



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

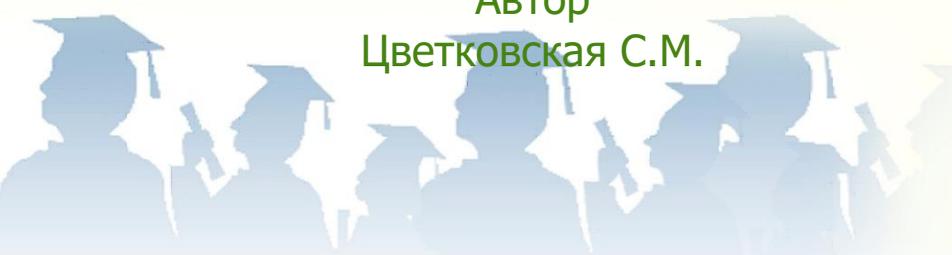
Кафедра «Естественные науки»

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

по физике для иностранных слушателей
дополнительных общеобразовательных
программ

Физика. Кинематика криволинейного движения

Автор
Цветковская С.М.



Ростов-на-Дону, 2022



Аннотация

Учебное пособие соответствует программе по физике для иностранных слушателей дополнительных общеобразовательных программ инженерно-технической и технологической, медико-биологической и естественнонаучной направленностям.

Содержит краткую теорию, контрольные вопросы. Снабжено таблицами, графиками, пояснительными рисунками.

Рекомендуется для практических занятий и самостоятельной работы слушателей.

Учебное пособие предназначено для иностранных слушателей дополнительных общеобразовательных программ.

Автор



доцент, кандидат физико-математических наук, доцент,
кафедра
«Естественные науки»
Цветковская С.М.

Оглавление

Введение	4
1. Кинематические величины	4
1.1 Скорость	4
1.2 Ускорение	6
2. Равномерное движение по окружности	8
2.1 Период вращения	8
2.2 Частота вращения	9
2.3 Линейная скорость	10
2.4 Угловая скорость	11
2.5 Нормальное (центростремительное) ускорение	12
Задачи	14
Задачи для самостоятельного решения	14
Пример решения задачи	15
Ключевые слова, выражения и модели	17
Приложение	18
Литература	18

ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрим движение материальной точки по кривой линии. Если траектория движения тела является кривой линией, то такое движение называется криволинейным.

Криволинейное движение материальной точки – это движение по криволинейной траектории

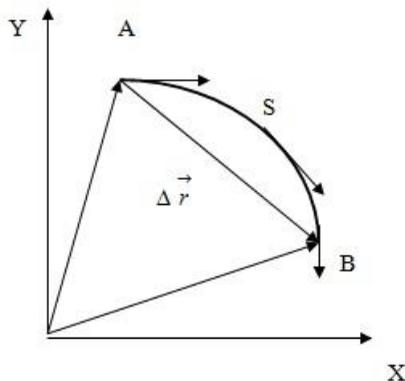


Рис.1. Движение тела по криволинейной траектории
Пусть тело движется из точки А в точку В по кривой линии.

$\vec{\Delta r}$ - вектор перемещения материальной точки,
S – путь точки,
 Δt - время движения точки.

1. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

1.1 Скорость

Средняя скорость

$$\vec{V}_{\text{средняя}} = \frac{\vec{\Delta r}}{\Delta t}$$

Средняя скорость $\vec{V}_{\text{средняя}}$ - это физическая векторная величина, которая равна отношению вектора перемещения $\vec{\Delta r}$ к промежутку времени Δt .

Мгновенная скорость

Физика. Кинематика криволинейного движения

Скорость или мгновенная скорость – это скорость в данный момент времени.

$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Скорость (мгновенная скорость) – это физическая векторная величина, которая равна пределу отношения вектора перемещения $\Delta \vec{r}$ к промежутку времени Δt , когда Δt стремится к нулю ($\Delta t \rightarrow 0$).

Внимание!

ΔV – интервал изменения скорости, изменение скорости или приращение скорости

Δt – интервал времени или промежуток времени.

Направление движения

Тело движется из точки А в точку В по кривой линии. Скорость (мгновенная скорость) в каждой точке траектории направлена по касательной в этой точке в направлении движения тела.

$$\Delta \vec{V} = \vec{V}_B - \vec{V}_A,$$

где $\Delta \vec{V}$ - интервал изменения скорости, изменение скорости или приращение скорости;

\vec{V}_B - скорость (мгновенная скорость) в точке В;

\vec{V}_A - скорость (мгновенная скорость) в точке А.

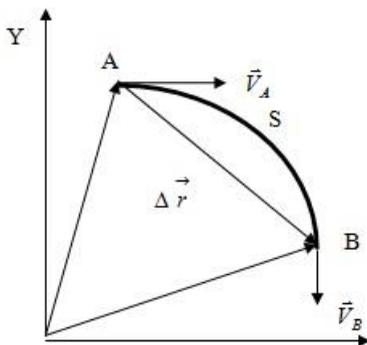


Рис.2. Направление скорости

1.2 Ускорение

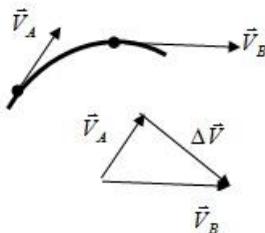


Рис.3. Изменение скорости

Среднее ускорение

$$\vec{a}_{\text{среднее}} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Среднее ускорение $\vec{a}_{\text{среднее}}$ - это физическая векторная величина, которая равна отношению изменения (приращения) скорости $\Delta \vec{v}$ к промежутку времени Δt , за которое это изменение произошло.

Мгновенное ускорение

Ускорение или мгновенное ускорение – это ускорение в данный момент времени.

Физика. Кинематика криволинейного движения

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}$$

Ускорение (мгновенное ускорение) \vec{a} – это физическая векторная величина, которая равна пределу отношения изменения скорости (приращения скорости) $\Delta \vec{V}$ к промежутку времени Δt , за которое это изменение произошло, когда Δt стремится к нулю ($\Delta t \rightarrow 0$).

Вектор ускорения

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n,$$

Где

\vec{a} - ускорение;

\vec{a}_τ - тангенциальное ускорение;

\vec{a}_n - нормальное ускорение.

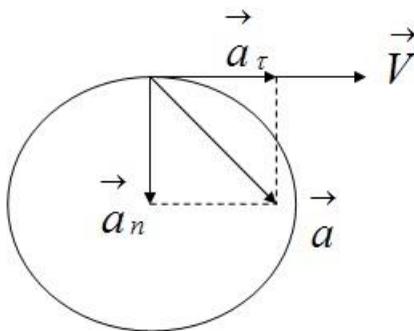


Рис.4. Направление ускорения

Если $\vec{a}_\tau \uparrow \vec{V}$, то это ускоренное движение.

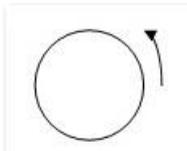
Физика. Кинематика криволинейного движения

Если $\vec{a}_\tau \uparrow \downarrow \vec{V}$, то это замедленное движение.

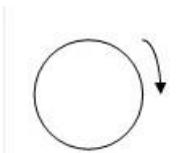
Если $\vec{a}_\tau = 0$, то это равномерное движение.

2. РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПО ОКРУЖНОСТИ

Равномерное движение точки по окружности является самым простым видом криволинейного движения.



Движение материальной точки против часовой стрелки



Движение материальной точки по часовой стрелке

Равномерное движение по окружности – это движение, при котором модуль линейной скорости не меняется $|V| = \text{const}$.

2.1 Период вращения

T , с (секунда)

Период вращения – это время, за которое тело совершает один оборот.

$$T = \frac{t}{N}, \quad (1)$$

Где

T – период, с;

N – число оборотов;

t – время, с.

Например.

Пусть тело за 20 с совершает 5 оборотов. Чему равен период вращения?

Дано:

Физика. Кинематика криволинейного движения

$$N=20$$

$$t= 5 \text{ с}$$

Найти: $T=?$

Решение:

$$T=20:5=4 \text{ (с)}$$

Ответ: 4 с.

2.2 Частота вращения

f , Гц (герц)

Частота вращения - это физическая скалярная величина, которая равна количеству оборотов в секунду.

$$f = \frac{N}{t}, \quad (2)$$

Где

f – частота, Гц (герц);

N – число оборотов;

t – время, с.

Из сравнения формул (1) и (2) следует

$$f = \frac{1}{T}, \quad (3)$$

Где

f - частота, Гц (герц)

T – период, с (секунда)

Частота вращения – это величина обратная периоду.

Размерность частоты

$$[f]_{СИ} = \text{Гц(герц)}$$

$$[f]_{СИ} = \frac{1}{[T]_{СИ}} = \frac{1}{с} = с^{-1}$$

$$1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$$

1 Герц – это частота такого вращения, при котором за одну секунду совершается один оборот.

Таблица множителей и приставок

приставка		множитель
обозначение	название	
к	кило	10^3
М	мега	10^6
Г	гига	10^9
Т	тера	10^{12}

Таблица множителей и приставок относительно 1 Гц

приставка		множитель
обозначение	название	
Гц	герц	1Гц
кГц	килогерц	10^3 Гц
МГц	мегагерц	10^6 Гц
ГГц	гигагерц	10^9 Гц
ТГц	терагерц	10^{12} Гц

2.3 Линейная скорость

$$\vec{V}, \text{ м/с}$$

Линейная скорость направлена по касательной к окружности

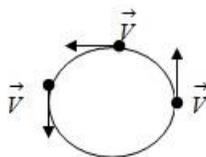


Рис.5. Линейная скорость

Длина окружности $S=2\pi R$,

Где

S –длина окружности, м;

R – радиус окружности, м;

$\pi=3,14$ (число, которое обозначается буквой греческого алфавита, читается «пи»).

Линейная скорость точки, которая движется по окружности, по модулю равна отношению длины окружности к периоду и направлена по касательной к окружности.

$$V = \frac{S}{T}$$

$$V = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T} \quad (4)$$

Где

V – скорость, м/с;

R – радиус окружности, м;

T – период, с.

Если использовать формулу (3), то

$$V = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot f \quad (5)$$

2.4 Угловая скорость

ω , рад/с (радиан в секунду)

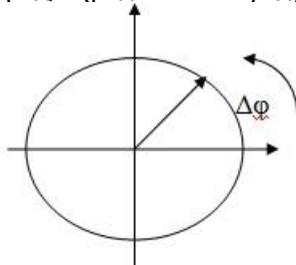


Рис.6. Угловая скорость

Пусть тело вращается против часовой стрелки. $\Delta\varphi$ – угол поворота.

Угловая скорость $\vec{\omega}$ – это физическая векторная величина, модуль которой равен отношению угла поворота $\Delta\varphi$ к промежутку времени Δt , за который этот поворот совершён.

Единицы измерения углов – градусы или радианы.

Если тело совершает 1 оборот, то $\Delta\varphi = 360^\circ$ или $\Delta\varphi = 2\pi$ рад (радиан)

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \text{ рад/с} \quad (6)$$

Физика. Кинематика криволинейного движения

Где

ω - угловая скорость, рад/с;

T – период, с.

Если использовать формулу (3), то

$$\omega = 2\pi f \quad (7)$$

Где

f - частота, Гц.

Из сравнения формул (4) и (6) или (5) и (7) следует

$$V = \omega \cdot R \quad (8)$$

Вектор угловой скорости

Вектор угловой скорости направлен по нормали к плоскости окружности вращения точки.

$$\vec{\omega} = \omega \vec{n}$$

Направление вектора угловой скорости определяется по правилу правого винта (по правилу буравчика):

Правило правого винта (правило буравчика)

Если смотреть с конца вектора угловой скорости, то вращение точки будет против часовой стрелки

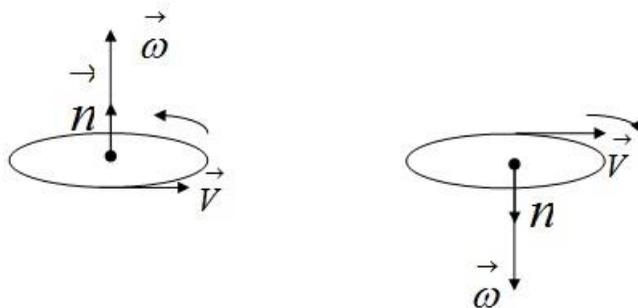


Рис.7. Правило правого винта (правило буравчика)

2.5 Нормальное (центростремительное) ускорение

$$\vec{a}_n, \text{ м/с}^2$$

Нормальное или центростремительное ускорение – это ускорение, которое характеризует изменение направления скорости в единицу времени.

Физика. Кинематика криволинейного движения

$$\vec{a}_n = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}, \quad V = \text{const}$$

где

\vec{a}_n - нормальное (центростремительное) ускорение;

$\Delta \vec{V}$ - изменение вектора скорости по направлению;

Δt - промежуток времени, за которое это изменение произошло;

V - модуль скорости.

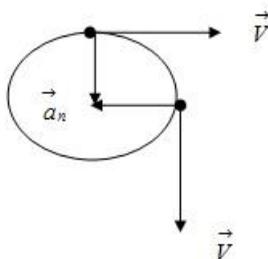


Рис.8. Нормальное (центростремительное) ускорение

В каждой точке траектории вектор нормального (центростремительного) ускорения направлен по радиусу к его окружности.

Название ускорения «центростремительное» соответствует «стремиться к центру».

Название ускорения «нормальное» соответствует тому, что вектор ускорения составляет прямой угол с вектором скорости.

Формулы для вычисления модуля центростремительного ускорения

$$a_n = \frac{V^2}{R} = \omega^2 \cdot R,$$

Где

a_n - нормальное (центростремительное ускорение), м/с²;

V - линейная скорость, м/с;

ω - угловая скорость, рад/с;

R - радиус окружности, м.

ЗАДАЧИ

Задачи для самостоятельного решения

1. Найти частоту обращения Луны вокруг Земли. Период обращения Луны вокруг Земли составляет 27 суток 7 часов 43 минуты.
2. Частота вращения винта самолёта 1500 об/мин. Сколько оборотов делает винт на пути 90 км. При скорости полёта 180 км/час.
3. Период вращения цилиндра радиусом 2 м равен 4 с. Найти линейную и угловые скорости вращения цилиндра.
4. Цилиндр диаметром 20 см делает 300 оборотов за 3 мин. Найти период, линейную и угловые скорости вращения цилиндра.
5. Найти радиус колеса R , которое вращается. Линейная скорость точки, которая лежит на расстоянии R от оси вращения, равна V_1 . Линейная скорость точки, которая лежит на расстоянии $(R-5 \text{ см})$ от оси вращения, равна V_2 . Известно, что $V_1=2 \cdot V_2$.
6. Найти частоту вращения барабана лебёдки диаметром 16 см при подъёме груза со скоростью 0,4 м/с.
7. Найти угловую и линейную скорость точек поверхности Земли на широте 45° при суточном вращении Земли.
8. Найти скорость вращения точек Земли на широте Санкт-Петербурга (60°) при суточном вращении Земли.
9. Найти центростремительное ускорение точек поверхности Земли на экваторе, на широте 45° и на полюсе, которое определяется суточным вращением Земли.
10. Первая орбитальная космическая станция России имела период обращения 88,85 минут и среднюю высоту над поверхностью Земли 230 км. Найти среднюю скорость движения станции (считать, что станция движется по окружности)
11. Определить среднюю орбитальную скорость спутника, если известно, что средняя высота его орбиты над Землёй 1200 км, а период обращения вокруг Земли равен 105 минут.
12. Если увеличить в 4 раза радиус круговой орбиты искусственного спутника Земли, то период его обращения увеличится в 8 раз. Найти во сколько раз изменится скорость движения спутника по орбите.
13. Минутная стрелка часов в 3 раза длиннее секундной

Физика. Кинематика криволинейного движения

- стрелки. Найти отношение скоростей концов стрелки.
14. Минутная стрелка на башне Кремля имеет длину 3,5 м. На сколько передвинется её конец за 1 минуту?
 15. Найти центростремительное ускорение поезда, который движется по окружности (закруглению) радиусом 800 м со скоростью 20 м/с.
 16. Скорость точек экватора Солнца при его вращении вокруг своей оси равна 2 км/с. Найти период вращения Солнца вокруг своей оси и центростремительное ускорение точек экватора.
 17. С какой скоростью автомобиль должен проходить середину выпуклого моста радиусом 40 м, чтобы центростремительное ускорение равнялось ускорению свободного падения?
 18. Найти центростремительное ускорение точек колеса автомобиля, если автомобиль движется со скоростью 72 км/ч, а частота вращения колеса равна 8 Гц.
 19. Две материальные точки движутся по окружности радиусами R_1 и R_2 ($R_1 = 3 \cdot R_2$). Найти отношение их центростремительных ускорений, если их скорости равны.
 20. Две материальные точки движутся по окружности радиусами R_1 и R_2 ($R_1 = 3 \cdot R_2$). Найти отношение их центростремительных ускорений, если их периоды равны.
 21. Автомобиль движется равномерно. За время t он прошёл расстояние S . Найти частоту вращения и центростремительное ускорение точек колеса, если известно, что диаметр колеса равен d .

Пример решения задачи

Задача.

Найти линейную и угловую скорости точки поверхности Земли, которая находится на широте φ , при суточном вращении Земли.

Сутки содержат 24 часа. Широта – это угол φ .

$$\cos \varphi = \frac{R_1}{R_{\text{Земли}}}.$$

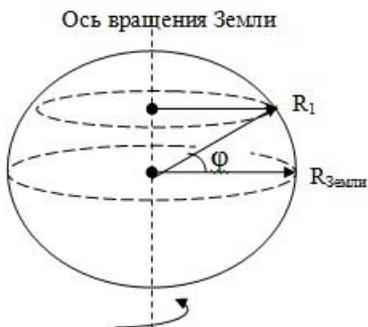


Рис.9. Суточное вращение Земли

Где

$R_{\text{Земли}}$ – радиус Земли;

R_1 – радиус орбиты суточного вращения точки, которая находится на поверхности Земли на широте φ .

Дано:

$R_{\text{Земли}} = 6,37 \cdot 10^6$ м

Найти: $V = ?$ $\omega = ?$ $a_n = ?$

Решение:

Период суточного вращения Земли

$T = 24 \cdot 3600 = 8,64 \cdot 10^4$ (с)

$R_1 = R_{\text{Земли}} \cdot \cos \varphi$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$V = \omega \cdot R_1 = \frac{2\pi}{T} \cdot R_{\text{Земли}} \cdot \cos \varphi \text{ (м/с);}$$

$$a_n = \omega^2 \cdot R_1 = \omega^2 \cdot R_{\text{Земли}} \cdot \cos \varphi \text{ (м/с}^2\text{)}$$

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА, ВЫРАЖЕНИЯ И МОДЕЛИ

1. скорость, мгновенная скорость, скорость в данный момент;
2. стремиться (к чему?) к центру, к пределу;
3. поворачиваться – повернуться (как?) на угол $\Delta\varphi$ по часовой стрелке, против часовой стрелки, вокруг своей оси;
4. совершать, совершить (что? как?)
5. вращение (какое?) равномерное, равнопеременное, равноускоренное;
6. вращаться (как?) вокруг своей оси, по орбите, по круговой орбите, по часовой стрелке, против часовой стрелки
7. оборот (какой?) полный оборот, половина оборота – полуоборот, четверть оборота;
8. совершать, совершить (сколько?) N оборотов;
9. период (чего?) вращения;
10. частота (чего?) вращения;
11. ускорение (какое?) нормальное – центростремительное, тангенциальное, полное;
12. скорость (какая?) линейная, угловая.

Модель

что вращается как

Например. Материальная точка вращается по окружности.

Таблица

Составить предложения по модели		
что		как
материальная точка цилиндр колесо винт самолёта Земля Солнце планета точки поверхности Земли спутники Земли стрелки часов - минутная -секундная	вращается	по окружности по орбите по круговой орбите по своей орбите вокруг своей оси по часовой стрелке против часовой стрелки

ПРИЛОЖЕНИЕ

Латинский алфавит

A a - а	H h - аш	O o - о	V v - вэ
B b - бэ	I i - и	P p - пэ	W w - дубль-вэ
C c - цэ	J j - жи	Q q - кю	X x - икс
D d - дэ	K k - ка	R r - эр	Y y - игрек
E e - э	L l - зль	S s - эс	Z z - зэд
F f - эф	M m - эм	T t - тэ	
G g - же	N n - эн	U u - у	

Греческий алфавит

A α - альфа	H η - эта	N ν - ню (ни)	T τ - тау
B β - бета	Θ θ - тэта	Ξ ξ - кси	Υ υ - ипсилон
Γ γ - гамма	I ι - йота	Ο ο - омикрон	Φ φ - фи
Δ δ - дельта	Κ κ - каппа	Π π - пи	Χ χ - хи
Ε ε - эпсилон	Λ λ - лямбда	Ρ ρ - ро	Ψ ψ - пси
Z ζ - дзета	Μ μ - мю (ми)	Σ σ - сигма	Ω ω - омега

ЛИТЕРАТУРА

1. Физика: учеб. пособие для студ.- иностранцев подгот. фак. вузов/Корочкина Л.Н.; Каурова Л.Д.; Шу-тенко Л.Д. – М.: Высш. шк., 1983. – 392 с.
2. Вердеревская Н.Н., Егорова С.П. Сборник задач и вопросов по физике: Учеб. пособие. – 2-е изд., доп. и перераб. – Высш. школа, 1980. – 216 с.
3. Касьянов В.А. Физика. 10 кл.: Учебн. для общеобразова-ват. учеб. заведений. – 4-е изд., испр. – М.: Дро-фа, 2002. – 416 с.: ил.
4. Цветковская С.М. Физика. Кинематика.: Учебн. по-собие по физике для иностранных слушателей до-полнительных общеобразовательных программ [Электрон.ресурс].–URL: <https://de.donstu.ru/CDOCourses/structure/new/296736/4910/5859.pdf> (дата обращения 3 мая 2022 г.).