

Тема урока: «Законы Кеплера»

Тип урока: урок открытия новых знаний.

Цель: создание условия для осознанного усвоения законов Кеплера через организацию исследовательской деятельности с применением цифровых симуляторов.

Предметные результаты (знания/умения):

Знать: формулировки трех законов Кеплера, геометрический смысл эллипса (фокусы, эксцентриситет), понятие радиуса-вектора.

Уметь: объяснять причины неравномерного движения планет по орбите (второй закон), применять третий закон для сравнения периодов обращения планет, использовать симулятор для проверки закономерностей законов.

Метапредметные результаты:

Познавательные УУД: анализировать данные симуляции, выявлять закономерности, строить логические рассуждения, устанавливать причинно-следственные связи (форма орбиты – скорость движения).

Регулятивные УУД: планировать свою деятельность (работа с симулятором), осуществлять самоконтроль и коррекцию, оценивать правильность выполнения учебной задачи.

Коммуникативные УУД: организовывать учебное сотрудничество и совместную деятельность в парах, формулировать, аргументировать и отстаивать свое мнение.

Личностные результаты:

Формирование научного мировоззрения (представление о познаваемости мира и наличии строгих законов, управляющих движением небесных тел).

Развитие мотивации к изучению естественных наук через работу с современным цифровым инструментарием.

Методы интенсификации, используемые на уроке:

Технологическая составляющая: использование симулятора *Universe Sandbox* (или *Stellarium* в режиме отображения орбит) для визуализации и моделирования.

Организационная составляющая: элемент «перевернутого обучения» (краткая домашняя видео-подготовка снимает этап долгого введения в тему).

Когнитивная составляющая: проблемно-исследовательский метод (учащиеся не получают законы в готовом виде, а «открывают» их в ходе лабораторной работы с симулятором).

Оборудование и программное обеспечение:

Компьютерный класс (или ноутбуки/планшеты для работы в парах) с установленным ПО *Universe Sandbox* (или доступ к онлайн-версии *PhET «Мое Солнце»*).

Интерактивная доска/проектор для демонстраций.

Раздаточный материал: рабочие листы для выполнения лабораторной работы (Приложение 1).

Доступ в интернет (для быстрой проверки данных планет, если потребуется).

Ход урока

I. Организационный этап и мотивация (2 мин)

Приветствие, психологический настрой учащихся на работу прием «Знак зодиака» – счастливирик дня, проверка готовности.

Мотивационный этап (создание проблемы):

Учитель демонстрирует на интерактивной доске короткое видео (анимацию) движения планет в программе Universe Sandbox в ускоренном режиме. Обращает внимание, что Меркурий движется быстрее, когда он ближе к Солнцу, и медленнее – когда дальше.

Вопрос классу: «Почему планеты движутся неравномерно? Кто открыл законы этого движения?»

II. Этап актуализации знаний и проверки опережающего задания. Целеполагание(5 мин).

(Реализация «перевернутого обучения»)

Учитель организует фронтальную беседу на основе короткого видеоролика, который учащиеся просмотрели дома (ролик на 4 минуты об истории открытия законов Кеплером на основе наблюдений Тихо Браге).

<https://www.youtube.com/watch?v=1uUIt7ffUAg>

Вопросы для обсуждения:

Кто такой Иоганн Кеплер и на чьи наблюдения он опирался?

Почему модель Коперника с идеальными круговыми орбитами не совпала с данными наблюдений?

Какую геометрическую фигуру предложил Кеплер для описания орбит?



Гелиоцентрическая система Н. Коперника	Планеты движутся по круговым орбитам (считалось с древнейших времен – по окружности). Планеты движутся равномерно
--	--

Иоганн Кеплер, работая в Праге учеником у **Тихо Браге** (1546-1601, Дания), унаследовал результатов кропотливых и многолетних наблюдений Тихо Браге за планетой Марс – подробные таблицы наблюдения движения Марса и на их основе вывел законы движения планет, но не объяснил их т.к. не был открыт И. Ньютоном закон всемирного тяготения), преодолев предрассудки о равномерном движении по «самой совершенной» кривой - окружности. Открытие этих законов явилось важнейшим этапом в развитии гелиоцентризма.

Вывод учащихся: Движение планет подчиняется строгим математическим законам, которые мы сегодня исследуем.

Целеполагание. Формулировка учащимися целей урока.

III. Этап изучения нового материала (25 мин).

Работа в парах. Мини-исследование с использованием цифрового симулятора.

Рабочий лист (Приложение 1).

Задание 1. Исследование формы орбиты. Первый закон Кеплера (7 мин).

Инструкция учителя:

«Запустите симулятор *Universe Sandbox*. Создайте упрощенную модель: одна звезда (Солнце) и одна планета (Земля). Включите отображение орбиты (Trail/Path) и сетку. Понаблюдайте за траекторией».

Задание:

1. Зарисуйте траекторию движения планеты. Является ли она идеальной окружностью?

2. Найдите в симуляторе два центра (фокуса) орбиты. Где находится Солнце относительно этих фокусов? (В одном из них).

3. Измените параметр «Эксцентриситет» для планеты на 0.2, затем на 0.5. Опишите, как меняется форма орбиты.

Обсуждение: учащиеся озвучивают свои наблюдения. Учитель помогает сформулировать **Первый закон Кеплера:**

ПЛАНЕТЫ ОБРАЩАЮТСЯ ПО ЭЛЛИПСАМ, В ОДНОМ ИЗ ФОКУСОВ КОТОРЫХ НАХОДИТСЯ СОЛНЦЕ.

a - большая полуось,



b - малая полуось,

F_1, F_2 – фокусы,

$F_1 M = r$ – радиус вектор,

A – афелий,

P – перигелий.

Перигелий - ближайшая к солнцу точка орбиты планеты, *афелий* - наиболее удаленная.

Перигелийное расстояние:

Афелийное расстояние:

Степень вытянутости эллипса характеризуется эксцентриситетом e .

$$e = \frac{c}{a}$$

c – расстояние от центра до фокуса,
 a – большая полуось.



При совпадении фокусов с центром ($e = 0$) эллипс превращается в **окружность**;

при $e = 1$ становится **параболой**;

при $e > 1$ - **гиперболой**.

Современная формулировка первого закона дополнена: в невозмущенном движении орбита движущегося тела есть кривая второго порядка – эллипс, парабола или гипербола.

Задание 2. Исследование скорости движения. Второй закон Кеплера – 8 мин.

Проблемный вопрос: Мы наблюдали в начале урока, что планета движется с разной скоростью. Связано ли это с расстоянием до Солнца?

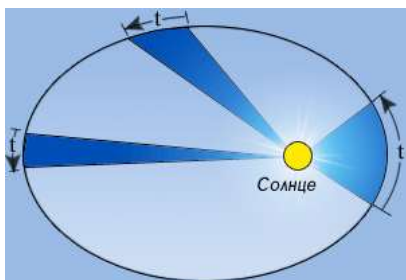
Инструкция: «Параметры Земли верните к исходным. Включите отображение вектора скорости. Наблюдайте за планетой в течение «года».

Задание:

1. В какой точке орбиты скорость планеты максимальна? В какой минимальна? (Перигелий/Афелий).

2. В симуляторе есть инструмент «Площади» (Sweep Area). Запустите его. Он за равные промежутки времени закрашивает сектора орбиты. Сравните площади двух секторов: когда планета близко к Солнцу и когда далеко. Что вы замечаете? (*Площади равны*).

Обсуждение: учитель подводит к идее, что за равные промежутки времени радиус-вектор планеты заметает равные площади – **Второй закон Кеплера: РАДИУС-ВЕКТОР ПЛАНЕТЫ ЗА РАВНЫЕ ПРОМЕЖУТКИ ВРЕМЕНИ ОПИСЫВАЕТ РАВНЫЕ ПЛОЩАДИ.**



В перигелии скорость планеты максимальна, а в афелии – минимальна.

Задание 3. Сравнение орбит планет. Третий закон Кеплера. – 8 мин.

Инструкция: «Известно, что Меркурий совершает оборот за 88 дней, а Нептун – за 165 лет. Почему такая разница?»

Задание (работа с таблицей):

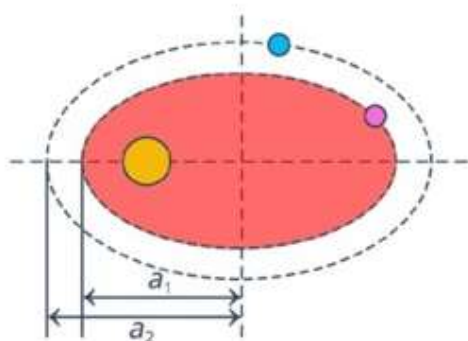
1. Используя данные симулятора (или встроенную базу), заполните таблицу для нескольких планет (Меркурий, Земля, Юпитер, Нептун):

Планета	Большая полуось орбиты (a), а.е.	Период обращения (T), годы	T ²	a ³
Меркурий	0.387	0.24		
Земля	1	1		
...		

2. Вычислите T² и a³ для каждой планеты. Сравните полученные результаты в последних двух столбцах. Какая закономерность наблюдается?

Обсуждение: учащиеся делают вывод о том, что квадраты периодов относятся как кубы больших полуосей орбит. Формулируется **Третий закон Кеплера:**

КВАДРАТЫ СИДЕРИЧЕСКИХ ПЕРИОДОВ ДВУХ ПЛАНЕТ ОТНОСЯТСЯ КАК КУБЫ БОЛЬШИХ ПОЛУОСЕЙ ИХ ОРБИТ.



$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Большая полуось земной орбиты принята за астрономическую единицу расстояний:

1 а. е. = 149000000000 м

Звездный период Земли

1 год = 365 суток

IV. Первичное закрепление и применение изученного материала. (8 мин)

Интерактивное задание:

Учитель создает в симуляторе гипотетическую систему: звезда и две планеты на разных орбитах.

Вопрос 1: Как будет выглядеть траектория движения планеты, если ее орбита имеет эксцентриситет, близкий к 1? (*сильно вытянутый эллипс, почти парабола – комета*).

Вопрос 2: Представьте, что масса звезды увеличилась вдвое. Как, согласно третьему закону, изменится период обращения Земли (в симуляторе можно быстро изменить массу и наблюдать)? (*Уменьшится*).

Решение качественной задачи:

«В популярном фильме герой летит с Нептуна на Меркурий за неделю. Используя знания о законах Кеплера, докажите, что это невозможно или объясните, почему сценаристам пришлось бы «отменить» гравитацию».

Решение расчетных задач:

Пример №1. Отношение кубов больших полуосей орбит Нептуна и Земли примерно равно 27270,9 (в таблице II находим среднее расстояние Нептуна от Солнца 30,1 а.е. и возводим в куб). Чему примерно равно отношение их периодов обращения вокруг Солнца?

Дано: $(a_N/a_Z)^3 = 27270,9$	Решение: $(T_N/T_Z)^2 = (a_N/a_Z)^3$ По таблице II проверяем: звездный период обращения $(T_N/T_Z)^2 = \sqrt{27270,9}$ Нептуна равен 164,8 лет, а Земли 1 год, т. е. отношение $T_N/T_Z = ?$ $T_N/T_Z = \sqrt{27270,9} = 165,14$ их периодов обращения примерно равно 165,14~164,8.
----------------------------------	--

Ответ : 165,14

Пример №2. Чему равно среднее расстояние Венеры от Солнца в а. е., если период обращения Венеры вокруг Солнца составляет 225 дней (находим по таблице II)?

Дано: $T_B = 225 \text{ дней} = 0,62 \text{ года}$ $T_Z = 1 \text{ год}$ $a_B - ?$	Решение: $(T_B/T_Z)^2 = (a_B/a_Z)^3$ $(T_B/T_Z)^2 = (0,62 \text{ года}/1 \text{ год})^2 = 0,62^2 = 0,3844$ $(a_B/a_Z)^3 = 0,3844$ $\sqrt[3]{a_B/a_Z^3} = 0,3844 \sim 0,7271$ $a_Z = 1 \text{ а.е.}$ (находим по таблице II), значит $a_B \sim 0,7271 \text{ а.е.} \sim 0,73 \text{ а.е.}$
---	---

По таблице II проверяем: среднее расстояние Венеры от Солнца – 0,7 а.е.
(0,73 а.е. ~ 0,7 а.е.)

Ответ : $a_B \sim 0,73 \text{ а.е.}$

V. Рефлексия и организация домашнего задания (4 мин)

Рефлексия содержания:

Прием «Незаконченное предложение»:

Сегодня я узнал/-а, что орбиты планет — это...

Меня удивило, что скорость планеты зависит от...

Самым сложным в исследовании было...

Рефлексия деятельности:

Вопрос: Как Вы считаете, помог ли вам симулятор понять законы Кеплера? Что было бы сложнее понять без него?

Домашнее задание (дифференцированное):

Базовый уровень: прочитать параграф §8, ответы на контрольные вопросы стр. 53, № 3,4 стр.53, выучить формулировки законов.

Повышенный уровень: с помощью приложения Star Walk или Stellarium найти, какая планета сейчас находится в созвездии вашего знака Зодиака. Определить, в какой точке своей орбиты (ближе к афелию или перигелию) она находится, и как это влияет на её видимую яркость? Ответ пояснить.

Исследовательский уровень: загрузить данные реальных экзопланет с сайта NASA Exoplanet Archive) и проверить для одной из систем выполнение третьего закона Кеплера. Результаты оформить в виде краткого отчета.

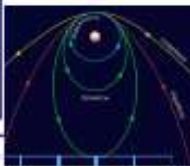
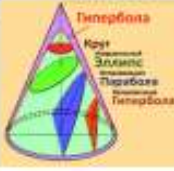
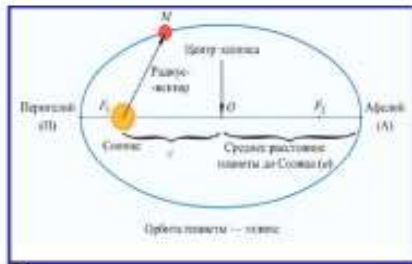
Приложение 1: Рабочий лист для учащихся

ТЕМА УРОКА: _____ ДАТА: _____
ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА



1. ПОНЯТИЕ О НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКЕ.
2. ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА.

ФОРМУЛИРОВКА ТРЕХ ЗАКОНОВ КЕПЛЕРА, ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ЭЛЛИПСА (ФОКУСЫ, ЭКСЦЕНТРИСИТЕТ), ПОНЯТИЕ РАДИУСА-ВЕКТОРА, ОБЪЯСНИТЕ ПРИЧИНЫ НЕРАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТ ПО ОРБИТЕ – ВТОРОЙ ЗАКОН, ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕТЬЕГО ЗАКОНА ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ПЕРИОДОВ ОБРАЩЕНИЯ ПЛАНЕТ.



ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ ОРБИТЫ
ПЕРВЫЙ ЗАКОН КЕПЛЕРА
 UNIVERSE SANDBOX / PHET

1. ЗАПУСТИТЕ СИМУЛЯЦИЮ.
2. КАКУЮ ФОРМУ ИМЕЕТ ОРБИТА ЗЕМЛИ? _____
3. НАЙДИТЕ СОЛНЦЕ. В КАКОМ МЕСТЕ ОТНОСИТЕЛЬНО ОРБИТЫ ОНО НАХОДИТСЯ? _____
4. ПЕРВЫЙ ЗАКОН КЕПЛЕРА: КАЖДАЯ ПЛАНЕТА ДВИЖЕТСЯ ПО _____ В ОДНОМ ИЗ _____ КОТОРОЙ НАХОДИТСЯ _____

ПЕРИГЕЛИЙ - _____

АФЕЛИЙ - _____

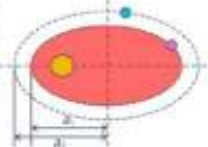
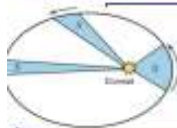
ПЕРИГЕЛИЙНОЕ РАССТОЯНИЕ $q = a(1 - e)$;
 АФЕЛИЙНОЕ РАССТОЯНИЕ $Q = a(1 + e)$

$e = \frac{c}{a}$
c – РАССТОЯНИЕ ОТ ЦЕНТРА ДО ФОКУСА
 a – БОЛЬШАЯ ПОЛУОСЬ

СТЕПЕНЬ ВЫПЯТНОСТИ ЭЛЛИПСА ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТОМ

ТРЕТИЙ ЗАКОН КЕПЛЕРА

ВТОРОЙ ЗАКОН КЕПЛЕРА:



2. ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТЫ МАКСИМАЛЬНА?
ВТОРОЙ ЗАКОН КЕПЛЕРА.

1. В КАКОЙ ТОЧКЕ ОРБИТЫ СКОРОСТЬ ПЛАНЕТЫ МАКСИМАЛЬНА? _____
2. НАРИСУЙТЕ СХЕМУ ОРБИТЫ И ОТМЕТЬТЕ НА НЕЙ ДУГИ, КОТОРЫЕ ПЛАНЕТА ПРОХОДИТ ЗА РАВНЫЕ ПРОМЕЖУТКИ ВРЕМЕНИ. ЧТО МОЖНО СКАЗАТЬ О ПЛОЩАДЯХ ЭТИХ СЕКТОРОВ?
3. ВТОРОЙ ЗАКОН КЕПЛЕРА: РАДИУС-ВЕКТОР ПЛАНЕТЫ ЗА РАВНЫЕ ПРОМЕЖУТКИ ВРЕМЕНИ ОПИСЫВАЕТ _____

1. ИСПОЛЬЗУЯ ДАННЫЕ СИМУЛЯТОРА, ЗАПОЛНИТЕ ТАБЛИЦУ ДЛЯ МЕРКУРИЯ, ЗЕМЛИ, ЮПИТЕРА, НЕПТУНА:

Планета	Больша	Период	T ²	a ³
Меркур	0.387	0.24		
Земля	1	1		
...		

Тема: Исследование законов движения планет.

Программа: Universe Sandbox / PhET.

Задание 1. Форма орбиты (Первый закон Кеплера)

1. Запустите симуляцию. Какую форму имеет орбита Земли?

2. Найдите Солнце. В каком месте относительно орбиты оно находится? (в центре / не в центре / в одном из фокусов) _____
3. Вывод (Первый закон Кеплера): Каждая планета движется по _____, в одном из _____ которой находится _____.

Задание 2. Скорость движения (Второй закон Кеплера)

1. В какой точке орбиты скорость планеты максимальна?

2. Нарисуйте схему орбиты и отметьте на ней дуги, которые планета проходит за равные промежутки времени. Что можно сказать о площадях этих секторов?

3. Вывод (Второй закон Кеплера): Радиус-вектор планеты за равные промежутки времени описывает _____.