Как летают космические аппараты? Механика космического полета.

Методические рекомендации по организации урочной и внеурочной деятельности в рамках модуля

Для возраста

9 класс

Трудоемкость

2 часа

htweek.ru

Пояснительная записка

На данном уроке попытаемся ответить на вопросы, связанные с механикой космического полета. Обучающиеся узнают, какие силы воздействуют на космические аппараты, как верно рассчитать траекторию полета космического аппарата и что нужно учитывать при проектировании таких полетов.

На уроке формируются основные знания о методах численного интегрирования расчета траектории космических аппаратов, невесомости и движении космических аппаратов в центральном поле тяготения.

Обучающиеся знакомятся с основными понятиями, терминами и методами по теме урока. По необходимости делают записи основных моментов урока, основных формул и определений, выполняют практическую работу.

Во время урока предусмотрено использование различных приемов обучения, современных ТСО, наглядности, программ для просмотра презентаций, работа в малых группах.

ТЕМА УРОКА: «Движение в поле тяготения».

ЦЕЛИ УРОКА:

– усвоить идею о численном интегрировании расчета траектории космического аппарата;

– освоить понятие невесомости; изучить движение космических аппаратов в центральном поле тяготения;

– сформировать навыки анализа научно-технической информации.

НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ: презентация.
РАЗДАТОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ: задания к уроку в рабочей тетради.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА: компьютер, проектор, экран.

ВИД УРОКА: урок «открытия» нового знания.

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ УРОКА: 45 минут.

ХОД УРОКА:

I. ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ МОМЕНТ

Учитель произносит приветственное слово.

Проговариваются организаторские моменты по проведению занятия.

Учитель задает вопросы по теме урока, побуждая учащихся к деятельности:

"Представьте себе, что завтра мы планируем запустить спутник, который должен сделать фотографии поверхности Плутона. Все необходимое оборудование для выполнения данной операции есть. Перечислите, что нам необходимо учесть, чтобы миссия спутника удалась?"

Обучающиеся делают предположения: сила тяжести планеты Земля, особенности запуска космического аппарата в космос, невесомость, сила гравитации космических тел, которые могут оказаться на пути спутника (планеты и их спутники, иные космические тела).

Учитель задает наводящий вопрос: **"Сможем ли мы рассчитать траекторию полета такого космического аппарата"?** Учащиеся отвечают на вопрос учителя, затем определяют первичную тему и цель урока, высказывают личностное отношение к предлагаемому курсу.

II. ИЗУЧЕНИЕ НОВОГО МАТЕРИАЛА

Учитель объясняет материал по теме урока.

Теоретический материал.

Методы численного интегрирования расчета траектории КА. Невесомость. Движение космических аппаратов в центральном поле тяготения.

При поступательном движении все точки тела имеют одинаковые скорости. Допустим, корабль состоит из разрозненных деталей.

Можно ли утверждать, что если на корабль действуют одни лишь силы притяжения небесных тел, то скорости различных деталей и в дальнейшем будут одинаковыми?

Как вы полагаете, как эти скорости изменяются?

Это произойдет потому, что гравитационные ускорения не зависят от масс деталей, расстояния же деталей от центра небесного тела можно считать практически одинаковыми в силу того, что размеры корабля ничтожно малы по сравнению с этими расстояниями.

Отсюда следует, что и траектории отдельных деталей будут одинаковыми, т.е. детали не разойдутся в пространстве. Ясно потому, что давление между отдельными деталями будет отсутствовать, т.е. будет отсутствовать характерный признак состояния *весомости*. Космонавт не будет давить на кресло, в котором он сидит, висячая лампа не будет натягивать шнур и т.п. (*безопорное состояние*).

"Как вы считаете, был ли данный факт известен до полетов в невесомости?"

Мало того, предмет, помещенный внутри кабины (например, карандаш, выпущенный из пальцев космонавта), никуда не упадет, так как его скорость и ускорение будут теми же, что и скорость и ускорение всех других деталей корабля. Он не сможет ни догнать какую-нибудь стенку кабины, ни отстать от нее. Понятия пола и потолка исчезнут. Падения тел внутри корабля не будет происходить. *Притяжение Земли* (или другого небесного тела) *не будет вмешиваться в перемещения предметов относительно корабля*.

Таким образом, *невесомость* на космическом корабле возникает, как это ни парадоксально, именно потому, что в свободном полете гравитационные силы имеют полную свободу проявления, так как отсутствуют какие-либо внешние поверхностные силы, действующие на корабль. *Наличие же внешних* *поверхностных сил* (силы сопротивления среды, силы реакции опоры или подвеса) – *обязательное условие существования состояния весомости*.

Итак, тело, *свободно и поступательно движущееся под влиянием одних лишь сил тяготения, всегда находится в состоянии невесомости*.

Ответьте на вопрос: существует ли невесомость на Земле?

Примеры: падающий лифт (при обрыве троса); человек, совершающий прыжок, между моментом отрыва от Земли и моментом приземления (сопротивлением воздуха при этом можно пренебречь).

Теперь, когда мы выяснили природу невесомости, уместно будет внести некоторые поправки.

Мы все время имели в виду, что гравитационные ускорения отдельных деталей почти (но не в точности) одинаковы, так как расстояния отдельных деталей от притягивающего тела (например, Земли) примерно одинаковы. Фактически все эти неточности ничтожны. Перепад гравитационных ускорений (*градиент гравитации*) в области пространства, занятой космическим кораблем, ничтожен. Например, на высоте 230 км над поверхностью Земли земное гравитационное ускорение уменьшается на $2{,}77 \cdot 10^{-6}$ м/с^2 на каждый метр высоты. Когда космический корабль длиной 5 м располагается вдоль линии, направленной на центр Земли, его нижний конец получает ускорение на 0,00015% больше, чем верхний. И все же эта ничтожная величина, если бы корабль и в самом деле представлял собой «груду разрозненных деталей», привела бы в конце концов к расползанию их в пространстве. Но так как корабль фактически представляет собой единое целое, то градиент гравитации лишь стремится развернуть и удержать его вдоль линии, направленной на центр Земли.

Градиент гравитации сильнее сказывается на телах, имеющих значительные размеры. В частности, градиент лунного и меньший по величине градиент солнечного притяжений вызывают приливы в земных океанах.

Таким образом, нарушения невесомости, вызванные наличием градиента гравитации (т.е., по существу, неоднородностью поля тяготения), приводят не к «частичной невесомости», а к совершенно особому состоянию. В состоянии свободного полета в поле тяготения тела несколько (весьма и весьма слабо) растянуты в радиальном направлении.

Центральное поле тяготения

Громоздкой процедуры подбора нужной космической траектории можно избежать, если задаться целью примерно наметить путь космического аппарата. Оказывается, что для сравнительно точных расчетов нет нужды учитывать действующие на космический аппарат силы притяжения всех небесных тел или даже сколько-нибудь значительного их числа.

Когда космический аппарат находится в мировом пространстве вдали от планет, достаточно учитывать притяжение одного лишь Солнца, потому что гравитационные ускорения, сообщаемые планетами (вследствие больших расстояний и относительной малости их масс), ничтожно малы по сравнению с ускорением, сообщаемым Солнцем.

Допустим теперь, что мы изучаем движение космического объекта вблизи Земли. Ускорение, сообщаемое этому объекту Солнцем, довольно заметно: оно примерно равно ускорению, сообщаемому Солнцем Земле (около 0,6 см/с^2); естественно было бы его учитывать, если нас интересует движение объекта относительно Солнца (учитывается же ускорение Земли в ее годовом движении вокруг Солнца!). Но если нас интересует движение космического объекта относительно Земли, то притяжение Солнца оказывается сравнительно малосущественным. Оно не будет вмешиваться в это движение аналогично тому, как притяжение Земли не вмешивается в относительное движение предметов на борту корабля- спутника. То же касается и притяжения Луны, не говоря уже о притяжениях планет.

Вот почему в космонавтике оказывается весьма удобным при примерных расчетах («в первом приближении») почти всегда рассматривать движение космического аппарата под действием одного притягивающего небесного тела, т.е. исследовать движение в рамках ограниченной задачи двух тел. При этом удается получить важные закономерности, которые совершенно ускользнули бы от нашего внимания, если бы мы решились изучать движение космического аппарата под влиянием всех действующих на него сил.

Будем считать небесное тело однородным материальным шаром или по крайней мере шаром, состоящим из вложенных друг в друга однородных сферических слоев (так примерно обстоит дело для Земли и планет). Математически доказывается, что такое небесное тело притягивает так, будто бы вся его масса сосредоточена в его центре. Такое поле тяготения называется *центральным* или *сферическим*.

Будем изучать движение в центральном поле тяготения космического аппарата, получившего в начальный момент, когда он находился на расстоянии r_0 от небесного тела, скорость v_0 (r_0 и v_0 – начальные условия). Для дальнейшего воспользуемся законом сохранения механической энергии, который справедлив для рассматриваемого случая, так как поле тяготения является потенциальным; наличием же негравитационных сил мы пренебрегаем. Кинетическая энергия космического аппарата равна $mv^2/2$, где m – масса аппарата, а v – его скорость. Потенциальная энергия в центральном поле тяготения выражается формулой:

$$\Pi = -\frac{Mm}{r},$$

где M – масса притягивающего небесного тела, а r – расстояние от него космического аппарата; потенциальная энергия, будучи отрицательной, увеличивается с удалением от Земли, обращаясь в нуль на бесконечности. Тогда закон сохранения полной механической энергии запишется в следующем виде:

$$\frac{mv_0^2}{2} - \frac{fMm}{r_0} = \frac{mv^2}{2} - \frac{fMm}{r}.$$

Здесь в левой части равенства стоит сумма кинетической и потенциальной энергий в начальный момент, а в правой – в любой другой момент времени. Сократив на m и преобразовав, мы напишем *интеграл энергии* – важную формулу, выражающую скорость v космического аппарата на любом расстоянии r от центра притяжения:

$$v^2 = v_0^2 - \frac{2fM}{r_0}\left(1 - \frac{r_0}{r}\right), \tag{1}$$

или

$$v^2 = v_0^2 - \frac{2K}{r_0}\left(1 - \frac{r_0}{r}\right), \tag{2}$$

где $K=fM$ – величина, характеризующая поле тяготения конкретного небесного тела (*гравитационный параметр*). Для Земли $K=3{,}986005\cdot10^5$ км^3/с^2, для Солнца $K= 1{,}32712438\cdot10^{11}$ км^3/с^2.

III. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ИЗУЧЕННОГО МАТЕРИАЛА

Учитель задает контрольные вопросы:

1. При каких условиях возникает невесомость?
2. Что такое градиент гравитации?

3. В каких случаях можно задачу *n* тел свести к задаче 2-х тел?
4. Что понимается под *интегралом энергии*?

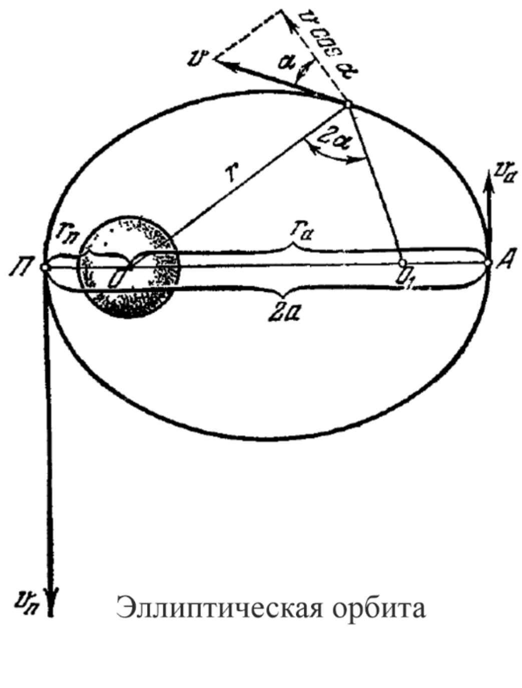
IV. ВЫПОЛНЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Путь, описываемый космическим аппаратом (точнее, его центром масс) в пространстве, называется *траекторией* или *орбитой*. Все многообразные формы траекторий можно разделить на четыре группы.

1) Прямолинейные траектории. Если начальная скорость равна нулю, то тело начинает падение в направлении к центру по прямой линии. Движение по прямой линии будет и в том случае, если начальная скорость направлена точно к центру притяжения или в прямо противоположном направлении, т.е. если скорость радиальна. Во всех остальных случаях прямолинейное движение невозможно (исключение представляет гипотетический случай движения с бесконечно большой скоростью).

2) Эллиптические траектории. Если начальная скорость направлена не радиально, то траектория уже не может быть прямолинейной, так как искривляется притяжением Земли. При этом она лежит целиком в плоскости, проведенной через начальное направление скорости и центр Земли.

Если начальная скорость не превышает некоторой величины, то траектория представляет собой *эллипс*, причем центр притяжения находится в одном из его фокусов. Если эллиптическая орбита не пересекает поверхности притягивающего небесного тела, космический аппарат является его *искусственным спутником*.



Эллиптическая орбита

Расстояние между вершинами эллипса называется *большой осью*. Половина большой оси («большая полуось») принимается за *среднее расстояние спутника* от небесного тела и обозначается буквой *a*. Скорость *v* и расстояние *r* спутника от центра притяжения в любой момент времени (в частности, в начальный) связаны со средним расстоянием *a* зависимостью

$$v^2 = K\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right) \tag{1}$$

Период обращения P искусственного спутника вычисляется по формуле

$$P = \frac{2\pi\sqrt{a^3}}{\sqrt{K}} = \frac{2\pi}{\sqrt{K}} a^{\frac{3}{2}} \tag{2}$$

или

$$P = Ca^{\frac{3}{2}} \tag{3}$$

где $\mathrm{C} = 2\pi/\sqrt{K}$ – определенное число для каждого небесного тела.

Отношение расстояния между фокусами к длине большой оси называется *эксцентриситетом* эллипса и обозначается буквой *e*.

Из формулы (1) видно, что чем больше начальная скорость, тем больше большая ось орбиты и тем больше, в соответствии с формулой (2), период обращения. При этом для одного и того же r_0 при направленных в разные стороны скоростях одинаковой величины v_0 получаются орбиты с одинаковыми периодами обращения и большими осями.

Ближайшая и наиболее удаленная от центра притяжения точки эллипса (П и А) называются соответственно *перицентром* и *апоцентром*, а прямая линия, их соединяющая, *линией апсид*.

Для конкретных притягивающих центров эти точки носят специальные названия. Так, если притягивающим телом является Земля, то перицентр и апоцентр называются соответственно *перигеем* и *апогеем*; если Солнце – *перигелием* и *афелием*, если Луна – *периселением* и *апоселением*. Скорость в перигее ($v_п$) максимальна, в апогее ($v_а$) – минимальна, причем эти две скорости связаны соотношением

$$v_п r_п = v_а r_а \,, \tag{4}$$

где $v_п$ и $v_а$ – расстояния в перигее и апогее. Скорости в перигее и апогее перпендикулярны к направлениям на центр Земли. Для всех остальных точек эллипса верно соотношение

$$vr\cos\alpha = v_п r_п = v_а r_а \tag{5}$$

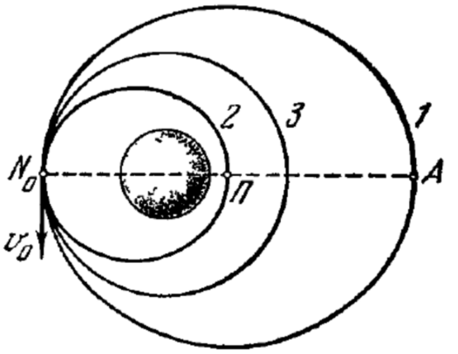
или

$$vr\cos\alpha = v_0 r_0 \cos\alpha_0 \tag{6}$$

(нули в индексах указывают начальные величины). Здесь в левых частях стоят произведения расстояний r на трансверсальные (поперечные) составляющие скорости $v\cos\alpha$, т.е. на проекции скорости на перпендикуляр к радиальному направлению.

Если умножить левые и правые части равенства (4), (5) или (6) на массу m космического аппарата, то легко убедиться, что эти равенства выражают *закон сохранения момента количества движения* космического аппарата. Моментом количества движения относительно какой-либо точки (в данном случае относительно центра притяжения) в механике называется произведение количества движения mv на величину перпендикуляра, опущенного из точки на линию, указывающую направление скорости (в данном случае величина этого перпендикуляра равна $r\cos\alpha$.

Рассмотрим практически важные случаи, когда начальные скорости трансверсальны. При этом, очевидно, начальная точка N_0 должна быть перигеем или апогеем. Первое будет в том случае, когда начальная скорость достаточно



Эллиптические орбиты при трансверсальных начальных скоростях: 1 - внешняя, 2 - внутренняя, 3 - круговая.

велика (больше некоторой величины), чтобы спутник мог начать удаляться от Земли на пути к апогею (орбита 1). Второе будет в случае, когда скорость меньше той же величины (орбита 2); при этом, очевидно, возможно падение на Землю (если перигей окажется под земной поверхностью или ниже плотных слоев атмосферы). «Пограничным» является случай, когда начальная скорость такова, что спутник не поднимается и не опускается, т.е. описывает круговую орбиту 3 (частный случай эллиптической) с постоянной круговой скоростью $v_{кр}$.

Радиус круговой орбиты r равен большой полуоси a. Из формулы (1)

$$v_{кр}^2 = \frac{K}{r}, \quad \text{или} \quad v_{кр} = \sqrt{\frac{K}{r}} \qquad (7)$$

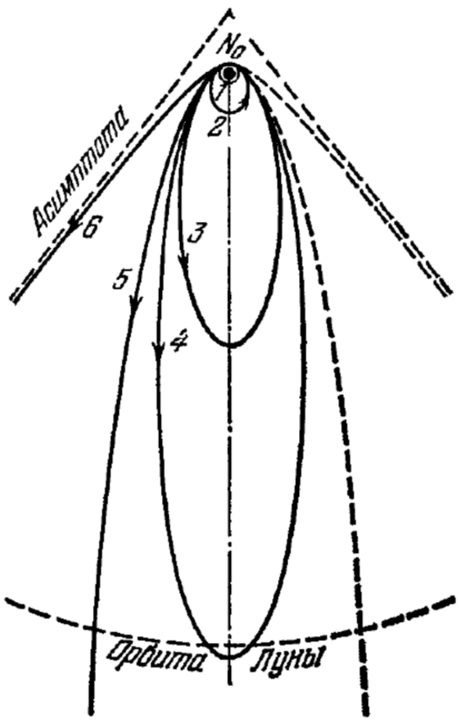
Из последней формулы, зная K для Земли, легко найти круговую скорость для любого расстояния r от ее центра или для любой высоты h над земной поверхностью ($h=r - r^*$, где r^* = 6371 км – средний радиус Земли).

В частности, у поверхности Земли ($r = r^*$, h=0) круговая скорость равна 7,910 км/с. Эту величину называют первой космической скоростью.

Если записать формулу (1) для начального момента времени, а именно:

$$v_0^2 = K\left(\frac{2}{r_0} - \frac{1}{a}\right) \qquad (8)$$

то нетрудно заметить, что с увеличением начальной скорости v_0 большая полуось a также увеличивается. На рисунке показаны эллиптические орбиты при различных величинах трансверсальной начальной скорости, сообщаемой у поверхности Земли.



Орбиты при различных трансверсальных начальных скоростях v_0: 1 - круговая (v_0=7,910 км/с); 2, 3, 4 - эллиптические при v_0 = 10,0, 11,0 и 11,1 км/с; 5 - параболическая (11,186 км/с); 6 - гиперболическая (12,0 км/с).

Из формулы (9) видно, что по мере того, как v_0^2 приближается к постоянной величине $2K/r_0$, большая полуось a стремится к бесконечности.

3) Параболические траектории. Эллиптическая орбита, у которой «апогей находится в бесконечности», не является уже, конечно, эллипсом. Двигаясь по такой траектории, космический аппарат бесконечно далеко уходит от центра притяжения, описывая разомкнутую линию – параболу. По мере удаления аппарата его скорость приближается к нулю.

Приняв в формуле (1) скорость в бесконечности равной нулю ($r = \infty$, $v = 0$), мы найдем такую величину начальной скорости v_0, которая обеспечивает возможность рассматриваемого движения.

$$v_0^2 = \frac{2K}{r_0},$$

или

$$v_0 = v_{\text{осв}} = \sqrt{\frac{2K}{r_0}}. \tag{9}$$

Вычисленная по формуле (9) величина называется параболической скоростью или скоростью освобождения. Получив такую скорость, космический аппарат движется по параболе и уже не возвращается к центру притяжения, как бы освобождаясь от оков тяготения. Когда скорость (9) сообщается в вертикальном направлении, траекторией является прямая линия, но и в этом случае скорость называют параболической. Между скоростью освобождения и круговой скоростью в любой точке существует простая зависимость

$$v_{\text{осв}} = v_{\text{кр}}\sqrt{2}, \text{ или } v_{\text{осв}} \approx 1{,}414 v_{\text{кр}} \tag{10}$$

Значение скорости освобождения (параболической скорости) у поверхности Земли ($r= r$ *=6371 км) носит название *второй космической скорости* и составляет 11,186 км/с. На высоте h=200 км $v_{\text{осв}}$ =11,015 км/с.

Воспользовавшись формулой (9), мы можем теперь записать основную формулу (1) для скорости в центральном поле тяготения так:

$$v^2 = v_0^2 - v_{\text{осв } 0}^2 \left(1 - \frac{r_0}{r}\right). \tag{11}$$

Гиперболические траектории. Если космический аппарат получит скорость v_0, превышающую параболическую, то он, разумеется, также «достигнет бесконечности», но при этом будет двигаться уже по линии иного рода – гиперболе. При этом скорость аппарата в бесконечности (v_∞) уже не будет равна нулю. Физически это означает, что по мере удаления аппарата его скорость будет непрерывно падать, но не сможет стать меньше величины, которую можно найти, приняв в формуле (11) $r = \infty$. Получим

$$v_\infty^2 = v_0^2 - v_{\text{осв } 0}^2 . \tag{12}$$

Величину v_∞ называют по-разному: *остаточная скорость*, *гиперболический избыток скорости* и т.п.

Гиперболическая траектория вдали от центра притяжения становится почти неотличимой от двух прямых линий, называемых асимптотами гиперболы. На большом расстоянии от центра притяжения гиперболическую траекторию приближенно можно считать прямолинейной.

Для гиперболических и параболических орбит справедливы, как и для эллиптических орбит, формулы (5) и (6).

В заключение заметим, что пассивное движение в центральном поле тяготения часто называют кеплеровым движением, а эллиптические, параболические и гиперболические траектории объединяются общим названием кеплеровых орбит по имени немецкого ученого Иоганна Кеплера (1571-1630), впервые установившего эллиптическую форму орбит планет, указавшего законы их движения и тем самым положившего начало небесной механике как науке.

Всегда важно помнить, что любая кеплерова орбита расположена в плоскости, проходящей через центр притяжения. Положение этой плоскости в пространстве не изменяется.

Полная механическая энергия для всех точек некоторой кеплеровой орбиты есть величина постоянная. Для параболической орбиты она всюду равна нулю, так как в этом случае в бесконечности равны нулю и кинетическая энергия, и потенциальная. Для любой эллиптической орбиты она отрицательна (так как эллиптическая скорость меньше параболической), а для любой гиперболической – положительна. В последнем случае величина v_∞^2, представляет собой *удвоенную полную механическую энергию, приходящуюся на единицу массы космического аппарата*.

Задание.

Рассчитать первую и вторую космические скорости для Юпитера. Масса Юпитера равна $1{,}9\cdot10^{27}$ кг, радиус Юпитера равен 71500 км, гравитационная постоянная G равна $6{,}67\cdot10^{-11}$ м^{3}с$^{-2}$кг$^{-1}$.

Решение

Вычислим гравитационный параметр Юпитера по формуле:

$$K = G \cdot M$$

$$K = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 1{,}9 \cdot 10^{27} = 1{,}27 \cdot 10^{17}\ \frac{\text{м}^3}{\text{с}^2}$$

Вычислим первую космическую (круговую) скорость для КА у Юпитера по формуле:

$$v_1 = v_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{K}{r}} = \sqrt{\frac{1{,}27 \cdot 10^{17}}{7{,}15 \cdot 10^7}} = 42{,}1\ \text{км/с}$$

Вычислим вторую космическую скорость, она же скорость освобождения, для Юпитера по формуле:

$$v_2 = v_{осв} = v_{кр}\sqrt{2} = 4{,}1 \cdot 1{,}41 = 59{,}5 \text{ км/с}$$

Ответ: первая и вторая скорости для Юпитера равны 42,1 и 59,5 км/с соответственно.

V. Подведение итогов

Учитель задает вопросы по пройденному на уроке материалу:

– Что мы изучили на сегодняшнем уроке?

– С какой целью мы решали задачи и при каких условиях нам потребуются данные знания?

Заключение

Оцени работу своего класса:

1. Все ли члены класса принимали участие в работе?

А) Да, все работали одинаково;

Б) Нет, работал только один;

В) кто- то работал больше, кто- то меньше других.

2. Дружно ли вы работали? Были ссоры?

А) Работали дружно, ссор не было;

Б) Работали дружно, спорили, но не ссорились;

В) Очень трудно было договариваться, не всегда получалось.

3. Тебе нравится результат работы класса?

А) Да, всё получилось хорошо;

Б) Нравится, но можно сделать лучше;

В) Нет, не нравится.

4. Оцени свой вклад в работу класса.

А) Почти всё сделали без меня;

Б) Я сделал очень много, без меня работа бы не получилась;

В) Я принимал участие в обсуждении.

Самооценка результатов образования

Пожалуйста, ответьте на вопросы. Опираясь на систему оценивания, подсчитайте общее количество баллов.

Ответ «да»	Ответ «скорее да»	Ответ «скорее нет»	Ответ «Нет»
5 баллов	3 балла	1 балл	0 баллов

Чему я научился	**Моя самооценка**
1. Понимаю, что такое гравитация и как она воздействует на космические аппараты	Да Скорее да Скорее нет Нет
2. Могу рассказать о природе невесомости	Да Скорее да Скорее нет Нет
3. Понимаю, что такое центральное поле тяготения	Да Скорее да Скорее нет Нет
4. Могу объяснить, в чем отличие прямолинейных, эллиптических, параболических, гиперболических траекторий	Да Скорее да Скорее нет Нет

5. Могу рассчитать круговую скорость у поверхности Земли	Да Скорее да Скорее нет Нет
6. Могу рассчитать и первую космическую скорость для различных планет	Да Скорее да Скорее нет Нет
7. Могу вычислить гравитационный параметр	Да Скорее да Скорее нет Нет

30-35 баллов	блестяще! Вы в совершенстве усвоили содержание модуля.
20-29 баллов	вы отлично поработали и усвоили большую часть предложенного материала, спасибо!
15 – 19 баллов	неплохо! Надеемся, вы узнали немало интересного и ещё вернётесь к темам, затронутым в модуле.
10 – 14 баллов	спасибо за старание!
0 – 9 баллов	возможно, вам стоит попробовать поработать с этим материалом ещё раз чуть позже.