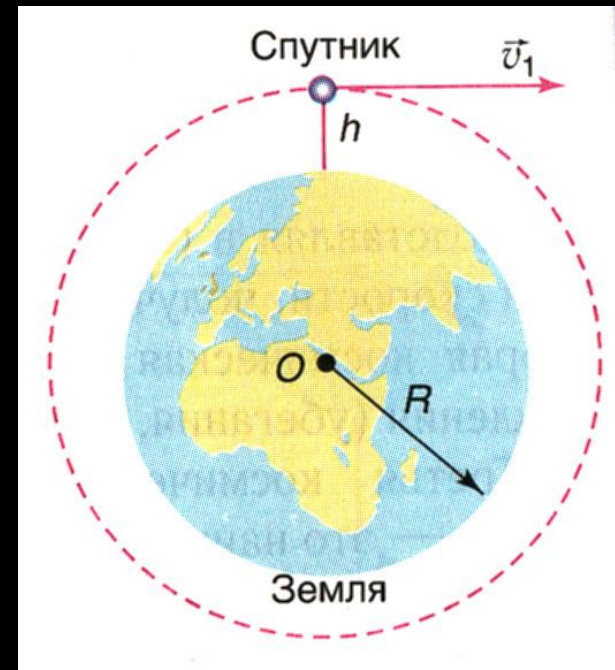
В зависимости от значения начальной скорости дальнейшее движение тела может быть различным:

- а) при малых начальных скоростях ( $V_{01}$ ,  $V_{02}$ ,  $V_{03}$ ) тело упадет на Землю;
- б) при некотором определенном значении скорости  $V_1$  и (**первая космическая скорость**) тело станет искусственным спутником и начнет обращаться вокруг Земли, подобно ее естественному спутнику — Луне;
- в) при еще большем увеличении значения скорости и достижении следующего определенного значения  $V_2$  (**вторая космическая скорость**) тело уйдет от Земли так далеко, что сила земного притяжения практически не будет влиять на его движение. Тело начнет поранимся вокруг Солнца, подобно искусственной планете;
- г) наконец, если скорость тела достигнет определенного значения  $V_3$ , (**третья космическая скорость**), то данное тело навсегда уйдет из Солнечной системы в мировое пространство.

- Рассмотрим случай, когда тело становится искусственным спутником Земли, т. е. определим первую космическую скорость  $V_1$ . Найдем эту скорость по второму закону Ньютона из условия, что под действием силы тяготения тело приобретает центростремительное ускорение:

(1)

- где  $R_{\text{обр}} = R + h$  — средний радиус орбиты тела,  $R$  — радиус Земли,  $h$  — высота тела над поверхностью Земли,  $M$  — масса Земли,  $T$  — масса тела (спутника).



Движение спутника по  
круговой орбите

- Для центростремительного ускорения
- Подставляя это выражение в формулу, после сокращений получаем:
- У поверхности Земли с учетом выражения для ускорения свободного падения
- можно положить  $h = 0$ . Тогда **первая космическая скорость** (без учета сопротивления воздуха) равна:
- (2)
- Таким образом, тело, скорость которого равна  $7,9 \cdot 10^3$  м/с и направлена по касательной относительно поверхности Земли, становится искусственным спутником Земли, движущимся по круговой орбите над Землей. В небесной механике первая космическая скорость называется также **круговой скоростью**.

- **Вторая космическая скорость** определяется из условия, что тело должно уйти из сферы земного тяготения и стать спутником Солнца. Расчеты дают следующее выражение для определения второй космической скорости (без учета сопротивления воздуха):

$$(3)$$

- где  $R$  — радиус Земли.
- Используя выражение (2), находим:

$$(4)$$

- Подставляя в (4) уже известное нам значение первой космической скорости, получим, что у поверхности Земли  $V_2 \sim 11,2 \cdot 10$  в кубе м/с. Вторая космическая скорость называется также **скоростью освобождения (убегания, ускользания) или параболической скоростью**.

- Третья космическая скорость, или гиперболическая скорость, — это наименьшая начальная скорость, с которой тело должно преодолеть земное притяжение и выйти на окоლოსолнечную орбиту со скоростью, необходимой для того, чтобы навсегда покинуть пределы Солнечной системы.
- Расчеты дают следующую формулу для нахождения величины этой скорости:

(5)

- Где  $V \sim 29,8 \cdot 10$  в кубе м/с — скорость Земли на круговой орбите движения вокруг Солнца.
- Подставляя значение второй космической скорости  $V_2$  в (5) и проведя расчет, получим, что тело должно иметь минимальную скорость  $V_3 \sim 16,7 \cdot 10$  в кубе м/с, чтобы покинуть пределы Солнечной системы.

# Орбиты космических аппаратов

- Расчеты траекторий полетов космических аппаратов связаны с использованием законов небесной механики.
- Следует заметить, что движение космических аппаратов описывается по законам небесной механики только после выключения реактивных двигателей.
- На пассивном участке траектории (т. е. после выключения двигателей) космические аппараты движутся под действием притяжения Земли и других тел Солнечной системы.



- Элементы орбиты искусственных спутников Земли взаимосвязаны между собой формулой

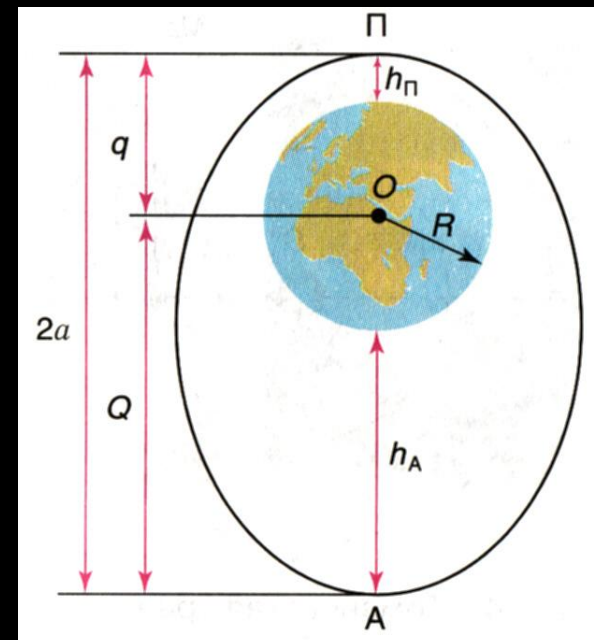
$$(6)$$

- Где  $V_0$  — начальная скорость спутника,  $M$  — масса Земли,  $r_0$  — расстояние точки выхода спутника на орбиту от центра Земли,  $a$  — большая полуось орбиты спутника.
- Эксцентриситет орбиты  $e$  при горизонтальном запуске спутника равен:

$$(7)$$

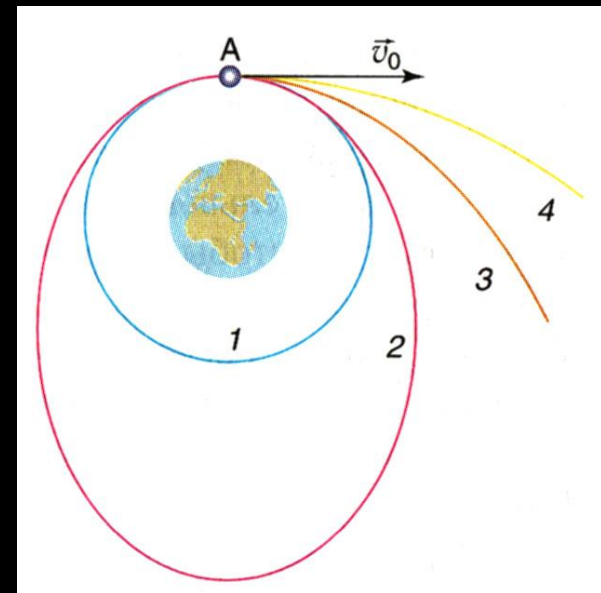
- где  $q$  — расстояние перигея (ближайшей точки орбиты от центра Земли).

- В случае эллиптической орбиты (рисунок):  $q = a(1 - e) = R + h_{\text{п}}$ , где  $h_{\text{п}}$  — линейная высота перигея над поверхностью Земли. Расстояние апогея (наиболее удаленной точки орбиты от центра Земли):  $Q = a(1 + e) = R + h_{\text{а}}$ , где  $h_{\text{а}}$  — высота апогея над земной поверхностью,  $R$  — радиус Земли.



Эллиптическая орбита  
искусственного спутника  
Земли

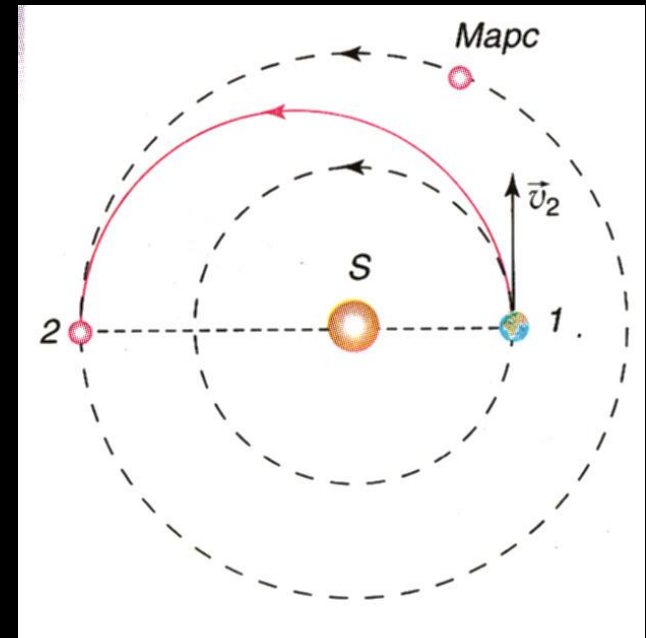
- На рисунке показаны орбиты космических аппаратов без учета возмущений, т. е. когда аппараты остаются вблизи Земли.
- Но когда космический аппарат удалится от Земли на значительное расстояние, то на дальнейшее его движение будет оказывать влияние, прежде всего, притяжение Солнца.
- Радиус сферы действия Земли принимают равным примерно 930 тыс. км;
- на границе этой сферы влияние Солнца и Земли на космический аппарат одинаково.
- Момент достижения границы сферы действия Земли считается моментом выхода космического аппарата на орбиту относительно Солнца.



Формы орбит космических аппаратов: 1-круговая; 2-эллиптическая; 3-параболическая; 4-гиперболическая

- При запуске космических аппаратов к другим планетам исходят из следующих основных соображений:
- геоцентрическая скорость космического аппарата при выходе на орбиту относительно Земли должна превышать вторую космическую скорость;
- гелиоцентрическая орбита космического аппарата должна пересекаться с орбитой данной планеты;
- момент запуска необходимо выбрать так, чтобы орбита была наиболее оптимальной с точки зрения сроков полета, затрат топлива и ряда других требований.

- Одним из классов межпланетных траекторий являются энергетически оптимальные орбиты, которые соответствуют наименьшей геоцентрической скорости космических аппаратов в момент достижения границы сферы действия Земли. На рисунке указана такая траектория перелета на Марс, построенная на предположении, что орбиты Земли и Марса круговые.



- Данная орбита носит название гомановской, так как названа в честь немецкого астронома *Вальтера Гомана*, занимавшегося теорией межпланетных полетов.

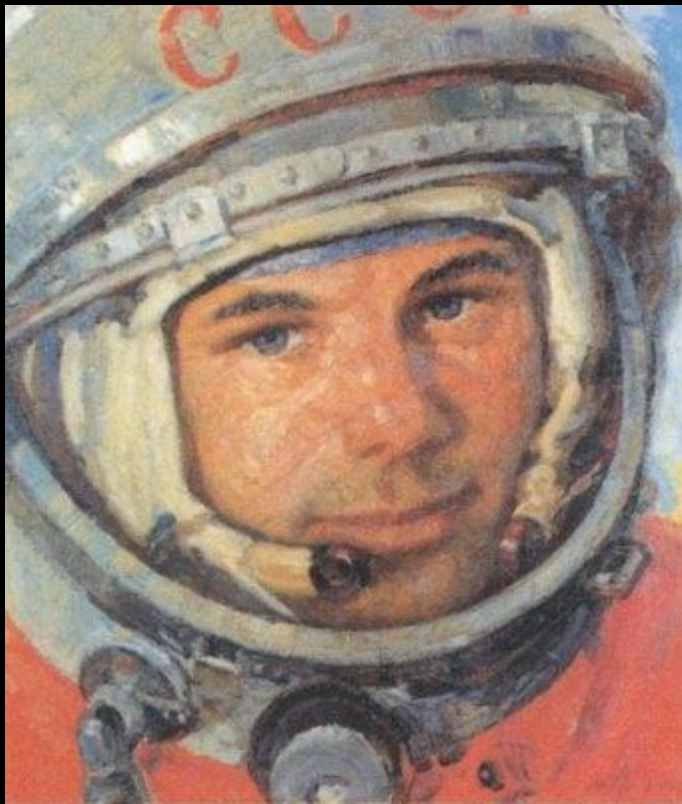


- В момент запуска космического аппарата Земля находится в точке 1. Гелиоцентрическая скорость  $V_2$  космического аппарата должна быть направлена так же, как и гелиоцентрическая скорость Земли, — по касательной к орбите Земли.
- Момент запуска следует подобрать так, чтобы космический аппарат и Марс, двигаясь по своим орбитам, достигли одновременно точки 2. Буквой  $S$  обозначено Солнце.
- Расчеты показывают, что время полета с Земли до Марса по указанной траектории составит 259 суток (не считая сравнительно короткого времени полета до границы сферы действия Земли).

# Проблемы перспективы космических исследований

- **Космонавтика**— комплексная отрасль науки и техники, обеспечивающая исследование и использование космического пространства с помощью автоматических и пилотируемых космических аппаратов.
- Главными задачами космонавтики (в порядке их достижения) являются: вывод искусственного спутника на орбиту Земли, полет человека в космос, полет человека на Луну, полет человека на другие планеты, полет к звездам. Первые три цели достигнуты.





- Начало космической эры было положено в СССР запуском первого искусственного спутника Земли 4 октября 1957 г.
- Вторая важнейшая дата космической эры — 12 апреля 1961 г. В этот день Ю.А.Гагарин впервые в истории человечества совершил полет в космос на космическом корабле «Восток».

- Третье историческое событие космонавтики — первая лунная экспедиция, осуществленная 16-24 июля 1969 г. американскими астронавтами Н. Армстронгом, М. Коллинзом и Э. Олдрином.



- Значительный вклад в исследование космического пространства внесли и белорусские космонавты П. И. Климук и В. В. Коваленок, неоднократно проводившие исследования в период 1973—1981 гг. в составе различных экипажей. Полеты человека в космос для нас стали уже почти обыденным явлением.



В. В. Коваленок



П. И. Климук

- Современная теория космических полетов — **астродинамика** основана на классической небесной механике и теории управления движением летательных аппаратов.
- Космонавтика нуждается в тщательной разработке оптимальных траекторий космических аппаратов с учетом ряда условий и ограничений.
- Создание ракетно-космических комплексов — также весьма сложная научно-техническая проблема. Большие ракеты-носители достигают стартовой массы до 3000 т и имеют длину свыше 100 м.
- Мощность двигательных установок измеряется десятками миллионов киловатт. При этом приходится решать сложные задачи охлаждения работающего двигателя, добиваться устойчивости процесса горения, синхронности работы двигателей и т.д.
- Космические аппараты должны обладать способностью к длительному самостоятельному функционированию в условиях космического пространства, кроме того, возникает ряд дополнительных медико-биологических проблем (защита от космической среды, жизнеобеспечение экипажа и т. д.). Все это требует разработки специальных систем.
- Обеспечение полета космических аппаратов осуществляется широкой сетью наземных служб управления.

# Главные выводы

- Скорость, при которой космический аппарат выводится на круговую орбиту вокруг небесного тела, называется первой космической скоростью.
- Скорость, необходимая для того, чтобы космический аппарат вышел из сферы гравитационного действия Земли и обращался вокруг Солнца, называется второй космической скоростью.
- Скорость, при которой космический аппарат, запущенный с Земли, покинет Солнечную систему, называется третьей космической скоростью.
- Орбиты космических аппаратов представляют собой элементы эллипсов, парабол и гипербол.
- Космические исследования — совокупность отраслей науки и техники, обеспечивающая полеты и освоение космического пространства с целью всестороннего изучения Земли как планеты ближнего и дальнего космоса.