



Урок 44. Центробежное ускорение

Листы ученика. Ответы и примечания учителю находятся в отдельной части.

Естественно-научный практикум · 8-9 классы

Урок 44 из 64 · 45 минут · Модуль «Эксперименты по физике: радиус, период и направление»

Уровень: базовый исследовательский. 8 класс - работа с опорами; 9 класс - самостоятельная оценка условий и границ вывода.

Вся программа курса

Стрелка секундной модели движется с постоянной по модулю скоростью, но её направление меняется. Почему ускорение при этом не равно нулю?

Проверяемый результат:

Определить скорость и центробежное ускорение по радиусу и времени оборотов, указать их направления и сравнить случаи постоянного периода и постоянной скорости.

01. Проблемная ситуация

0-5 минут · Вопрос и первоначальное решение

Точка равномерно проходит окружность. В правой точке её скорость направлена вверх, в верхней - влево. Ученик говорит: «Спидометр не меняется, ускорения нет».

1 минута - прочитайте; 2 - нарисуйте два вектора скорости; 2 - объясните, что изменяется, даже если длины стрелок равны. Не добавляйте на рисунок особую новую силу с названием «ускорение».

02. Объяснение и разобранный пример

5-14 минут · Понятия, модель и проверка

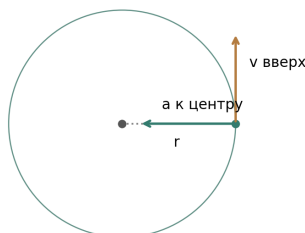
Скорость - вектор. При равномерном движении по окружности её модуль постоянен, а направление меняется. Ускорение направлено к центру и по модулю равно $a=v^2/r$. Период T - время одного полного оборота. Если за время t совершено N оборотов, $T=t/N$. Тогда $v=2\pi r/T$ и $a=4\pi^2 r/T^2$. Единица ускорения м/с^2 .

Разобранный пример: $r=0,20$ м, десять оборотов заняли 20,0 с. $T=2,00$ с, $v=2\pi \cdot 0,20/2 \approx 0,628$ м/с; $a=4\pi^2 \cdot 0,20/4 \approx 1,97$ м/с². При r вправо от центра скорость для движения против часовой стрелки направлена вверх, ускорение - влево, к центру.

Удвоение радиуса при постоянном периоде удваивает a , поскольку скорость тоже увеличивается вдвое. При постоянной линейной скорости удвоение радиуса уменьшает a вдвое. Эти выводы не противоречат: неизменными оставлены разные величины. При сокращении периода вдвое при том же r ускорение растёт в четыре раза.

Центробежное - характеристика направления результирующего ускорения. Его создают реальные силы: например, натяжение, тяготение или трение в подходящей системе. На 9 минут: 3 - направление, 3 - пример, 2 - сравнение постоянных величин, 1 - смысл силы. При неравномерном вращении появляется ещё касательная составляющая ускорения.

Векторы в правой точке: против часовой стрелки



Направления для равномерного вращения: скорость по касательной, ускорение по радиусу к центру. Длины двух разноразмерных векторов не сравнивают; это схема направлений, не график сил.



03. Практика 1: данные и доказательство

14-25 минут · Работа с первой серией

Учебные результаты отсчёта оборотов одной модели. В каждой строке равномерное движение. Ошибка ручного отсчёта времени условно $\pm 0,2$ с для всей серии из 10 оборотов.

Серия	r, м	Оборотов N	t, с
А	0,10	10	20,0
Б	0,20	10	20,0
В	0,20	10	10,0

2 минуты - найдите периоды; 4 - вычислите v и a ; 3 - сравните пары А-Б и Б-В; 2 - объясните, почему измерять десять оборотов удобнее одного. 8 класс заполняет таблицу по формуле; 9 класс оценивает относительную ошибку T для серии А. Результат: три строки и две зависимости. Критерии: t не перепутано с T , радиус не с диаметром, направления указаны отдельно.

04. Практика 2: перенос на новые условия

25-33 минуты · Самостоятельное решение

Теперь оставлена постоянной не частота вращения, а скорость $v=1,0$ м/с. Радиусы двух траекторий различаются.

Траектория	r, м	v, м/с
1	0,25	1,0
2	0,50	1,0

1 минута - прогноз; 3 - найдите a и T для обеих строк; 2 - сопоставьте с практикой 1; 2 - запишите, какое условие надо назвать рядом с выводом «радиус больше - ускорение меньше». В 9 классе проверьте a также через T . Результат: два расчёта и условная формулировка зависимости.

05. Обсуждение: аргумент и альтернатива

33-40 минут · Вывод, который можно обосновать

2 минуты: сравните утверждения «постоянная скорость» и «постоянный модуль скорости». 3 минуты: объясните различие рисунком и двумя сериями. 2 минуты: назовите реальную силу, которая могла бы дать направленную к центру равнодействующую, не добавляя её повторно к уже нарисованным силам.

06. Индивидуальная проверка

40-45 минут · Собственный ответ

$r=0,30$ м; пять оборотов за 10,0 с. Найдите T , v и a . В правой точке окружности движение против часовой стрелки: укажите направления v и a . 3 минуты - ответ; 2 - ключ и исправление.



Ответы, критерии и примечания учителю

Учителю: подготовка и план на 45 минут

Линейка, калькулятор с π , карандаш, бумажная окружность; данные серии включены. Нужны длина окружности и смысл периода. Никакого вращения грузов на нитях. Используйте рисованную точку и бумажную стрелку. 8 класс получает формулы $v=2\pi r/T$ и $a=4\pi^2 r/T^2$; 9 класс выводит вторую из $a=v^2/r$. Радиус в метрах; округление до трёх значащих цифр, $\pi \approx 3,14159$.

Минуты	Работа	Проверяемый продукт
0-5	Проблемная ситуация	Вопрос и проверяемое предположение
5-14	Понятия и разобранный пример	Пояснение величин и метода
14-25	Практика 1	Расчёт, схема или протокол по данным
25-33	Практика 2	Решение на новых условиях
33-40	Обсуждение	Аргумент, альтернатива и вывод
40-45	Индивидуальная проверка	Самостоятельный ответ и исправление

Все материалы для текущего занятия включены. Вариант без регистрации: ученические листы PDF и доска. Минуты включают чтение, запись и переходы. Ответы показывайте после самостоятельной попытки. В конце соберите индивидуальную работу: 0-1 балл - вернуться к примеру, 2-3 - уточнить пропущенное звено, 4 - объяснить границу вывода. Это обратная связь, не обязательная школьная отметка.

Разбор практики 1 и критерии

T : 2; 2; 1 с. v : 0,314; 0,628; 1,257 м/с. a : 0,987; 1,974; 7,896 м/с². При одном T удвоение r удваивает v и a . При одном r сокращение T вдвое удваивает v и увеличивает a в 4 раза. Для A относительная ошибка периода такая же, как времени серии: $0,2/20=1\%$. Если ошибка одного короткого отсчёта тоже $\pm 0,2$ с, она составила бы 10% от 2 с; это причина брать несколько оборотов, не обещание устранить все ошибки.

Ответ и объяснение практики 2

При $r=0,25$ м: $a=1/0,25=4,0$ м/с², $T=2\pi \cdot 0,25/1 \approx 1,571$ с. При $r=0,50$ м: $a=2,0$ м/с², $T \approx 3,142$ с. Радиус больше - ускорение меньше при неизменном модуле линейной скорости. При неизменном периоде вывод другой. Подстановка периодов в $4\pi^2 r/T^2$ даёт те же a .

Опора для обсуждения

Вектор скорости непостоянен; постоянен модуль. В горизонтальной модели с нитью ускорение может создаваться её натяжением; не надо добавлять к натяжению ещё одну независимую «центростремительную силу». При освобождении связи точка в идеализированном случае продолжит движение по касательной, а не наружу по радиусу.

Ключ и критерии индивидуальной работы

$T=2,0$ с; $v=0,30\pi \approx 0,942$ м/с; $a=0,30\pi^2 \approx 2,961$ м/с². v вверх, a влево к центру. Четыре критерия по баллу: период, скорость, ускорение с единицей, оба направления. Число оборотов не заменяет период.



07. Соответствие исходной программе

Пункт программы → действие ученика → проверяемый результат

Пункт программы	Действие ученика	Проверяемый результат
Движение по окружности; работа №10	Измеряет модельный период и радиус	Рассчитывает a двумя эквивалентными способами
Сравнение физических зависимостей	Фиксирует T либо v	Два разных вывода без противоречия

Опора - раздел «Эксперименты по физике» опубликованной программы на 64 часа. Урок конкретизирует исходные темы и занимает 45 минут. Сценарий, распределение времени и числовые имитации - методическая разработка. Физическая сборка и движение грузов заменены бумажными моделями, точными схемами и готовыми учебными данными; это не отчёт о проведённом опыте.

Исходная программа

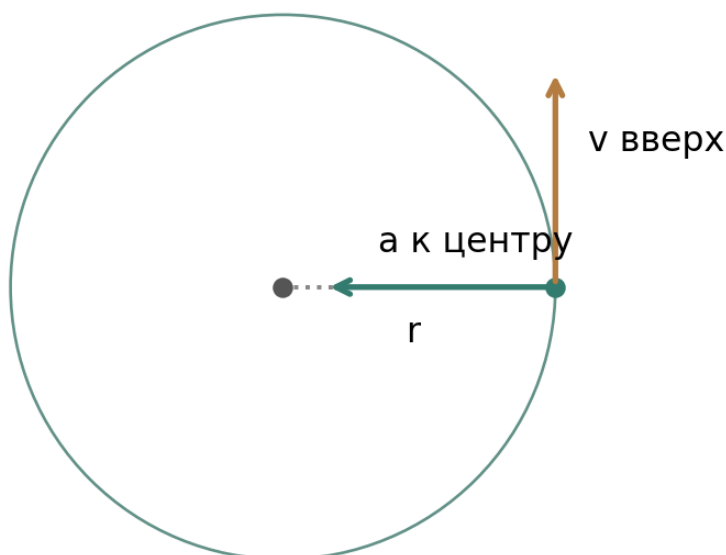
Источники и права на изображения

OpenStax: ускорение к центру окружности

Источники проверены 15.10.2026. Все числовые серии явно заданы как учебные модели; их нельзя описывать как результаты проведённых авторами опытов. Оригинальные схемы: портал «Школы России», для этого урока. Они не являются фотографиями. Ответы и примечания учителю в PDF вынесены в отдельную часть.

Иллюстрация: увеличенная копия для печати

Векторы в правой точке: против часовой стрелки



Направления для равномерного вращения: скорость по касательной, ускорение по радиусу к центру. Длины двух разноразмерных векторов не сравнивают; это схема направлений, не график сил.