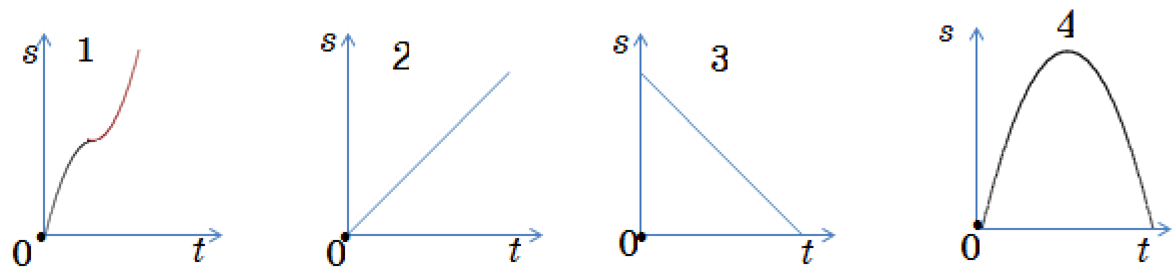
# Кинематика часть I

1. Шарик, брошенный вертикально вверх, через некоторое время вернулся в исходную точку. Какой график соответствует зависимости пройденного шариком пути от времени?




1. Указание. Учесть, что скорость шарика не постоянная, а путь не может уменьшаться со временем.

2. Велосипедист едет по круговому треку. Если радиус окружности уменьшить в два раза, а скорость движения увеличить в 2 раза, то центростремительное ускорение велосипедиста, в модели материальной точки

1) увеличится в 2 раза 2) увеличится в 8 раз

3) уменьшится в 2 раза 4) не изменится

2. Указание. Дважды выражаем центростремительное ускорение по кинематической формуле (1.1.31). Один раз с начальными данными $v, R$ - скоростью велосипедиста и радиусом трека, а второй - с измененными, и затем сравниваем.

3. Велосипедист движется по прямому шоссе со скоростью $\vec{v}_1$, а такси со скоростью $\vec{v}_2 = -3\vec{v}_1$. Скорость $\vec{v}_{отн}$ такси относительно велосипедиста равна

1) $\vec{v}_1$ 2) $3\vec{v}_1$ 3) $4\vec{v}_1$ 4) $-4\vec{v}_1$

3. Применить теорему сложения скоростей (1.1.33).

4. Мотоциклист со скоростью $v_м$ = 120 км/ч и автобус со скоростью

$v_а$ = 80 км/ч движутся к перекрестку по пересекающимся под прямым углом дорогам. Чему равен модуль скорости $v_{ма}$ мотоциклиста относительно автобуса?

1) 40 км/ч 2) 100 км/ч 3) 144 км/ч 4) 200км/ч

4. Указание. Применить теорему сложения скоростей в векторном виде (1.1.33).

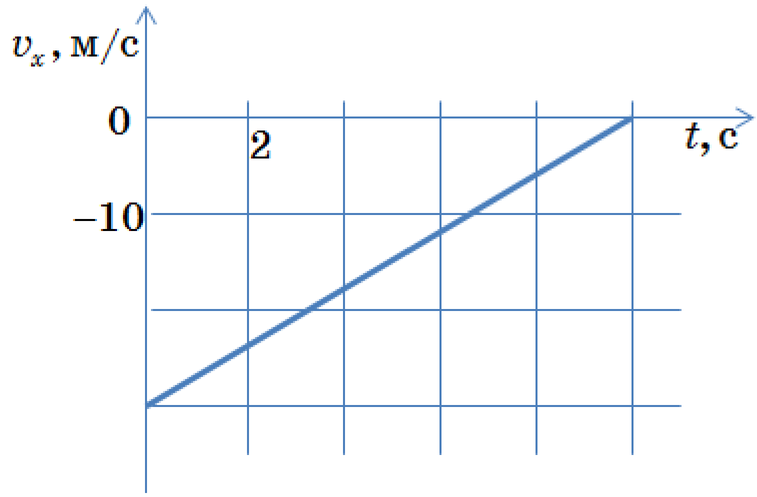
5. Самолет на взлетной полосе разогнался до скорости $v$ = 100 м/с из состояния покоя. Считая, что он двигался с постоянным ускорением

$a$ =8 м/с$^2$, определить какой путь $s$ прошел самолет

1) 525 м 2) 575 м 3) 625 м 4) 675 м

5. Указание. Применить формулу, связывающую путь, ускорение и конечную скорость при движении из состояния покоя (1.1.13)

6. На рисунке изображен график зависимости проекции скорости $v_x$ тела от времени. Определите величину проекции $a_x$ ускорения.




1) 3 м/с$^2$ 2) 6 м/с$^2$ 3) 9 м/с$^2$ 4) 12 м/с$^2$

6. Указание. Использовать связь проекции скорости и проекции ускорения по определению (1.1.10)

7. Покоящееся тело начинает двигаться из состояния покоя с ускорением

$a$ =4 м/с$^2$. Через время $t$ = 5 с оно достигнет скорости

1) 10 м/с 2) 15 м/с 3) 20 м/с 4) 25 м/с

7. Указание. Применить формулу, выражающую зависимость скорости от времени при движении с постоянным ускорением (1.1.11)

8. Мячик брошен вертикально вверх с начальной скоростью $v_0$ = 12 м/с. Найти за какое время он достигнет самой верхней точки полета, пренебрегая сопротивлением воздуха.

1) 1,2 с 2) 2,2 с 3) 3,2 с 4) 4,2 с

8. Указание. Применить формулу, описывающую изменение со временем скорости тела, брошенного вертикально вверх (1.1.17 с). Учесть, что в самой верхней точке скорость обращается в ноль.

9. По реке плывет лодка со скоростью $v$. Мальчик в лодке стреляет из игрушечной пушки вертикально вверх. Ядро поднимается на высоту $h$.

Пренебрегая  сопротивлением воздуха, можно считать справедливым утверждение

1) ядро после полета упадет позади лодки   2) ядро после полета упадет перед лодкой

3) ядро упадет на лодку рядом с пушкой   4) в зависимости от скорости лодки и высоты подъема ядра возможны варианты 1-3.

9. Указание. Воспользоваться принципом относительности Галилея.

10.  Поезд трогается с места и в течение времени $t$ =2 мин движется с постоянным ускорением.  Определить во сколько раз средняя скорость поезда за вторую минуту больше, чем его средняя скорость за первую минуту

1) 1    2) 2      3) 3       4) 4

10. Указание.  Поезд движется равноускоренно в одну сторону. Применима формула для средней скорости (1.1.19).

# Кинематика часть 1 (продолжение).

1. Снаряд, выпущенный со скоростью $v_0$ под углом $\alpha$ к горизонту, в течение времени $\tau$ поднимается на максимальную высоту $h$ над горизонтом. Пренебрегая сопротивлением воздуха,  установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно определить.  К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры.

| физические величины | формулы |
|---|---|
| А) время $\tau$ подъема  на максимальную высоту | 1) $\dfrac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g}$ |
| | 2) $\dfrac{v_0 \cos^2 \alpha}{g}$ |

| | |
|---|---|
| Б) высота $h_{max}$ самой верхней точки траектории | 3) $\dfrac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$ |
| | 4) $\dfrac{v_0 \sin \alpha}{g}$ |

| А | Б |
|---|---|
| | |

1. Указание. Дома, когда нет экзаменационного дефицита времени, полезно вывести формулы для максимальной высоты и времени полета до верхней точки траетории. Исходить нужно из уравнения для вертикальной координаты снаряда как функции времени и уравнения для вертикальной проекции скорости (1.1.22), (1.1.26). На экзамене можно выбрать нужную формулу, исходя из анализа размерностии и проверяя предельные случаи (угол $\alpha = 0, \alpha = 90°$).

Ответ: 43

2. Уравнение движения тела, перемещающегося вдоль оси $x$, имеет вид $x(t) = bt + ct^2$. Коэффициенты в уравнении движения равны: $b$=3 м/с, $c$=0,4 м/с$^2$. Найдите указанные в таблице величины и запишите ответы в таблицу.

| скорость $v_0$ тела при $t = 0$ | скорость $v_1$ тела при $t_1 = 3$ с | ускорение $a_0$ тела при $t = 0$ | ускорение $a_1$ тела при $t_1 = 3$ с | средняя скорость $v_{ср}$ за время от 0 до 3 с | среднее ускорение $a_{ср}$ на интервале времени $0 \le t \le 3$ с |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

2. Указание. Используйте связь мгновенных значений проекций скорости и ускорения с координатой по определению (1.1.7), (1.1.10). Удобно применить

формулу для средней скорости при движении с постоянным ускорением в одном направлении (1.1.19).

3. Расстояние между двумя станциями $s$ =3 км поезд метро проходит со средней скоростью $v_{ср}$ =54 км/ч. При этом на разгон он затрачивает время

$t_1$ = 20 с, затем идёт некоторое время равномерно и на замедление до полной остановки тратит время $t_2$ =10 с. Постройте график скорости движения поезда и определите наибольшую скорость поезда $v_{max}$ .

3. Указание. Найдите, используя заданную среднюю скорость на всем пути, полное время переезда между станциями. Нарисуйте график скорости поезда как функции времени и свяжите с его помощью заданный в условии путь с наибольшей скоростью поезда между станциями. Используйте представление о величине пути как площади под графиком скорости.

Ответ: 58,4 км/ч

4. Материальная точка начинает равнозамедленно двигаться вдоль оси $OX$ с некоторой начальной скоростью $v_0$ и ускорением $a$ = 5 м/с$^2$. При какой начальной скорости $v_0$ точка пройдет минимальный путь за вторую секунду движения? Чему равен этот путь? Чему равно в этом случае перемещение тела $\Delta x$ за первые две секунды движения?

4. Указание. Нарисуйте несколько графиков скорости для равнозамедленного движения с ускорением $a$ =5 м/с и разными начальными скоростями $v_0$ . Подумайте как должен проходить график скорости, чтобы путь за вторую секунду (соответствующая площадь на графике) оказался минимальным. Удобно выбрать масштабы времени и скорости такие, чтобы график шел под углом 45°.

Ответ: 7,5 м/с; 1,25 м; 5 м

5. Девочка, стоя на балконе на высоте $h = 15$ м от земли, бросает вертикально вверх мячик со скоростью $v_0 = 8$ м/с. Через сколько времени мячик окажется на земле?

5. Указание. Введите вертикальную ось координат, можно с началом на земле, и напишите уравнение движения камня (зависимость его координаты (высоты) от времени (1.1.17))

Ответ: 2,7 с

6. Два велосипедиста ездят по круговому треку в одном направлении со скоростями $v = 40$ км/ч и $u = 30$ км/ч. Чему равны наибольшая и наименьшая скорости удаления велосипедистов друг от друга?

6. Указание. Удобно свести задачу к ситуации, когда движется один велосипедист, а не два. Для этого нужно перейти в систему отсчета, в которой один велосипедист, пусть для конкретности более медленный, неподвижен. Введите систему отсчета, движущуюся поступательно со скоростью медленного велосипедиста в данный момент времени. Скорость $\vec{v}_{\text{отн}}$ быстрого велосипедиста относительно этой системы можно найти, используя векторную теорему сложения скоростей (1.1.33). Искомая скорость удаления равна проекции относительной скорости на линию, соединяющую велосипедистов.

Ответ: 10 км/ч;0

7. Прогулочный теплоход проплывал под мостом на реке, когда мальчик уронил в воду мячик. Через час теплоход , развернувшись поплыл обратно и, когда мальчик на причале сходил с теплохода, он увидел на реке свой мячик. Какова скорость $v_{\text{т}}$ течения воды в реке, если известно, что мост находится на расстоянии $l = 10$ км от причала?

7. Указание. Удобно перейти в систему отсчета, связанную с водой в реке и продумать как связан интервал времени, в течение которого теплоход удалялся от мячика с интервалом времени, в течение которого теплоход приближался к мячику после разворота.

Ответ: 5 км

8. Поезд трогается с места и движется с постоянным ускорением. За какое время $t$ состав из 10 вагонов пройдет мимо неподвижного наблюдателя, если третий вагон прошёл мимо него за время $\tau = 6$ с?

8. Указание. Ввести длину одного вагона и ускорение поезда и выразить через эти величины искомое время и заданное время, что позволит сранить времена. Использовать формулу, связывающую путь и время при равноускоренном движении без начальной скорости(1.1.13).

Ответ: 59,7 с

9. С вертолёта, летящего горизонтально на высоте $H$ =125 м со скоростью

$u$ = 90 км/ч, столкнули груз. На какой высоте $h$ его скорость $\vec{v}$ будет составлять с горизонтом угол $\alpha = 60°$?

9. Указание. Горизонтальная компонента скорости груза равна скорости самолета. Вертикальная компонента увеличивается по мере приближения к земле. По заданному углу определить вертикальную компоненту скорости и по ней найти высоту, используя связь высоты и скорости при свободном падении тела (1.1.16 ).

Ответ: 31,3 м

10. Длина минутной стрелки часов $l$ =2 см. Определите модуль средней векторной скорости $v_{ср}$ конца стрелки и среднюю путевую скорость $u_{ср}$ конца этой стрелки на промежутке времени от 12.00 ч до 12.15 ч.

10. Указание. Использовать определение вектора средней скорости и средней путевой скорости.( 1.1.21).

Ответ: 0,19 см/мин; 0,21 см/мин

# Кинематика часть 1. Решения задач.

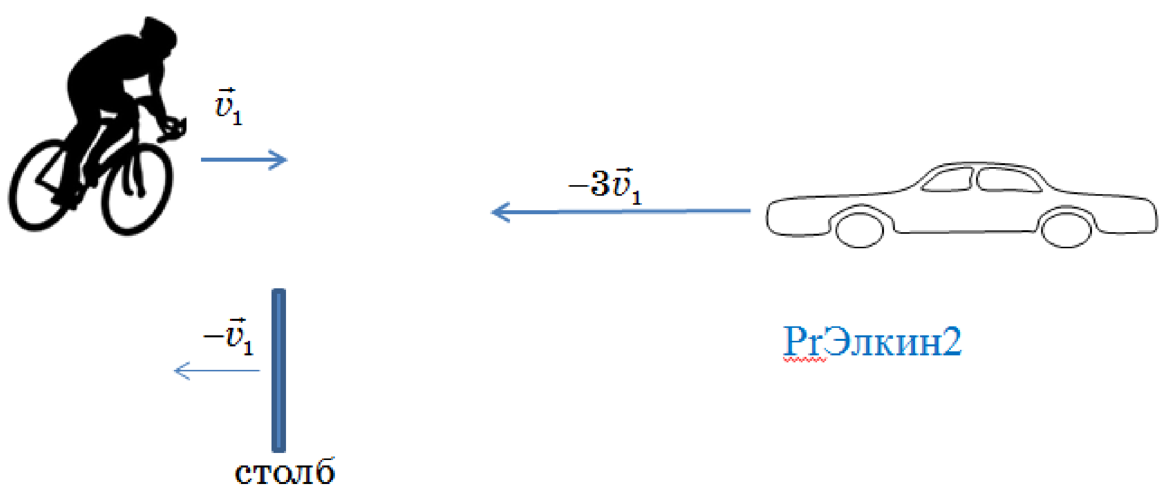
1. (1). Решение. Путь должен описываться неубывающей функцией времени, т.е. рассматривать нужно только графики 1 и 2. График 2 описывает движение с постоянной скоростью, что не соответствует условию задачи.

2. (2). Решение.

$$a_{\text{ц}1} = \frac{v^2}{R}, \quad a_{\text{ц}2} = \frac{(2v)^2}{\frac{R}{2}} = 8\frac{v^2}{R} = 8a_{\text{ц}1}$$

3. (4). Решение. По теореме сложения скоростей скорость такси относительно дороги $\vec{v}_2$ равна искомой скорости $\vec{v}_{\text{отн}}$ плюс скорость $\vec{v}_1$ велосипедиста

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_{\text{отн}} + \vec{v}_1 \Rightarrow \vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1 = -3\vec{v}_1 - \vec{v}_1 = -4\vec{v}_1$$



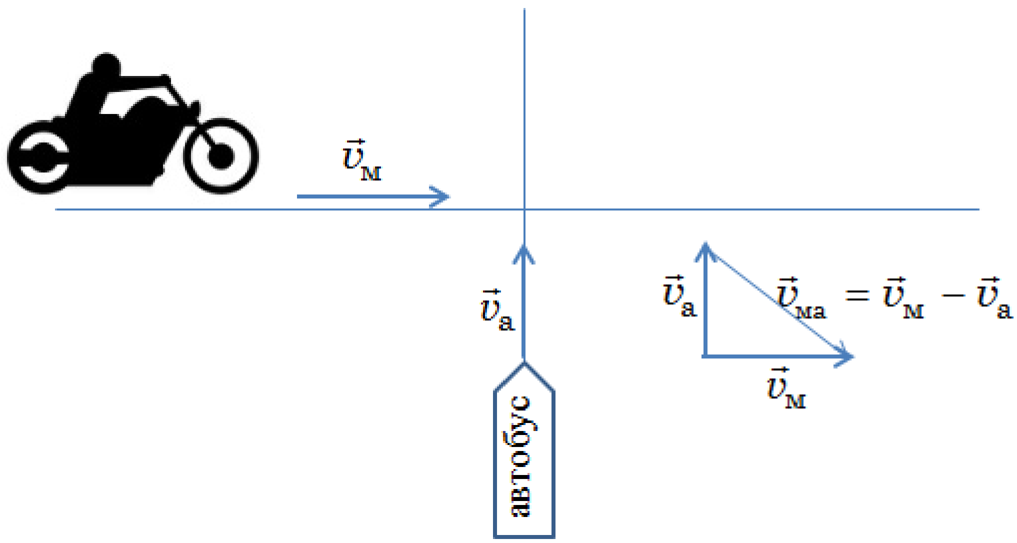

PrЭлкин2

Замечание. Чтобы быстро понимать какая будет скорость тела относительно движущейся системы отсчета, удобно использовать мнемоническое «правило столба». Велосипедист считает себя неподвижным, а придорожному столбу приписывает свою скорость, направленную назад. Точно так же он добавляет вектор ($-\vec{v}_1$ ) и к скорости такси и всех других тел неподвижных и движущихся.

4. (2). Решение. Водитель автобуса, считая себя неподвижным, получает скорости всех тел относительно автобуса, добавляя векторно к их скоростям относительно земли свою скорость с обратным знаком

$$\vec{v}_{\text{ма}} = \vec{v}_{\text{м}} + (-\vec{v}_{\text{а}}) = \vec{v}_{\text{м}} - \vec{v}_{\text{а}} \quad \textbf{(1)}$$

Этот правило применимо к любому направлению движения тела по отношению к движущейся системе отсчета, в частности, к движению по пересекающимся дорогам, как в этой задаче.




PrЭлкин3

Вычитая векторы скоростей, как требует уравнение (1), получаем ответ для модуля вектора разности $v_{\text{та}}$ (применяем правило вычитания векторов «уколи уменьшаемое» (M4)) и теорему Пифагора

$$v_{\text{ма}} = \sqrt{v_{\text{м}}^2 + v_{\text{а}}^2} = \sqrt{120^2 + 80^2} = 144 \text{ км/ч}$$

5. (3). Решение.

$$v^2 = 2as \Rightarrow s = \frac{v^2}{2a} = \frac{100^2}{2 \cdot 8} = 625 \text{ м}$$

6. (1). Решение. Проекция скорости, как видно на графике, изменилась на величину $\Delta v_x$=30 м/с за время $\Delta t$=10 с.

По определению

$$a_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{30}{10} = 3 \text{ м/с}$$

7. (4). Решение. $v(t) = at = 4 \cdot 5 = 12 \text{ м/с}$.

8. (3). Решение. $v(t) = v_0 - gt = 0 \Rightarrow t = \frac{v_0}{g} = \frac{12}{10} = 1,2 \text{ м/с}$

9. (3). Решение. Галилей утверждал и, что сидя в каюте корабля, нельзя механическими опытами установить стоит корабль, или движется прямолинейно и равномерно. Это значит, что после вертикального полета ядро вернется к пушке на движущемся корабле так же как на покоящемся.

10. (3). Решение. В момент времени $t_1$=1 мин скорость тела $v_1 = at_1 = \frac{at}{2}$

Средняя скорость за первую минуту

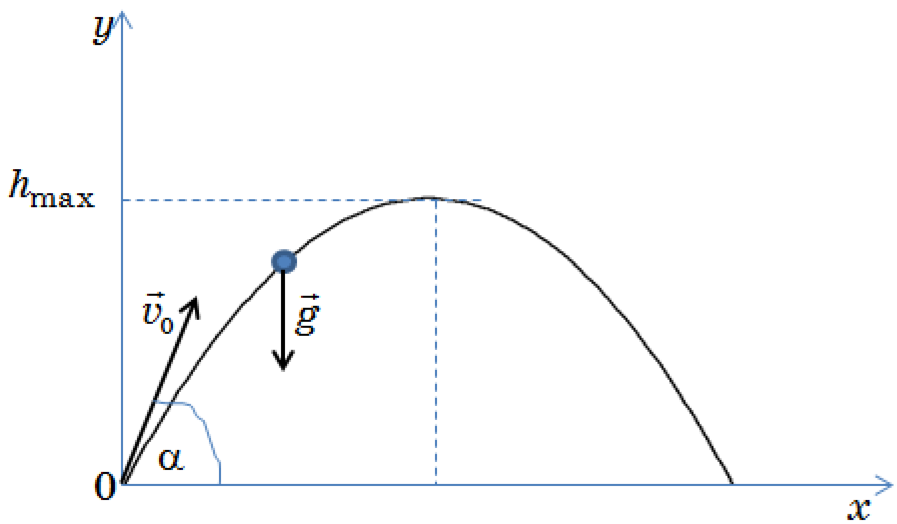
$$v_{\text{ср}1} = \frac{0 + v_1}{2} = \frac{0 + at_1}{2} = \frac{at_1}{2} = \frac{at}{4}.$$

Скорость в конце второй минуты $v_2 = at$. Средняя скорость за вторую минуту

$$v_{\text{ср}2} = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{\frac{at}{2} + at}{2} = \frac{3at}{4}, \quad \frac{v_{\text{ср}2}}{v_{\text{ср}1}} = \frac{3at \cdot 4}{4at} = 3$$

# Кинематика часть II (продолжение). Решения задач.

1. (43). Решение. Введем оси координат $x, y$, как изображено на рисунке.




PrЭлкин5

Снаряд вылетает из точки $O$ в начале координат, имея скорость $\vec{v}_0$.

Единственная сила, действующая на тело в полете, это сила тяжести $m\vec{g}$. По второму закону Ньютона тело будет двигаться с ускорением

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{m\vec{g}}{m} = \vec{g}.$$

Ускорение направлено по вертикали и будет влиять только на вертикальные скорость и координату. По горизонтали тело движется так, как будто нет гравитации. Запишем уравнения для вертикальной координаты и вертикальной проекции скорости снаряда

$$y(t) = v_0 \sin\alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$$

$$v_y(t) = y'(t) = v_{0y} - gt = v_0 \sin\alpha - gt$$

В самой верхней точке траектории, где снаряд оказывается в момент времени $t = \tau$, его скорость направлена по горизонтали, вертикальная проекция скорости равна нулю $v_y(\tau) = v_0 \sin\alpha - g\tau = 0 \Rightarrow \tau = \dfrac{v_0 \sin\alpha}{g}$. Зная время движения до верхней точки, находим высоту этой точки по уравнению для вертикальной координаты

$$h = y(\tau) = v_0 \sin\alpha \cdot \tau - \frac{g\tau^2}{2} =$$

$$= v_0 \sin\alpha \cdot \frac{v_0 \sin\alpha}{g} - \frac{g}{2}\left(\frac{v_0 \sin\alpha}{g}\right)^2 = \frac{1}{2}\frac{v_0^2}{g}\sin^2\alpha$$

2. Решение. Получим выражения для скорости и ускорения тела в любой момент времени и подставим нужное по условию время

$$v(t) = x'(t) = (bt + ct^2)' = b + 2ct = 3 + 0,4t$$

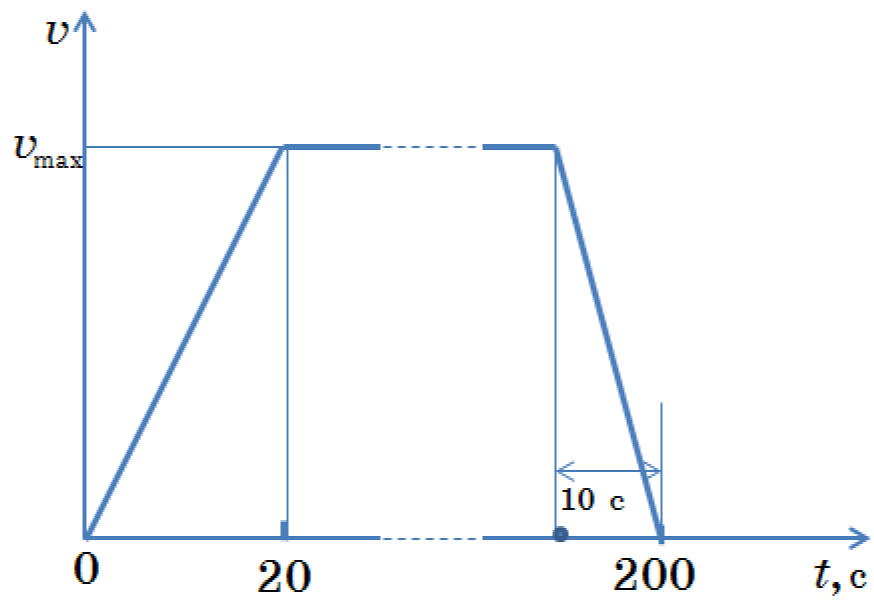
$$a(t) = v'(t) = (3 + 0,4t)' = 0,4 \text{ м/с}^2 = const$$

Ответ: $$\begin{cases} v_0 = 3 \text{ м/с},\ v_1 = 3 + 0,4 \cdot 3 = 4,2 \text{ м/с},\ \ a_0 = 0,4 \text{ м/с}^2 \\ a_1 = 0,5 \text{ м/с}^2,\ v_{ср} = \dfrac{4 + 6.5}{2} = 5,25 \text{ м/с},\ \ a_{ср} = 0,5 \text{ м/с}^2 \end{cases}$$

3. (58,4 км/ч). Решение. Заданные путь $s$ и среаняя скорость позволяют найти полное время переезда между станциями

$$t = \frac{s}{v_{ср}} = \frac{3}{54} \cdot 3600 = 200 \text{ с}.$$

Путь $s$ =3 км на рисунке площади фигуры , ограниченной снизу осью абсцисс, а сверху и с боков графиком скорости, имеющем вид трапеции.



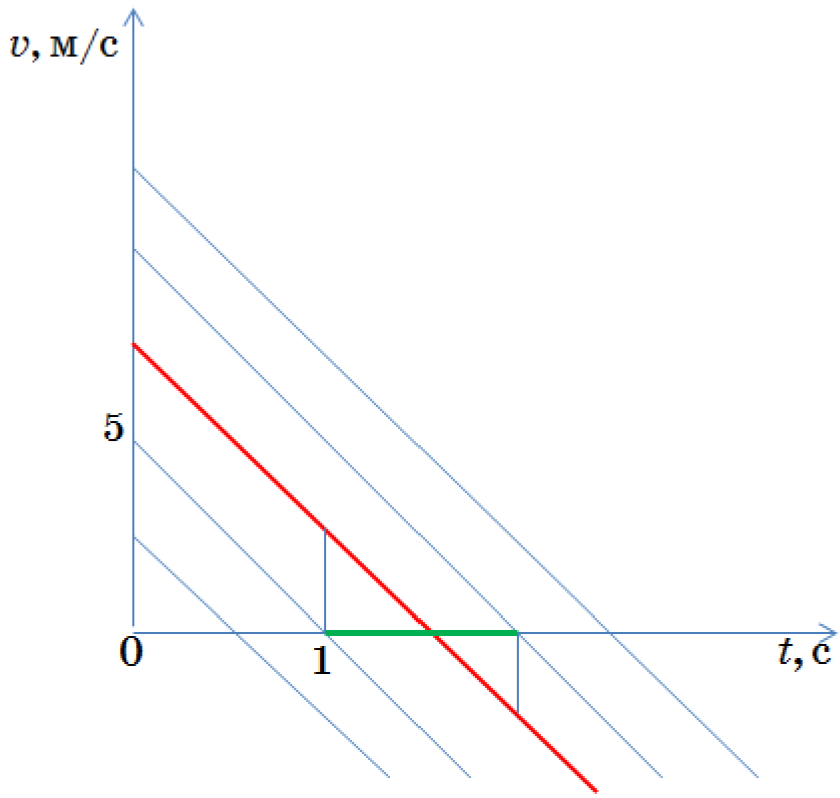

PrЭлкин6

Выразим путь $s$ через $v_{max}$, используя график.

$$s = \frac{1}{2}v_{max} \cdot 20 + \frac{1}{2}v_{max} \cdot 10 + v_{max} \cdot (200 - 20 - 10) = 185v_{max} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{max} = \frac{s}{185} = \frac{3 \cdot 3600}{185} = 58{,}4 \text{ км/ч}$$

4. (7,5 м/с; 1,25 м; 5 м). Решение. Минимальному пути за вторую секунду соответствует красная линия на графике скорости.




В этом случае путь $s$ равен суммарной площади двух равных трегольников, у которых горизонтальные катеты зеленые. Для всех других начальных скоростей (других линий на графике) путь получится больше. Обозначая промежуток времени, соответствующий второй секунде $\tau$, найдем для пути, пройденного телом за это время

$$s = 2 \cdot \frac{a\tau}{2} \cdot \frac{\tau}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{a\tau^2}{4} = \frac{5 \cdot 1^2}{4} = 1,25 \text{ м}$$

Начальная скорость, соответствующая красной линии,

$$v_0 = a\frac{3}{2}\tau = 5 \cdot \frac{3}{2} \cdot 1 = 7,5 \text{ м/с}$$

Перемещение за время $t$ =2 с

$$\Delta x(t) = v_0 t - \frac{at^2}{2} = 7.5 \cdot 2 - \frac{5 \cdot 2^2}{2} = 5 \text{ м}$$

5. (2,7 с). Решение. Направляем вертикальную ось $y$ с началом на земле вверх. Зависимость координаты $y$ мячика от времени имеет вид

$$y(t) = h + v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$

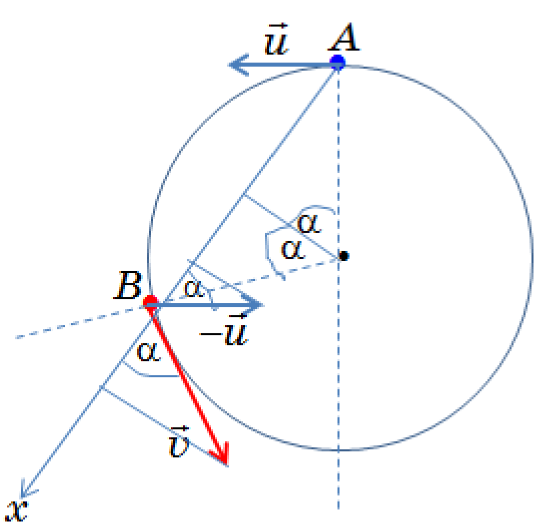
В момент приземления мячика $y(t) = 0$. Получается уравнение (квадратное) для отыскания времени полета мячика .

Ответ: $$t = \frac{v_0 + \sqrt{v_0^2 + 2gh}}{g} = \frac{8 + \sqrt{8^2 + 2 \cdot 10 \cdot 15}}{10} = 2,7 \text{ с}$$

6. (10 км/ч;0). Решение. Возможны два подхода к выбору подвижной системы:

1) подход, предложенный в указании – подвижная система движется поступательно. Пусть медленный велосипедист находится в точке $A$, быстрый в точке $B$. Введем систему отсчета, которая движется со скоростью $\vec{u}$, направленной так, как скорость велосипедиста в точке $A$. В этой системе медленный велосипедист в данный момент неподвижен, а быстрый в соответствии с теоремой сложения скоростей движется с относительной скоростью

$$\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v} - \vec{u}$$




PrЭлкин7

Искомая скорость удаления $v_{\text{уд}}$ равна проекции относительной скорости $\vec{v}_{\text{отн}}$ на ось $x$, проходящую через точки $A$ и $B$.

$$v_{\text{уд}} = v_{\text{отн}x} = v_x - u_x = v\cos\alpha - u\cos\alpha = (v-u)\cos\alpha \quad (1)$$

Из (1) видно, что наибольшая скорость удаления будет при $\alpha = 0$.

$$v_{\text{уд}\max} = v - u = 40 - 30 = 10 \text{ км/ч}$$

Минимальная скорость удаления, равная нулю, реализуется при $\alpha = 90°$.

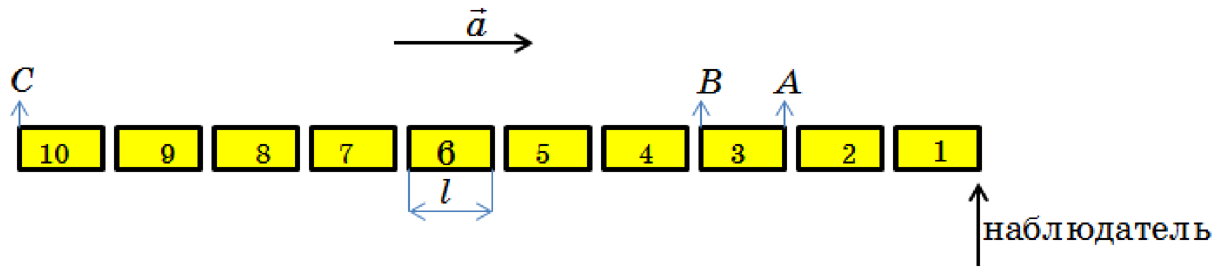
2) При другом подходе можно в качестве подвижной системы выбрать систему, вращающуюся вокруг оси, проходящей через центр окружности с частотой, равной частоте $\Omega$ вращения медленного велосипедиста. В этой системе отсчета медленный велосипедист все время неподвижен (а не только в единственный момент времени, как в поступательной системе), а быстрый велосипедист равномерно вращается с частотой $\omega_{\text{отн}} = \omega - \Omega$, где $\omega$ - частота вращения быстрого велосипедиста в неподвижной системе отсчета. Модуль относительной скорости быстрого велосипедиста

$$v_{\text{отн}} = R\omega_{\text{отн}} = R(\omega - \Omega) = R\omega - R\Omega = v - u$$

Соответственно для скорости удаления получаем прежнее выражение (1).

7. (5 км). Решение. В системе отсчета, движущейся вместе с водой, мячик неподвижен, а теплоход удаляется от мячика и приближается к нему с одинаковой скоростью. Значит теплоход вернется к мячику через 2 часа после того, как мячик оказался в воде. Мальчик увидел мячик около причала, значит за 2 часа течение унесло мячик на 10 км. Соответственно скорость течения 5 км/ч.

8. (59,7 с). Решение. Пусть длина каждого вагона $l$. Тогда расстояние от конца поезда (точка $C$) до наблюдателя равно $10l$ и искомое время связано длиной поезда и ускорением $a$ соотношением




## PrЭлкин8

$$10l = \frac{at^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{20l}{a}} = \sqrt{20} \cdot \sqrt{\frac{l}{a}} = \sqrt{20} \cdot k, \quad k = \sqrt{\frac{l}{a}}$$

Аналогичные соотношения с использованием той же величины $k = \sqrt{\frac{l}{a}}$ можно написать для времен $t_A$ и $t_B$ , за которые точки $A$ и $B$ доедут до наблюдателя

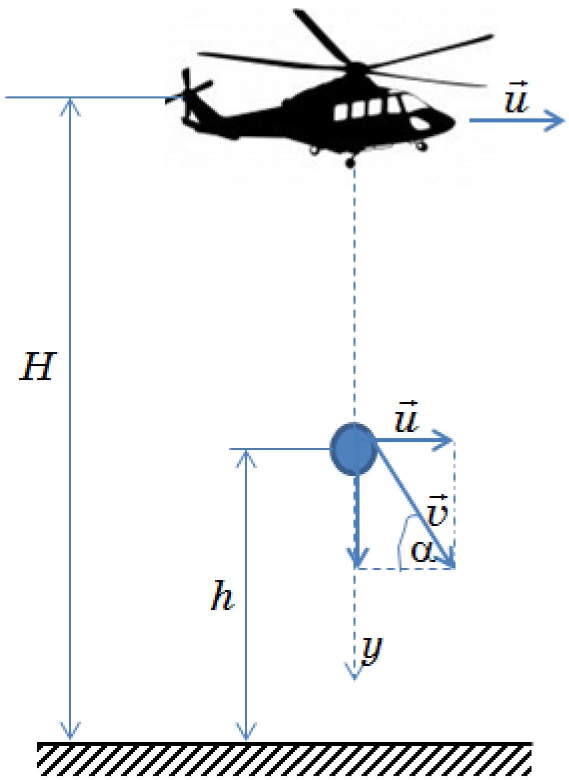
$$t_A = \sqrt{\frac{4l}{a}} = 2 \cdot k, \quad t_B = \sqrt{\frac{6l}{a}} = \sqrt{6} \cdot k$$

Заданный промежуток времени $\tau$ равен разности времен $t_A$ и $t_B$ и это позволяет по нему определить неизвестную величину $k$ и получить ответ

$$\tau = t_B - t_A = \sqrt{6} \cdot k - 2k \Rightarrow k = \frac{\tau}{\sqrt{6} - 2}$$

$$t = \sqrt{20} \cdot k = \frac{\sqrt{20} \cdot \tau}{\sqrt{6} - 2} = \frac{\sqrt{20} \cdot 6}{\sqrt{6} - 2} = 59,7 \text{ с}$$

9. (31,3 м). Решение. Пилот видит падающий груз все время на одной вертикали с вертолетом.




## PrЭлкин9

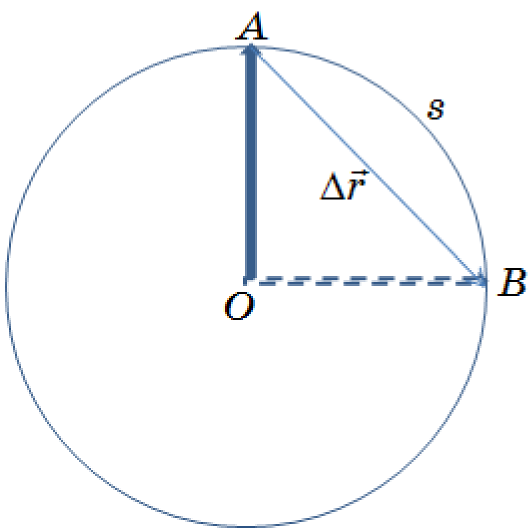
Т.е. у груза относительно земли имеется горизонтальная компонента скорости, равная скорости вертолета $u$ и она сохраняется. Вертикальная компонента скорости увеличивается от нулевого значения. На искомой высоте $h$ вертикальная компонента такова, что результирующая скорость $\vec{v}$ составляет угол $\alpha = 60°$ с горизонтом. Найдем по углу вертикальную проекцию скорости груза и по ней искомую высоту

$$v_y = u\text{tg}\alpha, \quad v_y^2 = 2g(H-h) \Rightarrow h = \frac{2gH - v_y^2}{2g} = \frac{2gH - u^2\text{tg}^2\alpha}{2g} =$$

$$= \frac{2\cdot 10\cdot 125 - (\frac{90}{3.6})^2\cdot(\text{tg}(60°))^2}{2\cdot 10} = 31,3 \text{ м}$$

PrЭлкин10

10. (0,19 см/мин; 0,21 см/мин). Решение. Конец стрелки переместился из точки $A$ в точку $B$ за время $\Delta t = 15$ мин.




По определению вектор средней скорости $\vec{v}_{\text{ср}} = \dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$. Соответственно модуль вектора средней скорости равен

$$v_{\text{ср}} = \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{\sqrt{2}\cdot l}{\Delta t} = \frac{2\cdot\sqrt{2}}{15} = 0,19 \text{ см/мин}$$

Путь, пройденный концом стрелки за 15 мин, это длина $s$ дуги $AB$. Средняя путевая скорость

$$u_{\text{ср}} = \frac{s}{\Delta t} = \frac{2\pi l}{4\cdot\Delta t} = \frac{2\cdot\pi\cdot 2}{4\cdot 15} = 0,21 \text{ м/мин}$$

Ответ: 0,19 см/мин; 0,21 см/мин

# Кинематика часть 2

1. Мимо бензозаправочной станции по прямому шоссе проезжает автобус со скоростью $v_а$ = 15 м/с. Через время $\tau$ =7 с от станции вдогонку автобусу отъезжает мотоциклист, движущийся с ускорением $a$ =3 м/с$^2$. Чему равна скорость $v_м$ мотоциклиста в момент, когда он догонит автобус?

1) 19 м/с 2) 29 м/с 3) 39 м/с 4 ) 49 м/с

1. Указание. Записать уравнения движения (зависимости координат от времени) для автобуса (равномерное движение (1.1.3 (1)) и мотоциклиста (равноускоренное движение ((1.1.3 (2)) и приравнять координаты движущихся тел. Учесть, что мотоциклист до встречи находился в движении меньшее время, чем автобус.

Ответ: (3)

2. Уравнение движения грузовика , движущегося по прямому шоссе, $x_г(t) = 3 + 80t$ , а уравнение движения такси - $x_т(t) = 5 + 110t$ . Из этих уравнений можно сделать вывод

1) грузовик и такси не встретятся 2) грузовик и такси встретятся

3) грузовик и такси встретятся два раза 4) из уранений нельзя сделать однозначный вывод о возможной встрече машин

2. Указание. Можно построить графики, отложив по осям время и координаты машин. Другой способ ответить – сравнить заданные уравнения с уранениями равномерного движения в общем виде (1.1.3(1)) и увидеть какие скорости и начальные положения у машин.

Ответ: (1)

3. Во время фейерверка одновременно запустили две одинаковые ракеты практически из одной точки. Одна ракета полетела вертикально вверх и достигла высоты $h_1$=80 м. Другая ракета вылетела под углом к горизонту и достигла максимальной высоты $h_2$ = 20 м. Чему равен модуль скорости $\vec{v}_{отн}$ первой ракеты относительно второй и куда направлена эта скорость? Ракеты можно рассматривать как материальные точки, сопротивлением воздуха пренебречь.

3. Указание. Учесть, что ускорение ракет одинаковое и первая ракета относительно второй движется прямолинейно и равномерно. Использовать теорему сложения скоростей (1.1.33) и формулу для максимальной высоты траектории тела, брошенного под углом к горизонту (1.1.25).

Ответ: $v_{отн} = v = 40$ м/с, скорость направлена под углом 60° к вертикали вниз.

4. Уравнение движения мотоциклиста, движущегося по прямому шоссе, $x(t) = 5 - 20t + 2t^2$. Путь мотоциклиста и проекция его перемещения на ось $x$ за первые 10 с от начала отсчета времени равны

1) путь 100 м, проекция перемещения 0

2) путь 200 м, проекция перемещения 0

3) путь 100 м , проекция перемещения 100 м

4) путь 100 м, проекция перемещения (-100) м

4. Указание. Сделать эскиз графика заданного уравнения движения $x(t)$ мотоциклиста, нанеся на график характерные точки. Исходя из графика, выбрать правильный вариант ответа. Можно вместо графика координаты построить график скорости как функции времени и выбрать ответ по нему.

Ответ: (1)

5. Вертолет половину полетного времени летел со скоростью $v_1$=150 км/ч,

вторую половину – со скоростью $V_2$=200 км/ч. Средняя скорость $V_{ср}$ движения вертолета равна

1) 171 км/ч 2) 173 км/ч 3) 175 км/ч 4) 177 км/ч

5. Указание. Использовать формулу для средней скорости по определению (1.1.6)

Ответ: (3)

6. Вертолет первую половину пути летел со скоростью $V_1$ = 150 км/ч, вторую половину – со скоростью $V_2$=200 км/ч. Средняя скорость $V_{ср}$ движения вертолета равна

1) 171 км/ч 2) 173 км/ 3) 175 км/ч 4) 177 км/ч

6. Указание. Использовать формулу для средней скорости по определению (1.1.6)

Ответ: (1)

7. За какое время $\tau_n$ тело, свободно падающее без начальной скорости, проходит $n$-й метр своего пути?

7. Указание. Используя уравнение движения свободно падающего тела (1.1.16), выразить времена полета от верхней точки до начала и конца $n$ –го метра и взять разность этих времен.

Ответ: $\dfrac{\sqrt{n} - \sqrt{n-1}}{\sqrt{5}}$

8. Маленький шарик падает на наклонную плоскость и упруго отражается от нее. Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 30°$. На какое расстояние по

горизонтали переместится шарик между первым и вторым ударами о плоскость? Скорость $v$ шарика непосредственно перед первым ударом о плоскость направлена вертикально вниз и равна по модулю 2 м/с.

8. Указание. Использовать уравнение траектории тела, брошенного под углом к горизонту (1.1.23) и уравнение прямой (М14).

Ответ: 0,69 м

9. При полете самолета из Новосибирска в Москву дул боковой ветер и полет занял время $t_{\perp}$ = 3,5 ч. На обратном пути ветер дул с такой же по величине скоростью, но он был попутный и время полета оказалось меньше -

$t_{\parallel}$=3 ч. Найти время $t$ перелета по этому маршруту в безветренную погоду. Модуль скорости $V$ самолета относительно воздуха остается одним и тем же.

9. Указание. Введите дополнительные величины: расстояние от Новосибирска до Москвы, скорости самолета относительно воздуха и относительно земли, сорость ветра. Считая эти величины известными, найдите искомое время и и выразите через них заданные в задаче времена. Из полученной системы уравнений найдите искомое время. Используйте закон сложения скоростей в векторном виде (1.1.33).

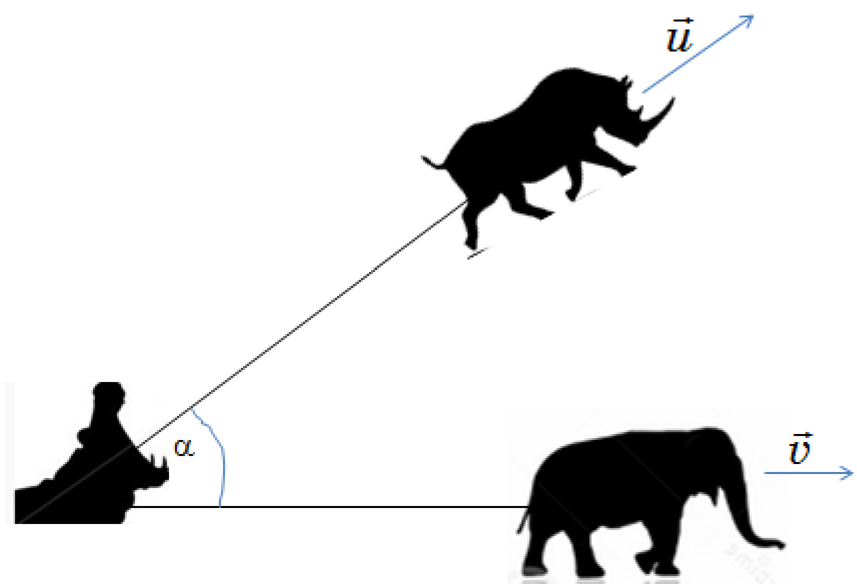
Ответ: 3,46 ч

10. Пассажир считает ступеньки, идя идет вниз по ходу эскалатора . В первый раз он насчитал $n_1$=50 ступенек, во второй раз, когда он шел вдвое быстрее насчитал $n_2$= 60 ступенек. Сколько ступенек насчитает пассажир, если будет спускаться по неподвижному эскалатору?

10. Указание. Удобно ввести длину эскалатора и число ступенек на одном метре его длины. Заданные числа ступенек пропорциональны перемещению пассажира относительно эскалатора. В сумме перемещения пассажира и эскалатора равны длине эскалатора , а отношение между этими перемещениями равно отношению скоростей пассажира и эскалатора.

Ответ: 75

11. Слон и носорог тянут веревками бегемота из болота. Угол между веревками $\alpha = 60°$. Носорог движется со скоростью $u$ =3,6 км/ч, слон – $v$ = 1,8 км/ч. С какой скоростью $\vec{V}$ перемещается бегемот и как направлен вектор его скорости?




11. Указание. Считаем, что веревки нерастяжимы и закреплены на бегемоте независимо друг от друга. Поэтому согласно теореме о проекции (1.1.35), проекция скорости бегемота на направление этой веревки, идущей к носорогу, должна равняться заданной скорости носорога. Аналогично проекция на вторую веревку должна равняться скорости слона.

Ответ: 3,6 км/ч

# Кинематика часть II. Решения задач.

1. (3). Решение. Уравнение движения для автобуса имеет вид $x_a(t) = v_a \cdot t$. Предполагается, что ось $x$ начинается около бензозаправочной станции и направлена в сторону движения автобуса. Время отсчитывается от момента, когда автобус проезжал мимо заправки. Для мотоциклиста нужно записать уравнение, где координата и время имели бы тот же смысл, но учесть, что первые 4 с мотоциклист не движется. Поэтому уравнение с ускорением

$x_T(t) = \dfrac{a(t-\tau)^2}{2}$ $\quad t \geq \tau$ описывает его движение только при $t \geq \tau = 4$ с.

Приравнивая координаты автобуса и мотоциклиста, находим уравнение для времени встречи $t$.

$$v_a \cdot t = \frac{a(t-\tau)^2}{2}, \qquad 15 \cdot t = \frac{3\cdot(t-4)^2}{2} \Rightarrow \quad (1)$$

Полученное уравнение (1) квадратное. Его корни

$$t_1 = 9 - \sqrt{65} = 0,94 \text{ с}, \quad t_2 = 9 + \sqrt{65} = 17 \text{ с}.$$

Первый корень меньше 4 с, он не имеет смысла в этой задаче. Встреча произошла в момент времени $t = t_2 = 17$ с. Мотоциклист к этому моменту был в движении в течение времени $t_2 - \tau = 17 - 4 = 13$ с. За это время он достиг скорости

$$v_M = a(t_2 - \tau) = 3 \cdot 13,06 = 39 \text{ м/с}$$

2.(2). Решение. Сравним написанные уравнения с заданными числовыми коффициентами с уравнением равномерного движения в общем виде

$$x(t) = x_0 + v_x t$$

Из сравнения видно, что скорость такси 110 км/ч, а скорость грузовика 80 км/ч и такси движется впереди грузовика. Значит машины не встретятся.

3. ($40\ \text{м/с}$; 60° к вертикали вниз). Решение. Запишем выражения для скоростей ракет относительно земли в векторном виде

$$\vec{v}_1 = \vec{v}_{10} + \vec{g}t, \quad \vec{v}_2 = \vec{v}_{20} + \vec{g}t$$

По теореме сложения скоростей («правилу столба») искомая скорость $\vec{v}_{\text{отн}}$ первой ракеты равна

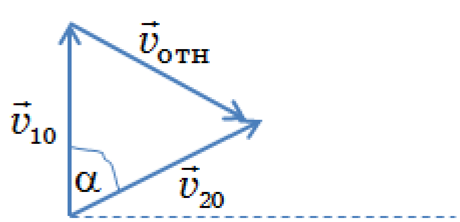
$$\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2 = \vec{v}_{10} + \vec{g}t - \vec{v}_{20} - \vec{g}t = \vec{v}_1 - \vec{v}_2 = \vec{v}_{10} - \vec{v}_{20} \qquad (1)$$

Ракеты одинаковые, значит модули их скоростей равны $v_1 = v_2 \equiv v$. Найти модуль $v$ можно по известной высоте подъема первой ракеты

$$v^2 = 2gh_1 \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 80} = 40\ \text{м/с}$$

Чтобы узнать модуль относительной скорости, используя соотношение (1), нужно знать угол $\alpha$ между начальными скоростями $\vec{v}_{10}$ и $\vec{v}_{20}$.Этот угол можно определить по заданной максимальной высоте $h_2$ траектории второй ракеты, запущенной под углом к горизонту

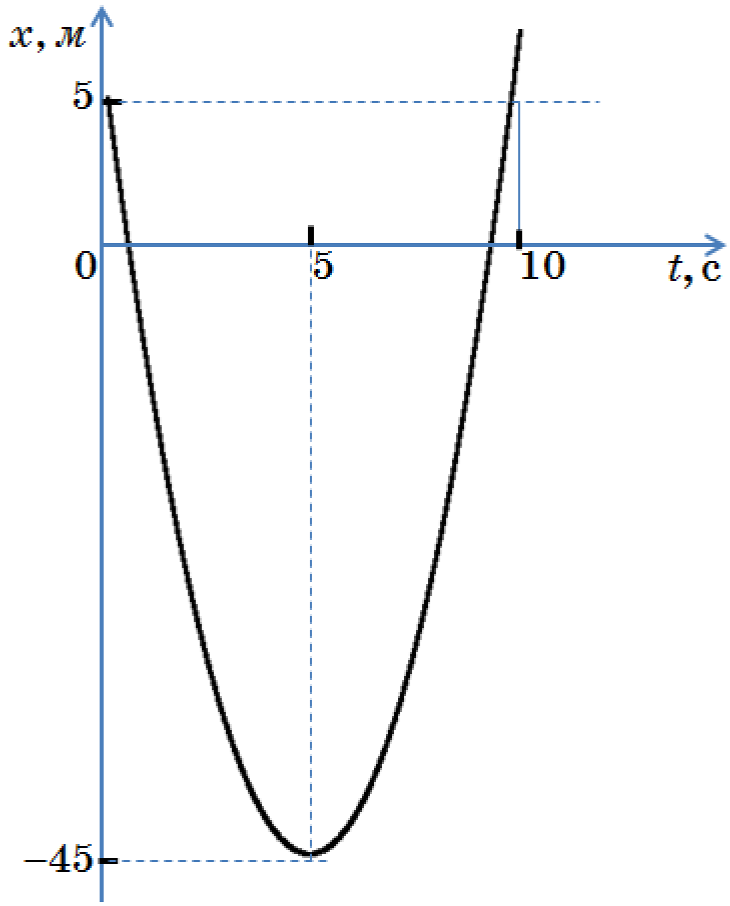
$$h_2 = \frac{v^2}{2g}\cos^2\alpha \Rightarrow \cos\alpha = \frac{\sqrt{2gh_2}}{v} = \frac{\sqrt{2 \cdot 10 \cdot 20}}{40} = \frac{1}{2} \quad \alpha = 60°$$




Векторный треугольник на рисунке равносторонний, стрелка у вектора $\vec{v}_{\text{отн}}$ направлена к вектору $\vec{v}_{20}$ (правило «уколи уменьшаемое»), модуль

$$v_{\text{отн}} = v = 40\ \text{м/с}.$$

4. (1). Решение. Графиком уравнения $x(t) = 5 - 20t + 2t^2$ служит парабола.




PrЭлкин11

Видим, что за первые 5 с мотоцикл, имея отрицательную проекцию скорости переместился из точки с координатой (+5) м в точку с координатой ( $-$45) м, т.е. прошел путь 50 м. Скорость в момент времени $t$ =0 обращается в ноль. За следующие 5 с, когда проекция скорости положительна, мотоциклист возвращается в начальную точку, пройдя еще 50 м. В итоге перемещение мотоциклиста оказывается нулевым, а путь равным 100 м.

5. (3). Решение. Средняя  скорость по определению равна отношению всего пройденного пути ко временеи $t$ всего полета $v_{ср} = \frac{s}{t}\ t$.

В нашем случае

$$v_{ср} = \frac{s}{t} = \frac{v_1 \frac{t}{2} + v_2 \frac{t}{2}}{t} = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{150 + 200}{2} = 175 \text{ км/ч}$$

Ответ: (3)

6.(1).  Решение. Получим уравнения, связывающие временан $t_1, t_2$ прохождения первой и второй половинок пути с длиной пути $s$ и заданными в условии скоростями $v_1, v_2$.

$$t_1 = \frac{\frac{s}{2}}{v_1} = \frac{s}{2v_1}, \quad t_2 = \frac{s}{2v_2}$$

Общее время полета равно сумме времен

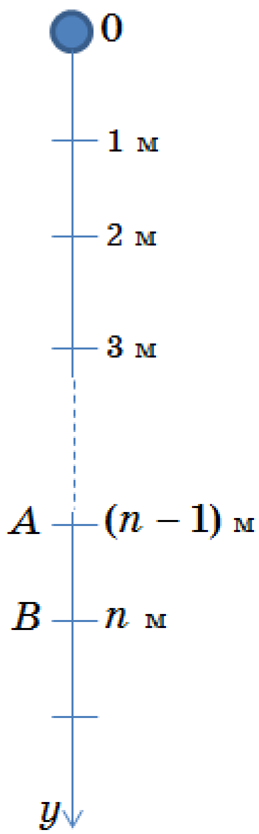
$$t = t_1 + t_2 = \frac{s}{2v_1} + \frac{s}{2v_2} = \frac{s}{2}\left(\frac{v_1 + v_2}{v_1 v_2}\right)$$

Разделив весь путь $s$ на полное время полета $t$, найдем  среднюю скорость вертолета

$$v_{ср} = \frac{s}{t} = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2} = = \frac{2 \cdot 150 \cdot 200}{150 + 200} = 171 \text{ км}$$

Ответ: (1)

7. ($\frac{\sqrt{n} - \sqrt{n-1}}{\sqrt{5}}$). Решение.




Искомое время $\tau_n$ - это время полета тела от точки $A$ до точки $B$. Расстояние $y_A$ от начальной точки до точки $A$ равно $y_A = l(n-1)$, $l = 1$ м, до точки $B - y_B = ln$. Времена полета от начальной точки до точек $A$ и $B$ определяются уравнением для равноускоренного движения

$$y_A = \frac{gt_A^2}{2} \Rightarrow$$

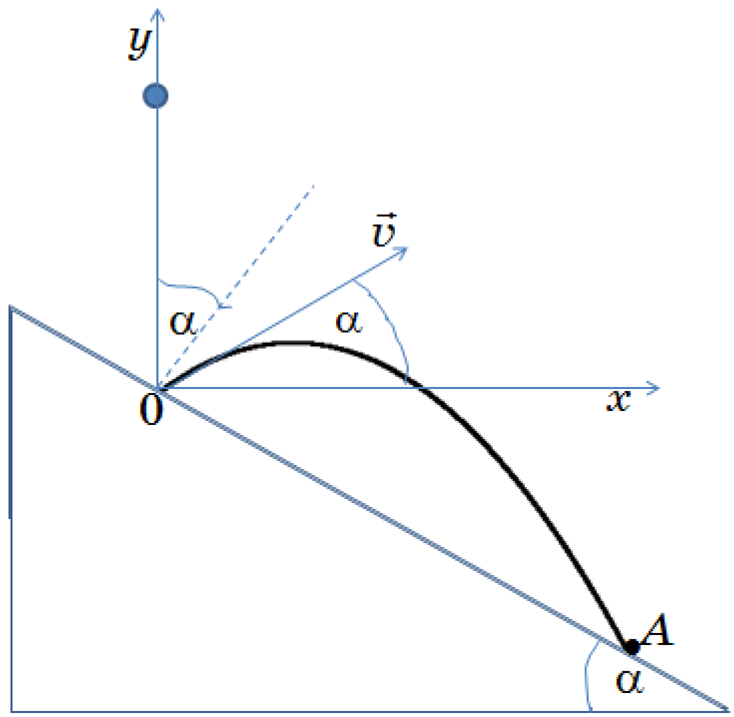
$$t_A = \sqrt{\frac{2y_A}{g}} = \sqrt{\frac{2l(n-1)}{g}}, \; t_B = \sqrt{\frac{2ln}{g}}$$

Время пролета $n$ −го метра равно разности времен

$$\tau_n = t_B - t_A = \sqrt{\frac{2ln}{g}} - \sqrt{\frac{2l(n-1)}{g}} = \frac{\sqrt{n} - \sqrt{n-1}}{\sqrt{5}}$$

Ответ: $\dfrac{\sqrt{n} - \sqrt{n-1}}{\sqrt{5}}$

8. (0,69 м). Решение.  Шарик упруго отражается от наклонной плоскости. Это значит, что вектор скорости после отражения направлен под углом $\alpha = 30°$ к горизонту, а по модулю равен скорости перед ударом.




Траектория полета шарика после отражения парабола, описываемая уравнением

$$y(x) = x\,\mathrm{tg}\alpha - \frac{gx^2}{2v^2\cos^2\alpha} \qquad (1)$$

Уравнение линии $0A$ в системе координат $x, y$

$$y_1 = -\mathrm{tg}\alpha \cdot x \qquad (2)$$

Решая уранения (1) и (2) совместно, находим $x$ – координату их точки пересечения $A$

$$y(x) = y_1(x), \quad x\,\mathrm{tg}\alpha - \frac{gx^2}{2v^2\cos^2\alpha} = -\mathrm{tg}\alpha \cdot x \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x = \frac{4\mathrm{tg}\alpha \cdot v^2\cos^2\alpha}{g} = \frac{2 \cdot \sin 2\alpha \cdot v^2}{g} = \frac{2 \cdot \sin(2 \cdot 30^\circ) \cdot 2^2}{10} = 0,69 \text{ м}$$

9. (3,46 ч). Решение. Перечислим величины, нужные для составления уравнений задачи.

$s$ – расстояние от Новосибирска до Москвы, $u$ – модуль скорости ветра, $v$ – модуль скорости самолета относительно воздуха, $V_0, V_{\parallel}, V_{\perp}$ – модули скорости самолета относительно земли без ветра, с попутным ветром и с боковым. В безветренную погоду скорость $V_0$ самолета относительно земли и скорость $v$ самолета относительно воздуха одинаковы. Поэтому искомое время можно записать так

$$t = \frac{s}{V_0} = \frac{s}{v} \qquad (1)$$

Заданные в условии времена $t_{\parallel}, t_{\perp}$ выразим, используя закон сложения скоростей

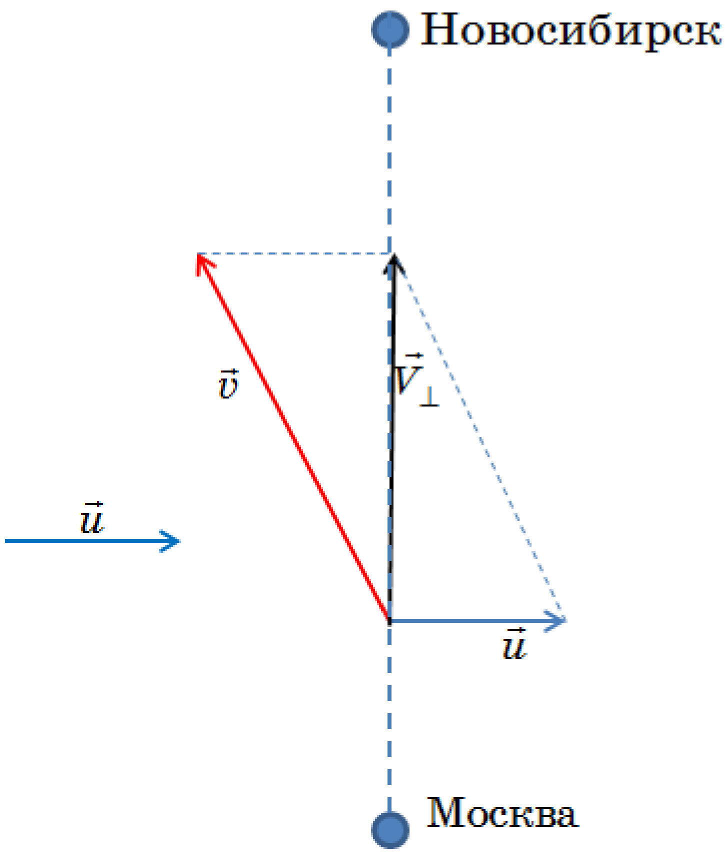
$$\vec{V} = \vec{v} + \vec{u}$$

Это векторное равенство справедливо при любом направлении ветра. Но, конечно, получающийся модуль вектора $V$ зависит от угла между векторами $\vec{v}$ и $\vec{u}$ и это приводит к зависимости времени полета от направления ветра. Выразим заданные времена через скорости $v, u$ и расстояние $s$.

$$t_{\parallel} = \frac{s}{V_{\parallel}} = \frac{s}{v+u} \qquad (2)$$

$$t_{\perp} = \frac{s}{V_{\perp}} = \frac{s}{\sqrt{v^2 - u^2}} \qquad (3)$$

Векторное сложение скоростей при боковом ветре, когда результирующая скорость самолета относительно земли равна $\vec{V}_{\perp}$, изображено на рисунке.




PrЭлкин14

Система уравнений (1), (2), (3) позволяет найти искомое время $t$. Из уравнения (1) выражаем расстояние $s = vt$, подставляем это выражение в (2) и (3) и после сокращений и введения получаем два уравнения для неизвестных $t$ и $k = \dfrac{u}{v}$

$$\begin{cases} t_{\parallel} = \dfrac{t}{1+k} \\ t_{\perp} = \dfrac{t}{\sqrt{1-k^2}} \end{cases} \Rightarrow t = 2 \cdot \frac{t_{\parallel} \cdot t_{\perp}^2}{t_{\perp}^2 + t_{\parallel}^2} = 2 \cdot \frac{3 \cdot 3.5^2}{3.5^2 + 3^2} = 3,46 \text{ ч}$$

10. (75). Решение. Обозначим искомое число ступенек $n$, а длину эскалатора $l$. На каждый метр эскалатора приходится $\nu = \frac{n}{l}$ ступенек. Эскалатор движется со скоростью $u$, а пассажир первый раз со скоростью $v$ относительно эскалатора, второй раз – со скоростью $2v$. Каждый раз пассажир перемещается относительно стен метро на расстояние, равное длине эскалатора. Это перемещение в обоих случаях складывается из перемещения эскалатора $x_э$ и перемещения пассажира относительно эскалатора $x_п$:

$$\begin{cases} x_{э1} + x_{п1} = l \\ x_{э2} + x_{п2} = l \end{cases} \qquad (1)$$

Перемещения эскалатора и пассажира пропорциональны скоростям

$$\frac{x_{э1}}{x_{п1}} = \frac{u}{v} = k, \quad \frac{x_{э2}}{x_{п2}} = \frac{u}{2v} = \frac{k}{2}$$

и это позволяет исключить из системы (1) перемещения эскалатора

$$\begin{cases} x_{п1}(k+1) = l \\ x_{п2}(\frac{k}{2}+1) = l \end{cases} \qquad (1')$$

Умножим оба уравнения системы ($1'$) на $\nu$ и учтем, что

$$\nu x_{п1} = n_1, \quad \nu x_{п2} = n_2, \quad \nu l = n$$

Система ($1'$) примет вид

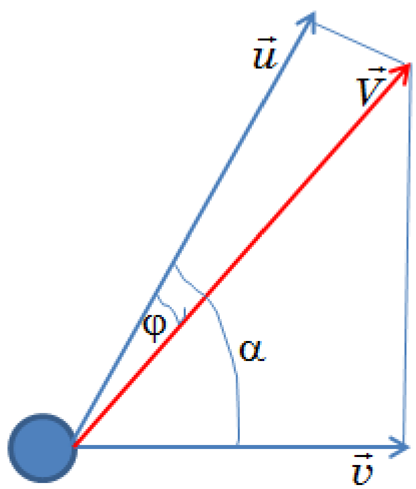
$$\begin{cases} n_1(k+1) = n \\ n_2(\frac{k}{2}+1) = n \end{cases} \qquad (2)$$

Исключая из этой системы величину $k$, получим ответ

$$n = \frac{n_1 n_2}{2n_1 - n_2} = \frac{50 \cdot 60}{2 \cdot 50 - 60} = 75$$

Ответ: 75

11. (3,6 км/ч). Решение. Введем в рассмотрение угол $\varphi$ между скоростями бегемота и носорога и получим соотношения для проекций скоростей.




$$\begin{cases} V\cos\varphi = u \\ V\cos(\alpha - \varphi) = v \end{cases} \Rightarrow \frac{\cos(\alpha - \varphi)}{\cos\varphi} = \frac{v}{u}$$

$$u\cos\alpha\cos\varphi + u\sin\alpha\sin\varphi = v\cos\varphi$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\frac{v}{u} - \cos\alpha}{\sin\alpha}, \quad V = \frac{u}{\cos\varphi} = u\frac{\sqrt{\sin^2\alpha + (\frac{v}{u} - \cos\alpha)^2}}{\sin\alpha}$$

По условию

$$\frac{v}{u} = \frac{1,8}{3,6} = \frac{1}{2}, \qquad \cos\alpha = \cos 60^\circ = \frac{1}{2}.$$

В этом случае для угла $\varphi$ и скорости $V$ получаем

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\frac{1}{2} - \frac{1}{2}}{\sin\alpha} = 0, \quad V = u = 3,6 \text{ км/ч}$$

Т.е. бегемот движется так, как будто слона и его веревки вовсе нет.

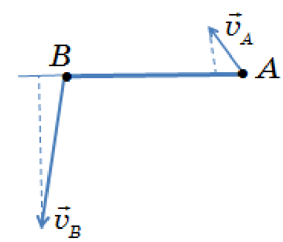
| 1. *Механика* | |
|---|---|
| 1.1. Кинематика –величины и обозначения. путь $s$, перемещение $\vec{s}$, скорость $\vec{\upsilon}$, ускорение $\vec{a}$, время $t$. Модуль вектора перемещения и путь обозначаются одной буквой $s$, но эти величины совпадают только при движении по прямой в одну сторону. В кинематике не рассматриваются масса, сила, импульс, энергия. | |
| 1.1.1 | $s$ -путь. Длина траектории, по которой движется тело. Положительная величина, со временем может только возрастать или оставаться постоянным (в отличие от модуля перемещения). |
| 1.1.2 | $x(t), y(t), z(t)$ - координаты тела, зависящие от времени $t$. При движении по прямой используется только одна координата, по плоскости – две координаты, в пространстве – три координаты. Зависимость координаты от времени называют уравнением движения или законом движения. |
| 1.1.3 | 1) $x(t) = x_0 + \upsilon_x t$ 2) $x(t) = x_0 + \upsilon_{x0} \cdot t + a_x \dfrac{t^2}{2}$ 3) $x(t) = x_m \cos\omega t$ <br>Примеры законов движения вдоль одной оси координат $x$. <br>1) равномерное движение с постоянной проекцией скорости $\upsilon_x$. <br>2) движение с постоянной проекцией ускорения $a_x$ <br>3) гармоническое колебательное движение с амплитудой $x_m$ и циклической частотой $\omega$. |
| 1.1.4 | $\Delta x = x(t + \Delta t) - x(t) \equiv s_x$ перемещение тела $\Delta t$ . $s_x$ -проекция вектора перемещения на ось $x$ . |
| 1.1.5 | $s = l_1 + l_2 + l_3..$путь равен сумме длин участков траектории $l_1, l_2..$ |
| 1.1.6 | $\upsilon_{x\text{ср}} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t}$, $\upsilon_{\text{ср}} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t}$ определение проекции средней скорости на ось $x$. Если движение происходит в одну сторону, то не используют слово «проекция», опускают индекс $x$, говорят о средней скорости . |
| 1.1.7 | $\upsilon_x(t) \equiv x'(t)$- проекция на ось $x$ мгновенной скорости по определению равна производной координаты $x(t)$ по времени. Знак равенства $\equiv$ используется , когда соотношение вводится по определению. |
| 1.1.8 | $x(t) = x_0 + \upsilon_x t$ зависимость координаты от времени при неизменной проекции скорости $\upsilon_x$ . $x_0$ – начальная координата |

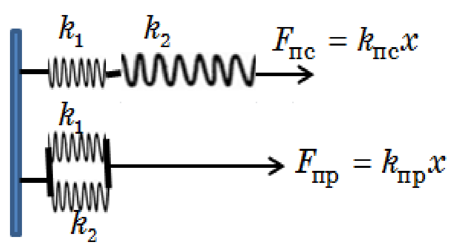
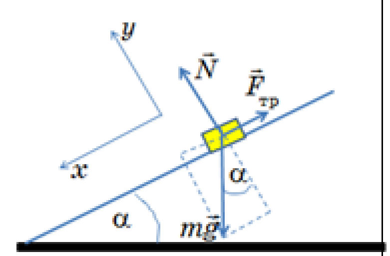
| | |
|---|---|
| | $a_x \equiv \frac{\Delta v_x}{\Delta t}$ проекция на ось $x$ среднего ускорения по определению |
| 1.1.10 | $a_x(t) \equiv v'_x(t) \equiv x''(t)$ проекция мгновенного ускорения на ось $x$ по определению равна производной проекции скорости $v_x(t)$ по времени или второй производной координаты $x(t)$ по времени. |
| 1.1.11 | $v_x(t) = v_{x0} + a_x t \quad v(t) = v_0 + at$ зависмость проекции скорости от времени при постоянной проекции ускорения. Когда знак проекции скорости не изменяется при движении слова «проекции» и индексы опускают. $v_0$ - скорость в начальный момент времени. |
| 1.1.12 | $x(t) = x_0 + v_{x0} \cdot t + a_x \frac{t^2}{2}$ зависимость координаты от времени при движении с постоянным ускорением. |
| 1.1.13 | $a)$ $s(t) = \frac{at^2}{2}$ частный случай движения с постоянным ускорением, когда начальная скорость и начальная координата тела равны нулю и тело разгоняется с ускорением $a$. $s -$ путь, пройденный за время $t$ и модуль вектора перемещения, совпадающий в этом случае с величиной пути.<br>$b)$ $v^2(t) = 2as(t)$ связь скорости и пути в этом случае |
| 1.1.14 | $s_{\text{торм}} = \frac{v_0^2}{2a}$ тело, имеющее скорость $v_0$ тормозится с ускорением $a$. $s_{\text{торм}}$ - тормозной путь. |
| 1.1.15 | $v_x^2(t) - v_{x0}^2 = 2a_x \cdot \Delta x(t) = 2a_x \cdot s(t)$ связь проекции начальной скорости и проекции скорости в момент времени $t$ с перемещением $s(t) = \Delta x$ за время $t$. Если тело движется в одном направлении, можно в этой формуле использовать модули скоростей и ускорения. $v^2(t) - v_0^2 = \pm 2as(t)$. Знак +соответствует увеличению скорости со временем, минус- уменьшению скорости. |
| 1.1.16 | $a)$ $v^2 = v_0^2 + 2g(h_0 - h)$ тело бросили вертикально вниз со скоростью $v_0$. Оказавшись на высоте $h$, оно достигает скорости $v$. Начальная высота равна $h_0$.<br>$b)$ $h(t) = h_0 - v_0 t - \frac{gt^2}{2}$ $-$связь высоты и времени полета в этом случае |

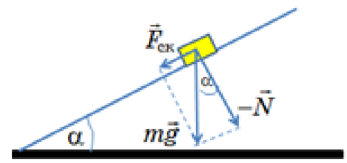
| | |
|---|---|
| | $c)\ v(t) = v_0 + gt$ зависимость скорости от времени при падении тела |
| | |
| 1.1.17 | $a)\ v^2 = v_0^2 - 2g(h - h_0)$ тело бросили вертикально вверх со скоростью $v_0$. Оказавшись на высоте $h$, оно имеет скорость $v$. Начальная высота равна $h_0$.<br>$b)\ h(t) = h_0 + v_0 t - \frac{gt^2}{2}$ связь времени подъема и высоты в этом случае<br>$c)\ v(t) = v_0 - gt$ зависимость скорости от времени |
| 1.1.18 | $s_n = \frac{g\tau^2}{2}(2n-1) = 5\cdot(2n-1)\quad (0,\ 5\ \text{м},\ 15\ \text{м},\ 25\ \text{м},\ 35\ \text{м}\ ..)$<br>тело падает без начальной скорости. $s_n$ - путь за $n$ –ю секунду. $\tau$=1 с |
| 1.1.19 | $v_{ср} = \frac{v_н + v_к}{2}$ связь средней скорости $v_{ср}$ с начальной и конечной при движении с постоянным ускорением, если направление движения не изменяется |
| 1.1.20 | $\begin{cases} v_x = x'(t),\ a_x = v_x' = x''(t) \\ v_y = y'(t),\ a_y = v_y' = y''(t) \end{cases}$ Тело движется в плоскости. Положение тела задается двумя координатами $x(t), y(t)$.<br>Проекции скорости и ускорения выражаются через производные координат по времени.<br>$\begin{cases} x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2} \\ y(t) = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2} \end{cases}$ зависимость координат от времени при постоянном ускорении<br>$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$ описание движения в плоскости при постоянном ускорении $\vec{a}$ с помощью радиуса- вектора $\vec{r}(t)$, проведенного из начала координат к точке нахождения тела. |

| | |
|---|---|
| 1.1.21 | $c)\begin{cases}\vec{r}(t)=\vec{r}_0+\vec{v}_0t+\dfrac{\vec{a}t^2}{2}\\ \vec{v}_{\text{ср}}=\dfrac{\vec{r}(t)-\vec{r}_0}{\Delta t}=\dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t},\quad u_{\text{ср}}=\dfrac{\text{путь}}{\text{время}}\end{cases}$ описание движения в плоскости при постоянном ускорении $\vec{a}$ с помощью радиуса-вектора $\vec{r}(t)$, проведенного из начала координат к точке нахождения тела.<br>$\vec{v}_{\text{ср}}$ -векторная средняя скорость, $u_{\text{ср}}$ - средняя путевая скорость. |
| 1.1.22 | $\begin{cases}x(t)=v_0\cos\alpha\cdot t\\ y(t)=v_0\sin\alpha\cdot t-\dfrac{gt^2}{2}\end{cases}$ зависимости от времени координат тела, брошенного со скоростью $\vec{v}_0$ под углом $\alpha$ к горизонту. Ось $x$ горизонтальная, $y-$ вертикальная, начало отсчета на земле в точке бросания тела. |
| 1.1.23 | $y(x)=x\mathrm{tg}\alpha-\dfrac{gx^2}{2v_0^2\cos^2\alpha}$ уравнение траектории (параболы) тела, брошенного со скоростью $\vec{v}_0$ под углом $\alpha$ к горизонту. |
| 1.1.24 | $L=\dfrac{v_0^2}{g}\sin 2\alpha$ дальность полета тела, брошенного со скоростью $\vec{v}_0$ под углом $\alpha$ к горизонту. |
| 1.1.25 | $H=\dfrac{v_0^2}{2g}\sin^2\alpha=\dfrac{L}{4}\mathrm{tg}\alpha$ наибольшая высота траектории при полете тела, брошенного со скоростью $\vec{v}_0$ под углом $\alpha$ к горизонту. |
| 1.1.26 | $\vec{v}(t)=\vec{v}_0+\vec{g}t$<br>$v_x(t)=v_0\cos\alpha$ зависимость от времени вектора $\vec{v}(t)$ скорости<br>$v_y(t)=v_0\sin\alpha-gt$<br>и его проекций при движении тела, брошенного под углом $\alpha$ к горизонту со скоростью $\vec{v}_0$. |

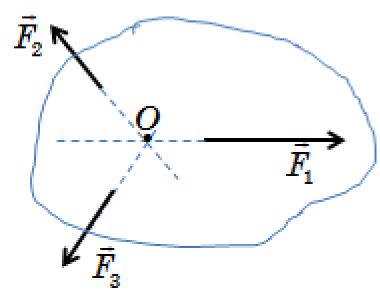
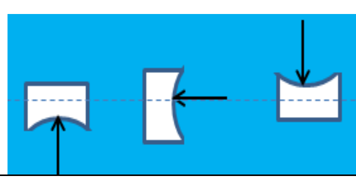
| | |
|---|---|
| 1.1.27 | $\tau = \frac{2v_0}{g}\sin\alpha$ время полета тела, брошенного под углом $\alpha$ к горизонту со скоростью $\vec{v}_0$. |
| 1.1.28 | $\omega \equiv \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ угловая скорость $\omega$ тела, движущегося по окружности. $\Delta\varphi -$ дуга в радианах, которую проходит тело за промежуток времени $\Delta t$. |
| 1.1.29 | $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ связь угловой скорости $\omega$ с периодом обращения $T$ и частотой вращения $\nu$ |
| | |
| 1.1.30 | $v_{\text{лин}} = \omega R = \frac{2\pi R}{T}$ связь линейной скорости тела $v_{\text{лин}}$ с угловой скоростью $\omega$ (или периодом $T$) и радиусом окружности $R$, по которой движется тело. |
| 1.1.31 | $a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = v\omega$ кинематическая формула для центростремительного ускорения $a_{\text{ц}}$ тела, движущегося по дуге окружности радиуса $R$ со скоростью $v$. Формула одинаковая для спутника, камня на веревке, электрона в магнитном поле ..... |
| 1.1.32 | $a_{\text{т}} \equiv \frac{\Delta v}{\Delta t}$ модуль тангенциальное ускорения $a_{\text{т}}$ по определению. $\Delta v -$ изменение скорости тела, движущегося по окружности за время $\Delta t$. При равномерном движении по окружности тангенциальное ускорение отсутствует. |
| 1.1.33 | $\vec{v}_{\text{абс}} = \vec{v}_{\text{отн}} + \vec{v}_{\text{пер}} -$ закон сложения скоростей в классической механике. $\vec{v}_{\text{абс}}$ - скорость тела относительно системы отсчета, принятой за неподвижную, $\vec{v}_{\text{отн}}$ - скорость тела относительно подвижной системы отсчета, $\vec{v}_{\text{пер}}$ - переносная скорость, т.е. скорость подвижной системы относительно неподвижной.<br>Пример. Паровоз проезжает мимо придорожного столба со скоростью $\vec{v}_{\text{п}}$. Машинист паровоза видит, что столб движется назад со скоростью $(-\vec{v}_{\text{п}})$ (предметы в кабине он считает неподвижными). Грузовик, едущий со скоростью $\vec{v}_{\text{г}}$, для машиниста паровоза выглядит, как |

| | |
|---|---|
| | едущий со скоростью $\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_{\text{г}} - \vec{v}_{\text{п}} = \vec{v}_{\text{г}} + (-\vec{v}_{\text{п}})$. Т.е. и грузовику машинист «приписал», т.е. добавил вектор $(-\vec{v}_{\text{п}})$ как столбу. Будем называть такое мнемоническое правило отыскания скорости относительно подвижной системы «правилом столба». |
| 1.1.34 | $\vec{a}_{\text{абс}} = \vec{a}_{\text{отн}} + \vec{a}_{\text{пер}}$ сложение ускорений в случае, когда подвижная система движется поступательно. Если подвижная система вращается, то связь ускорений более сложная. В таком виде она применима для вращающейся систмы в частном случае, когда $\vec{v}_{\text{отн}} = 0$. |
| | |
| 1.1.35 | Проекции скоростей двух произвольных точек твердого тела на ось, проходящую через эти точки, равны между собой.(Теорема о проекции Грасгофа) .   |
| | 1.2 Динамика |
| 1.2.1 | $\dfrac{a_1}{a_2} = \dfrac{m_2}{m_1}$ ускорения (модули) взаимодействующих тел обратно пропорциональны их массам . |
| 1.2.2 | $\vec{F} = m\vec{a}$ 2-ой закон Ньютона, определение силы, действующей на тело, движущееся с ускорением. |
| 1.2.3 | $m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots \vec{F}_n = \vec{F}_{\text{р}}$ Если на тело действуют несколько сил, то ускорение определяется их векторной суммой, называемой равнодействующей силой $\vec{F}_{\text{р}}$. |
| 1.2.4 | $\vec{F}_{2\to1} = -\vec{F}_{1\to2}$ 3-й закон Ньютона. Тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению. Согласно Ньютону такой характер взаимодействия имеет место в любоц момент времени. |
| 1.2.5 | $\rho \equiv \dfrac{m}{V}$ плотность $\rho$ вещества по определению. $m$ – масса тела, $V$ – объем тела. |
| | $F_{\text{упр}} = -kx$ закон Гука. Сила упругости $F_{\text{упр}}$ пропорциональна величине деформации $x$. Коэффициент $k$, назваемый жесткостью, зависит от материала тела и его размеров. Для длинного стержня |

| | |
|---|---|
| 1.2.6 | приближенно жесткость пропорциональна площади сечения и обратно пропорциональна длине $k \propto \frac{S}{l}$ ($\propto$ –знак пропорциональности) |
| 1.2.7 |  Жесткость комбинированной пружины выражается через жесткости отдельных пружин<br>$k_{пр} = k_1 + k_2$ при «параллельном» соединении пружин<br>$\frac{1}{k_{пс}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \Rightarrow k_{пс} = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$ при «последовательном» |
| 1.2.8 | $p \equiv \frac{N}{S}$ давление $p$ при контактном взаимодействии двух тел. $N$ – сила, с которой тела действуют друг на друга, $S$ – площадь поверхности контакта. |
| 1.2.9 | $\vec{N} = m(\vec{g} - \vec{a})$ $N$ – сила, с которой тело давит на опору или растягивает подвес (вес тела) в лифте, движущемся с ускорением $\vec{a}$ |
| 1.2.10 | $F_{тр.ск} = \mu N$ связь силы трения скольжения $F_{тр.ск}$ и силы нормального давления $N$. Коэффициет трения $\mu$ не зависит от скорости скользящего тела. |
| 1.2.11 | $F_{тр.покоя} \leq \mu N$ сила трения покоя $F_{тр.покоя}$ может быть любой в интервале от нуля до трения скольжения $\mu N$. В этих пределах сила трения покоя подстраивается под внешние силы, стараясь препятствовать скольжению. |
| 1.2.12 | на тело, помещенное без толчка на наклонную плоскость, действуют три силы: сила тяжести $m\vec{g}$, нормальная реакция плоскости $\vec{N}$ и сила трения $\vec{F}_{тр}$.<br>Проекции сил оси $x, y$  |

| | | |
|---|---|---|
| | $(mg)_x = mg\sin\alpha \quad (mg)_y = -mg\cos\alpha$<br>$F_{\text{тр}x} \le \mu mg\cos\alpha$ | |
| 1.2.13 | в некоторых случаях удобно представить силу тяжести в виде двух составляющих.<br>$m\vec{g} = \vec{F}_{\text{ск}} + (-\vec{N}) \quad F_{\text{ск}} = mg\sin\alpha$<br>$N = mg\cos\alpha$<br>$\vec{F}_{\text{ск}}$ – скатывающая сила, параллельная наклонной плоскости, $(-\vec{N})$ – сила нормального давления тела на плоскость |  |
| 1.2.14 | $F_{\text{тр}} \le \mu mg\cos\alpha$ сила трения на наклонной плоскости | |
| 1.2.15 | если коэффициент трения $\mu > \text{tg}\alpha$ тело, помещенное на наклонную плоскость, не скользит вниз | |
| 1.2.16 | $a = g\sin\alpha$ ускорение тела, скатывающегося вниз по гладкой наклонной плоскости с углом при основании $\alpha$ | |
| 1.2.17 | $F_{\uparrow} = mg\sin\alpha + \mu mg\cos\alpha$ сила $F_{\uparrow}$, которую надо приложить вдоль наклонной плоскости, чтобы перемещать тело равномерно вверх по плоскости. | |
| 1.2.18 | $F_{\text{Н}} = G\dfrac{m_1 m_2}{R^2}$ закон всемирного тяготения Ньютона. Два точечных тела (или два шара) притягиваются друг к другу с силой $F_{\text{Н}}$, пропорциональной массам тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния $R$ между центрами тел. Коэффициент пропорциональности $G = 6,67\cdot 10^{-11}$ Н · м$^2$/кг$^2$ называется гравитационная постоянная | |
| 1.2.19 | $g = \dfrac{F_{\text{Н}}}{m} = G\dfrac{M}{R^2} = G\dfrac{4}{3}\pi\rho R$ связь ускорения свободного падения на поверхности планеты $g$ с параметрами планеты массой : $M$, плотностью $\rho$, радиусом $R$. | |
| 1.2.20 | $v_1 = \sqrt{Rg}$ первая космическая скорость на планете радиуса $R$ с | |

| | |
|---|---|
| | ускорением свободного падения на поверхности $g$ .<br>Для Земли $\upsilon_{1\text{Земли}} \approx 8$ км/с . |
| 1.2.21 | $\upsilon_2 = \sqrt{2Rg}$ вторая космическая скорость. Для Земли $\upsilon_{2\text{Земли}} \approx 11{,}2$ км/с |
| 1.2.22 | $\vec{F}_{\text{и}} = -m\vec{a} \quad m\vec{a}_{\text{отн}} = \vec{F}_{\text{р}} + \vec{F}_{\text{и}}$ Если система отсчета движется с ускорением $\vec{a}$ по отношению к инерциальной системе отсчета, то ттакая система является неинерциальной (например, поезд, идущий с ускорением). Чтобы описывать движение относительно такой системы с помощью 2-го закона Ньютона, нужно считать, что на тело, кроме «обычной» равнодействующей силы $\vec{F}_{\text{р}}$, действует дополнительная сила инерции $\vec{F}_{\text{и}}$. |
| 1.3 Статика | |
| 1.3.1 | $\vec{F}_1 + \vec{F}_1 + \ldots + \vec{F}_n = \vec{F}_{\text{р}}$ сумма сил, действующих на тело, называется равнодействующей силой $\vec{F}_{\text{р}}$. Если тело точечное, то под действием равнодействующей тело движется поступательно так, как под действием суммы сил. В случае тела конечных размеров кроме поступательного движения возможно вращательное. Чтобы обеспечить правильное движение, включая вращательное, равнодействующая должна быть приложена в определенной точке протяженного тела. Равнодействующая существует не для любой системы сил. Пара сил, т.е. две силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$ , приложенные в разных точках тела, нельзя заменить одной, так, чтобы воздействие на тело не изменилось. |
| 1.3.2 | $\vec{F}_1 + \vec{F}_1 + \ldots + \vec{F}_n = \vec{F}_{\text{р}} = 0$ условие равновеси материальной точки |
| 1.3.3 | $M \equiv F \cdot l$ момент $M$ силы $F$ относительно оси равен по определению произведению модуля силы на расстояние $l$ от оси до линии действия силы. ($l$ – плечо силы). Если сила вращает ппротив часовой стрелки, ее момент считают положительным, по часовой стрелке – отрицательным. |
| | |
| 1.3.4 | $a)\ \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots \vec{F}_n = 0$<br>$b)\ M_1 + M_2 + ..M_n = 0$ условия равновесия тела конечных размеров.<br>Условие $a)$ обеспечивает отсутствие поступательного движения, условие $b)$ – вращательного. Предполагается,что все векторы сил лежат в плоскости, перпендикулярной оси вращения. Если ось |

| | |
|---|---|
| | закреплена, то условие $a)$ выполнено автоматически за счет сил, приложенных к оси. |
| 1.3.5 | $x_{цт} = \dfrac{m_1x_1 + m_2x_2 ... + m_nx_n}{m_1 + m_2 .. + m_n}$ координата центра тяжести (ЦТ) системы материальных точек массами $m_1, m_2, ...m_n$.<br>$x_1, x_2, ...x_n$ – координаты точек. В ЦТ приложена равнодействующая всех сил тяжести, действующих на отдельные частицы системы. Формула применима и для ЦТ системы шаров. |
| 1.3.6 | <br>Если твердое тело конечных размеров находится в равновесии под действием трех непараллельных сил, лежащих в одной плоскости, то линии действия этих сил пересекаются в одной точке. (Теорема о трех силах). |
| 1.3.7 | $p = \dfrac{F}{S}$ определение давления жидкости $p$: отношение силы $F$ (силы давления), действующей на поверхность со стороны жидкости к площади $S$ этой поверхности. Закон Паскаля: давление, производимое на покоющуюся жидкость или газ, передается в любую точку жидкости одинаково по всем направлениям. То есть, если в данной точке жидкости вращать манометр, измеряя давление в разных направлениях, показания прибора будут одинаковые.<br> |
| 1.3.8 | $p = \rho g h$ давление $p$ столба жидкости под действием силы тяжести.<br>$\rho$ – плотность жидкости, $h$ – высота столба. |
| 1.3.9 | $F_A = \rho g V$ Закон Архимеда . На тело, погружённое в жидкость, действует выталкивающая сила $F_A$ (сила Архимеда), равная весу жидкости объема, равного объему погруженной в жидкость части тела.<br>$\rho$ – плотность жидкости, $V$ – объем погруженой части тела,<br>$g$ – ускорение свободного падения. Закон применим и к газам. |

| | |
|---|---|
| 1.3.10 | **1)** $F_А > mg$ **2)** $F_А = mg$ **3)** $F_А < mg$ Условия плавания тел. $F_А$ – сила Архимеда при полном погружении тела в жидкость. 1) Тело плавает, частично погрузившись в жидкость. 2) Тело в безразличном равновесии на любой глубине. 3) Тело тонет. |
| 1.3.11 | $P = mg - F_А = (\rho_{тела} - \rho_ж)Vg$ вес тела $P$ массой $m$ при погружении его в жидкость плотности $\rho_ж < \rho_{тела}$ . Объем погруженной части тела $V$ . |
| 1.3.12 | $\Delta V = \upsilon S\Delta t,\ \Delta m = \rho\upsilon S\Delta t$ Жидкость(или газ) плотности $\rho$ со скоростью $\upsilon$ течет по трубе сечением $S$. За время $\Delta t$ из трубы вытечет объем жидкости $\Delta V$ массой $\Delta m$. |
| 1.3.13 | $\upsilon^2 = 2gh$ Жидкость находится в тонкостенном сосуде. На глубине $h$ от поверхности имеется небольшое отвестие. Жидкость вытекает из него со скоростью $\upsilon$, такой же, как у тела , падающего с высоты $h$ . (Формула Торичелли). |
| 1.4 Законы сохранения | |
| 1.4.1 | $\vec{p} \equiv m\vec{\upsilon}$ определение импульса тела $\vec{p}$ : вектор, модуль которого равен произведению массы тела на модуль скорости, а направление совпадает с направлением вектора скорости. |
| 1.4.2 | $\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t$ второй закон Ньютона в импульсной форме. Изменение импульса тела $\Delta\vec{p}$ равно импульсу приложенной силы $\vec{F}$. Импульсом силы называется произведение $\vec{F}\cdot\Delta t$. При неизменной массе тела такая форма закона совпадает с использованной ранее $m\vec{a} = \vec{F}$ . |
| 1.4.3 | $\vec{P}_{пол} \equiv \sum\vec{p}_i \equiv \sum m_i\vec{\upsilon}_i$ полным импульсом $\vec{P}_{пол}$ системы частиц называется вектор, равный сумме импульсов отдельных частиц. |
| 1.4.4 | $\Delta\vec{P}_{пол} = \vec{F}_{внш}\Delta t$ изменение полного импульса системы тел $\Delta\vec{P}_{пол}$ за время $\Delta t$ определяется импульсом только внешних сил $\vec{F}_{внш}$. Если внешних сил нет, то полный импульс системы тел не изменяется со временем $$\vec{P}_{пол} = m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2 + \ldots m_n\vec{\upsilon}_n = m_1\vec{\upsilon}'_1 + m_2\vec{\upsilon}'_2 + \ldots m_n\vec{\upsilon}'_n$$ |
| 1.4.5 | $x_{цм} \equiv \dfrac{m_1x_1 + m_2x_2 + \ldots. + x_n}{m_1 + m_2 + \ldots. + m_n}$ определение координаты $x_{цм}$ центра масс (ЦМ) . $x_1, x_2, \ldots x_n$ – координаты отдельных точечных тел (или шаров). Центр тяжести системы находится в этой же |

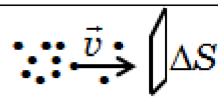
| | |
|---|---|
| | точке. |
| 1.4.6 | $V_{\text{цм}x} \equiv \dfrac{m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} + \ldots + m_n v_{nx}}{m_1 + m_2 + \ldots + m_n} = \dfrac{P_{\text{пол}x}}{m_1 + m_2 + \ldots + m_n}$<br>$V_{\text{цм}x}$ – проекция скорости центра масс. $v_{1x}, v_{2x} \ldots v_{nx}$ – проекции скоростей отдельных частиц массами $m_1, m_2 \ldots m_n$ .<br>$P_{\text{пол}x}$ – проекция полного импульса системы. Если проекция внешней силы на ось $x$ равна нулю, проекция скорости ЦМ $V_{\text{цм}x}$ не изменяется. В частности, если при отсутствии проекции внешней силы на ось $x$ оси ЦМ в начальный момент покоился, то он остается неподвижным все время. |
| 1.4.7 | $A \equiv Fs \cos\alpha = \vec{F} \cdot \vec{s} = \vec{F} \cdot \vec{v} \cdot \Delta t$ механическая работа $A$, производимая постоянной силой $\vec{F}$ над материальной точкой при ее перемещении $\vec{s}$ по определению. $\alpha$ - угол между вектором силы и вектором перемещения, $\vec{v}$ - скорость точки. Полная работа $A_{\text{пол}}$ над системой материальных точек по определению равна сумме работ над отдельными точками $A_{\text{пол}} \equiv \sum_i A_i$ . |
| 1.4.8 | $N \equiv \dfrac{A}{\Delta t}$ мощность $N$ силы по определению - отношение работы силы к интервалу времени $\Delta t$, за которое эта работа была произведена. |
| 1.4.9 | $N = F \cdot v$ сила $\vec{F}$, действующая на тело в направлении вектора скорости $\vec{v}$, развивает мощность $N$. |
| 1.4.10 | $E_{\text{кин}} \equiv \dfrac{mv^2}{2} = \dfrac{m}{2}(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) = \dfrac{p^2}{2m}$ кинетическая энергия $E_{\text{кин}}$ тела массой $m$, движущегося со скоростью $\vec{v}$ по определению. $p = mv$ – модуль импульса тела. Формула для кинетической энергии применима при поступательном движении тела, когда скорость у всех частиц тела одинаковая. Для нескольких поступательно движущихся тел общая кинетичская энергия равна сумме энергий отдельных тел<br>$E = \sum \dfrac{mv^2}{2}$ |
| 1.4.11 | $E_{\text{кин}1} - E_{\text{кин}0} = \sum_i A_i$ Изменение кинетической энергии системы |

| | |
|---|---|
| | равно работе всех внутренних и внешних сил, действующих на тела системы. Теорема об изменении кинетической энергии. |
| 1.4.12 | $v'_{1x} = \dfrac{(m_1 - m_2)v_{1x} + 2m_2 v_{2x}}{m_1 + m_2}$ $v'_{2x} = \dfrac{(m_2 - m_1)v_{2x} + 2m_1 v_{1x}}{m_1 + m_2}$ <br> Упругое центральное столкновение двух шаров массами $m_1, m_2$. <br> $v_{1x}, v_{2x}$ – проекции скоростей шаров до столкновения, <br> $v'_{1x}, v'_{2x}$ –проекции после столкновения. Если массы шаров одинаковые, шары «обмениваются» скоростями <br> $v'_{1x} = v_{2x},\ v'_{2x} = v_{1x}$ при $m_1 = m_2$ |
| 1.4.13 | $u'_{1x} = -u_{1x},\ \ u'_{2x} = -u_{2x}$ Описание упругого центрального столкновения двух шаров массами $m_1, m_2$ в системе отсчета, где ЦМ покоится. $u_{1x}, u_{2x}$ –проекции скоростей до удара, $u'_{1x}, u'_{2x}$ – проекции скоростей после удара. В этой системе отсчета проекции скоростей частиц после удара изменяют знак, не изменясь по модулю. |
| 1.4.14 | $E_{\text{упр}} = \dfrac{kx^2}{2}$ потенциальная энергия $E_{\text{упр}}$ упруго деформированного тела. $k$ – жесткость, $x$ – величина деформации. Чаще всего используется в задачах с пружинами, резиновым шнурами.. |
| 1.4.15 | $E_{\text{п}} = mgh = A$ потенциальная энергия $E_{\text{п}}$ тела, поднятого над Землей на высоту $h$. Эта энергия равна работ $A$, совершаемой силой тяжести при падении тела с высоты с высоты $h$. |
| 1.4.16 | Сохранение полной механической энерги при падении тела с высоты $h$ с начальной скоростью $v_{\text{вверху}}$. <br> $E_{\text{к внизу}} = E_{\text{полн.вверху}}$ $\dfrac{mv^2_{\text{внизу}}}{2} = \dfrac{mv^2_{\text{вверху}}}{2} + mgh$ |
| 1.4.17 | $v = \sqrt{2gl(1 - \cos\alpha)}$ шарик, подвешенный на нитке длиной $l$, имеет скорость ь $v$ , когда проходит положение равновесия после отклонения на угол $\alpha$. |
| | $E_{\text{г}} = -G\dfrac{mM}{R}$ гравитационная потенциальная энергия |

| | |
|---|---|
| 1.4.18 | взаимодействия двух точечных или сферически симметричных тел. $R$ - расстояние между центрами. За нулевой уровень энергии принята энергия, соответствующая бесконечно большому расстоянию между телами. |
| 1.4.19 | $\Delta E_{мех} = A_{внш} + A_{тр}$ $\Delta E_{мех}$ закон сохранения и изменения механичекой энергии ситемы тел. Изменение механической энергии системы равно работе внешних сил и сил трения (любых – внешних и внутренних). |
| 1.4.20 | $\eta_{пл} \equiv \frac{\Delta E_{пот}}{A_{под}} 100\%$ определения КПД $\eta_{пл}$ наклонной плоскости. $\Delta E_{пот}$ − прирост потенциальной энергии при подъеме тела по наклонной плоскости, $A_{под}$ − затраченная на подъем работа. |
| 1.5 Механические колебания и волны | |
| 1.5.1 | $ma = -kx \Rightarrow x'' + \frac{k}{m} x = 0 \quad x'' + \omega^2 x = 0 \quad \omega^2 = \frac{k}{m}$ 2-й закон Ньютона для пружинного маятника. Уравнение описывает гармонические колебания координаты $x(t) = x_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) = x_m \cdot \sin(2\pi\nu t + \varphi_0) = x_m \cdot \sin(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0)$ $x(t)$ − изменение со временем координаты тела при гармонических колебаниях. $x_m$ − амплитуда колебаний, $\nu$ − частота колебаний, $T = \frac{1}{\nu}$ − период колебаний-наименьший промежуток времени, через который состояние повторяется, $\omega = 2\pi\nu$ − циклическая частота, $\varphi_0$ − начальная фаза колебаний |
| 1.5.2 | $T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{\tau}{N}$ соотношения между периодом колебаний $T$, частотой $\nu$, циклической (угловой) частотой $\omega$, числом $N$ колебаний за время $\tau$. |

| | |
|---|---|
| 1.5.3 | $\upsilon(t) = x(t)' = \omega \cdot x_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) = \upsilon_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$<br>$\upsilon_m = \omega \cdot x_m$<br>$\upsilon(t)$ – изменение во времени скорости тела при гармонических колебаниях с циклической частотой $\omega$. $x_m$ – амплитуда координаты, $\upsilon_m$ – амплитуда колебаний скорости, $\varphi_0$ – начальная фаза колебаний. |
| 1.5.4 | $a(t) = \upsilon'(t) = x''(t) = -\omega^2 x_m \sin(\omega t + \varphi_0) = -a_m \sin(\omega t + \varphi_0)$<br>$a_m = \omega^2 x_m = \omega \upsilon_m$<br>$a(t)$ – изменение со временем ускорения тела при гармонических колебаниях с циклической $\omega$. $x_m$ – амплитуда координаты, $\upsilon_m$ – амплитуда скорости, $a_m$ – амплитуда колебаний ускорения, $\varphi_0$ – начальная фаза колебаний |
| | |
| 1.5.5 | $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ $\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}$ $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$ период $T$ малых колебаний математического маятника длиной $l$. $\nu, \omega$ – частота и циклическая частота маятника. Формула Гюйгенса. |
| 1.5.6 | $\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$ $\omega = 2\pi\nu = \sqrt{\frac{k}{m}}$ $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ частота $\nu$, циклическая частота $\omega$, период $T$ гармонических колебаний груза массы $m$ на пружине жесткости $k$ (пружинный маятник). С такой частотой изменяются координата, скорость, ускорение груза. Энергия кинетическа и потенциальная изменя.тся с частотой вдвое больше $2\nu$. |
| 1.5.7 | $E = \frac{m\upsilon(t)^2}{2} + \frac{kx(t)^2}{2} = m[\frac{\upsilon(t)^2}{2} + \frac{\omega^2 x(t)^2}{2}] = const$<br>$E$ – полная энергия пружинного маятника – сумма кинетической энергии и потенциальной упругой энергии. Координата $x(t)$ и скорость $\upsilon(t)$ изменяются со временем по гармоническим законам, полная энергия не зависит (не изменяется) со временем. Второе выражение для полной энергии (с частотой) применимо и для малых колебаний математического маятника. Максимальная кинетическая энергия равна максимальной потенциальной энергии $\frac{m\upsilon_m^2}{2} = \frac{kx_m^2}{2}$ |

| | |
|---|---|
| 1.5.8 | $y(t,x) = y_m \cos(\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{\lambda} x) = y_m \cos\varphi(t,x)$   $\varphi(t,x) = \frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{\lambda} x$<br><br>Плоская волна  амплитуды $y_m$ с периодом колебаний $T$ и длиной волны $\lambda$ движется в положительном направлении оси $x$. Отклонение от положения равновесия $y(t,x)$ в точке с координатой $x$ в момент времени $t$ описывается уравнением бегущей волны. Фазы колебаний в волне $\varphi(t,x)$ в точках , отстоящих на расстояние $\lambda$ друг от друга в один и тот же момент  отличаются на $2\pi$. |
| 1.5.9 | $\lambda\nu = c$ соотношение между частототой $\nu$ колебаний в волне, длиной волны $\lambda$ и скоростью волны $c$. Применимо для звуковых и электромагнитных волн. |
| 1.5.10 | $\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda}$ при распространении волны фаза колебаний в один и тот же момент времени в точках, отстоящих на расстояние $\Delta x$ друг от друга, отличается на $\Delta\varphi$ ( «набег» фазы). |
| | |
| 1.5.11 | $p(t,x) = 2p_0 \cos(\pi \frac{s_2 - s_1}{\lambda}) \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x - \delta)$ суммарное колебание давления $p(t,x)$ при возбуждении двух когерентных звуковых волн частоты $\omega$ одинаковой амплитуды $p_0$ с разностью хода $\Delta s = s_2 - s_1$ |
| 1.5.12 | $\Delta s = \frac{\lambda}{2}(2m+1)$   $m = 0, \pm 1, \pm 2 \ldots$ условие на разность хода $\Delta s$ двух когерентных волн для наблюдения минимума  на интерференционной картине |
| 1.5.13 | $\Delta s = \lambda m$   $m = 0, \ \pm 1, \ \pm 2 ..$ условие на разность хода $\Delta s$ двух когерентных волн для наблюдения максимума  на интерференционной картине |
| 2. *Молекулярная физика. Термодинамика.* | |
| 2.1  Молекулярная физика | |
| | $m = \rho V = \nu M = \frac{N}{N_A} M$   $n = \frac{N}{V} = \rho \frac{N_A}{M}$   $N = \frac{m}{M} N_A$ соотношения между |

| | |
|---|---|
| 2.1.1 | массой однородного тела $m$, его объемом $V$, плотностью $\rho$, количеством вещества $\nu$, молярной массой $M$, числом молекул, составляющих тело $N$. $N_{\text{А}} = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ 1/моль - число Авагадро, $n$ – концентрация молекул вещества. |
| 2.1.2 | $m_0 = \frac{M}{N_{\text{А}}}$ $m = m_0 n V$ $n = \frac{\rho}{m_0}$ $\text{v}_1 = \frac{1}{n}$ $a = \sqrt[3]{\text{v}_1} = \frac{1}{\sqrt[3]{n}}$ соотношения между массой одной молекул $m_0$, средним объемом, приходящимся на одну молекулу $\text{v}_1$, средним расстоянием между молекулам $a$ |
| 2.1.3 | $\Delta N = n\upsilon \Delta S \cdot \Delta t$   поток частиц с одинаковой скоростью $\vec{\upsilon}$ и концентрацией $n$ пересекает поверхность площади $\Delta S$ с нормалью, параллельной вектору скорости. За время $\Delta t$ площадку пересечет $\Delta N$ частиц. |
| 2.1.4 | $<\upsilon^2> \equiv \frac{\upsilon_1^2 + \upsilon_2^2 + \ldots + \upsilon_N^2}{N}$ $\upsilon_{\text{кв}} \equiv \sqrt{<\upsilon^2>}$ имеется большое число $N$ одинаковых молекул с разными скоростями. $<\upsilon^2>$ – среднее значение квадрата скорости по определению. $\upsilon_{\text{кв}}$ – средняя квадратичная скорость по определению. |
| 2.1.5 | $< E_{\text{к}} > \equiv \frac{1}{N}(E_{\text{к}1} + E_{\text{к}2} \ldots + E_{\text{к}N})$ средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул $< E_{\text{к}} >$ по определению. |
| 2.1.6 | $p = \frac{1}{3} n m_0 < \upsilon^2 > = \frac{2}{3} n < E_{\text{к}} >$ выражение давления $p$ идеального газа через параметры системы молекул – концентрацию $n$, массу отдельной молекулы $m_0$, среднюю квадратичную скорость или среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул $< E_{\text{к}} >$. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории. |
| 2.1.7 | $p = \frac{\rho \upsilon_{\text{кв}}^2}{3}$ выражение давления $p$ идеального газа через его плотность $\rho$ и среднюю квадратичную скорость поступательного движения молекул $\upsilon_{\text{кв}}$. |
| 2.1.8 | $a = \sqrt[3]{\frac{1}{n}}$ оценка среднего расстояния между молекулами. |

| | |
|---|---|
| | $n$ −концентрация молеку. |
| 2.1.9 | $p_0V_0 = p_1V_1 = const$ при постоянной температуре (изотермический процесс) произведение давления идеального газа на его объем неизменно. Закон Бойля-Мариотта. |
| 2.1.10 | $T$ [K] $= t$ °C $+ 273,15$ соотношение температуры $T$ в шкале Кельвина (абсолютной температуры) и температуры $t$ шкале Цельсия. Величина одного градуса в шкале Кельвина (1 К) и в шкале Цельсия одинакова 1 К=1°С |
| 2.1.11 | $\frac{V}{T} = const$ при постоянном давлении (изобарный процесс) отношение объема к абсолютной температуре идеального газа неизменно. Закон Гей-Люссака. |
| 2.1.12 | $\frac{p}{T} = const$ в идеальном газе при постоянном объеме (изохорный процесс) отношение давления к абсолютной температуре постоянно. Закон Шарля. |
| | |
| 2.1.13 | $\frac{pV}{T} = \mathrm{const}$ при неизменной массе идеального газа отношение произведения давления и объема $pV$ к абсолютной температуре $T$ одинаково во всех равновесных состояниях. Уравнение Клапейрона. |
| 2.1.14 | $pV = \frac{m}{M}RT = \nu RT$ уравнение Менделеева-Клапейрона (УМК). Описывает равновесное состояние идеального газа с учетом возможного изменения массы газа $m$. $R$=8,31 Дж/(моль·К) −универсальная газовая постоянная, $M$ [кг/моль] −молярная масса, $\nu$ −количество вещества (число молей). |
| 2.1.15 | $p = \frac{m}{MV}RT = \frac{\rho}{M}RT \Rightarrow \rho = \frac{pM}{RT}$ связь плотности $\rho$ идеального газа с его давлением $p$ и молярной массой $M$ - следствие УМК. |
| | $p = \frac{N}{VN_{\text{А}}}RT = knT$ давление $p$ идеального газа пропорционально |

| | |
|---|---|
| 2.1.16 | концентрации $n$ молекул и абсолютной температуре $T$. Коэффициент пропорциональности $k \equiv \frac{R}{N_А} = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К называется постоянная Больцмана. |
| 2.1.17 | $< E_к > = \frac{m_0 v_{кв}^2}{2} = \frac{3}{2} kT$ связь средней кинетической энергии $< E_к >$ поступательного движения молекул с абсолютной температурой $T$. |
| 2.1.18 | $v_{кв} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3pV}{m}}$ связь средней квадратичной скорости поступательного движения молекул идеального газа с термодинамическими параметрами – абсолютной температурой $T$, давлением $p$, объемом $V$. $m$ – масса газа, $m_0$ – масса одной молекулы газа. |
| 2.1.19 | $p = p_1 + p_2 + \ldots p_n = (\nu_1 + \nu_2 + ..\nu_n) \frac{RT}{V}$ В сосуде находится смесь идеальных газов. Закон Дальтона утверждает, что полное наблюдаемое $p$ давление смеси равно сумме давлений отдельных компонент (сумме парциальных давлений). |
| 2.1.20 | $\rho_{пара} = \frac{m_{пара}}{V}$ абсолютной влажностью воздуха называют плотность $\rho_{пара}$ водяного пара. |
| | |
| 2.1.21 | $\varphi \equiv \frac{p}{p_н} 100\%$ относительная влажность воздуха $\varphi$ по определению. $p$ - наблюдаемое давление пара, $p_н$ – давление насыщенного пара при имеющейся температуре. |
| 2.2 Термодинамика | |
| | $U = \frac{m}{M} N_А \cdot < E_к > = \frac{3m}{2M} RT = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} pV$ внутренняя энергия $U$ идеального одноатомного газа это кинетическая энергия его молекул. Она выражается через среднюю кинетическую энергию |

| | |
|---|---|
| 2.2.1 | $< E_к >$одной молекулы или через термодинамические параметры газа -абсолютную температуру $T$, давление $p$, объем $V$. $\nu -$количество вещества (число молей газа), $M -$молярная масса. Для двухатомного газа $U = \frac{5}{2}pV$, для многоатомного -$U = 3pV$ |
| 2.2.2 | $A_{газа} = p\Delta V$ $A_{внеш} = -p\Delta V$ работа газа/системы в термодинамике $A_{газа}$ определяется давлением $p$ и изменением объема $\Delta V$ при этом давлении. При расширении газа $\Delta V > 0$, работа газа положительная. Работа внешних сил равна работе газа с обратным знаком $A_{внеш} = -A_{газа}$. |
| 2.2.3 | $Q = C\Delta T = cm\Delta T$ количество теплоты $Q$, необходимое для нагрева на $\Delta T$ определяется теплоемкостью тела $C = cm$. $m -$масса тела, $c -$ удельная теплоемкость материала тела. |
| 2.2.4 | $Q = c_M \cdot \nu \cdot \Delta T \Rightarrow c_M = \frac{Q}{\nu \cdot \Delta T} = \frac{M \cdot Q}{m \cdot \Delta T}$ количество телоты, необходимое для нагрева на 1 К одного моля вещества называется молярной теплоемкостью $c_M$. Моляраная теплоемкость $c_M$ связана с удельной теплоемкостью $c$ соотношением $c_M = M \cdot c$. |
| 2.2.5 | $Q = C\Delta T \Rightarrow C = \frac{Q}{\Delta T}$ теплоемкость $C$ тела (всего тела, а не одного килограмма и не одного моля) - количество теплоты, необходимой для нагрева этого тела на один 1 К. |
| 2.2.6 | $\Delta U = A_{внеш} + Q$ первый закон термодинамики. $\Delta U -$изменение внутренней энергии системы равно работе внешних сил $A_{внешн}$+ количество тепла $Q$, поступившее в систему. Все три величины могут быть как положительные, так и отрицательные. Полученное системой/газом количество теплоты считаем положительным, отданное – отрицательным. |
| 2.2.7 | $Q_{отдан} = Q_{получ}$ В равновесии температура во всех частях ситемы одинаковая. Если же температура разная, то при переходе к равновесию возникает теплообмен. Одни тела остывают и отдают количество теплоты $Q_{отдан}$, другие нагреваются, получая количество теплоты $Q_{получ}$. В замкнутой системе эти теплоты равны. (Уравнение теплового баланса.) |

| | |
|---|---|
| 2.2.8 | $Q = \lambda m \Rightarrow \lambda = \dfrac{Q}{m}$ количество теплоты $Q$, которое необходимо затратить, чтобы расплавить тело с удельной теплотой плавления $\lambda$ массой $m$. |
| 2.2.9 | $Q = rm \Rightarrow r = \dfrac{Q}{m}$ количество теплоты $Q$, которое необходимо затратить, чтобы испарить жидкость массой $m$ и удельной теплотой парообразования $r$ . |
| 2.2.10 | $c_V = \dfrac{Q}{m\Delta T} = \dfrac{3}{2}\dfrac{R}{M}$ удельная теплоемкость идеального одноатомного газа при изохорном процессе нагрева ($V$ = const). (Для двухатомного газа вместо $\dfrac{3}{2}$ нужно взять $\dfrac{5}{2}$ ).<br>$Q_V = \dfrac{3}{2}\dfrac{R}{M} m\Delta T = \dfrac{3}{2} V\Delta p$ |
| 2.2.11 | $c_p = \dfrac{Q}{m\Delta T} = \dfrac{5}{2}\dfrac{R}{M}$ удельная теплоемкость идеального одноатомного газа при изобарном процессе нагрева ( $p$ = const). (Для двухатомного газа вместо $\dfrac{5}{2}$ нужно взять $\dfrac{7}{2}$).<br>$Q_p = \dfrac{5}{2}\dfrac{R}{M} m\Delta T = \dfrac{5}{2} p\Delta V$ |
| 2.2.12 | $Q = qm$ количесто теплоты $Q$ , которое выделяется при сгорании топлива массой $m$. $q -$ удельная теплота сгорания, разная у разных веществ. |
| | |
| 2.2.13 | $\eta \equiv \dfrac{A}{Q_{\text{получ}}} = \dfrac{Q_{\text{получ}} - Q_{\text{отдан}}}{Q_{\text{получ}}} = \dfrac{A}{A + Q_{\text{отдан}}}$ определение КПД $\eta$ теплового двигателя (цикла). $Q_{\text{получ}}$ – полученная двигателем за цикл теплота, $Q_{\text{отдан}}$ – отданная двигателем теплота, $A = Q_{\text{получ}} - Q_{\text{отдан}}$ – совершенная рабочим телом/газом за цикл работа. Пройдя цикл, рабочее тело возвращается в исходное |

| | |
|---|---|
| | сотояние с той же внутренней энергией, т.е. $\Delta U = 0$. |
| 2.2.14 | $\eta = \dfrac{T_{н} - T_{х}}{T_{н}}$ КПД теплового двигателя с циклом Карно. $T_{н}$ –максимальная температура в цикле (нагреватель), $T_{х}$ – минимальная температура (холодильник). Для данной пары температур КПД цикла Карно максимальный из возможных. |
| 2.2.15 | $\dfrac{\Delta Q}{\Delta t} = kS\Delta T$ Закон теплопередачи Ньютона. При контакте горячего тела с холодным скорость передачи теплоты $\dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$ от горячего тела к холодному пропорциональна разности температур и площади $S$ соприкосновения тел. |
| 2.2.16 | $pV^{\frac{5}{3}} = const$ связь давления идеального одноатомного газа и его объема при адиабатном процессе. (Для двухатомного газа вместо $\frac{5}{3}$ нужно взять $\frac{7}{5}$ ). |
| 3. Электродинамика | |
| 3.1 Электрическое поле | |
| | |
| 3.1.1 | $F = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \dfrac{q_1 \cdot q_2}{r^2} = k\dfrac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$ $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м<br>$k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9$ Н · м$^2$/Кл$^2$<br>сила взаимодействия $F$ между двумя точечными зарядами $q_1, q_2$ пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Величина $\varepsilon_0$ называется электрической постоянной. Эта же формула описывает взаимодействие двух равномерно заряженных шаров, $r$ – расстояние между центрами шаров. Закон Кулона. $\varepsilon \geq 1$ –диэлектрическая |

| | |
|---|---|
| | проницаемость среды, в которой находятся заряды |
| 3.1.2 | $q_1 + q_2 + \ldots + q_n = const$ в замкнутой ситеме алгебраическая сумма зарядов сохраняется. Закон сохранения заряда. |
| 3.1.3 | $\vec{E} \equiv \dfrac{\vec{F}}{q} \Rightarrow \vec{F} = q\vec{E}$ напряженность $\vec{E}$ электрического поля по определению. $\vec{F}$ −сила, действующая на *положительный* заряд $q$ (кулоновская сила). |
| 3.1.4 | $\vec{a} = \dfrac{q\vec{E}}{m}$ частица массой массой $m$ и зарядом $q$ в электрическом поле напряженности $\vec{E}$ движется с ускорением $\vec{a}$. |
| 3.1.5 | $E_{\text{тз}} = k\dfrac{Q}{r^2}$ модуль $E_{\text{тз}}$ напряженности электрического поля точечного заряда величиной $Q$, $r$ − расстояние от заряда до точки наблюдения. |
| 3.1.6 | $E_{\text{сф}} = k\dfrac{Q}{r^2}$ модуль напряженности $E_{\text{сф}}$ электрического поля, созданного равномерно заряженной сферой или шаром с зарядом $Q$. $r$ −расстояние от центра сферы/шара до точки наблюдения. Формула «работает» только вне сферы/шара для расстояний $r \geq R$, $R$ −радиус сферы/шара. Внутри сферы напряженность поля равна нулю $E_{\text{сфвнутри}} = 0$, внутри равномерно заряженного шара напряженность равна нулю только в центре шара. |
| 3.1.7 | $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots.\vec{E}_n$ Имеется несколько зарядов. Напряженность полного поля $\vec{E}$ равна векторной сумме напряженностей, созданных отдельными зарядами. Каждый зараяд создает поле так, как будто других зарядов нет. В этом состоит принцип суперпозиции полей. |
| | |
| 3.1.8 | $\varepsilon \equiv \dfrac{E_0}{E}$ заряд, например, заряженный металличекий шарик, помещенный в диэлектрик (например, в керосин) создает поле, меньшее, чем он создал бы в вакууме. Отношение напряженности поля заряда в вакууме к напряженности поля этого же заряда в среде, назвается диэлектрической проницаемостью среды $\varepsilon$. |
| | $\Delta\varphi_{BC} \equiv \dfrac{A_{BC}}{q}$ $A_{BC} = q\Delta\varphi_{BC} = qU_{BC}$ определение разности |

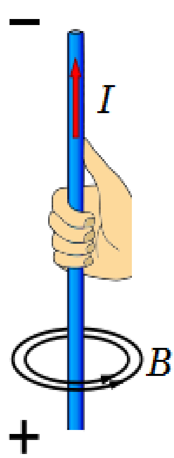
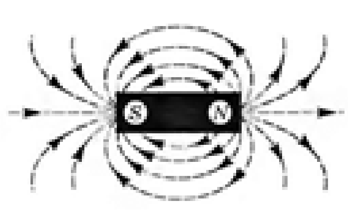
| | |
|---|---|
| 3.1.9 | потенциалов $\Delta\varphi_{BC}$ между точками $B$ и $C$. Отношение работы $A_{BC}$ электрического поля над положительным зарядом $q$ при переходе заряда из точки $B$ в точку $C$ к величине заряда $q$. Это отношение не зависит от величины заряда. Часто разность потенциалов называют напряжением и обозначают буквой $U_{BC} = \Delta\varphi_{BC}$ |
| 3.1.10 | $\varphi_B \equiv \dfrac{A_{B\infty}}{q}$ $A_{B\infty} = q\varphi_B$ определение потенциала точки $B$. Отношение работы $A_{B\infty}$ электрического поля над положительным зарядом $q$ при его перемещении из точки $B$ в бесконечность к величине заряда. Полученное отношение не зависит от величины пробного заряда. |
| 3.1.11 | $\varphi_{\text{тз}} = k\dfrac{Q}{r}$ потенциал $\varphi_{\text{тз}}$ поля точечного заряда $Q$ на расстоянии $r$ от него. Такая же формула для потенциала сферы/шара вне сферы/шара радиуса $R$ при $r \geq R$. Внутри сферы (не шара) потенциал постоянен и равен потенциалу на поверхности. |
| 3.1.12 | $\Delta\varphi_{BC} = Ed_{BC} = U$ соотношение между модулем напряженности однородного электрического поля $E$ и напряжением $U$ (синоним разности потенциалов $\Delta\varphi_{BC}$) между двумя точками $B$ и $C$, лежащими на одной линии напряженности. Расстояние от точки $B$ до точки $C$ обозначено $d_{BC}$. |
| 3.1.13 | $C_{\text{пров}} \equiv \dfrac{q}{\varphi}$ определение электроемкости $C_{\text{пров}}$ проводника. Отношение заряда проводника $q$ к его потенциалу $\varphi$. Это отношение не зависит от заряда. |
| 3.1.14 | $C_{\text{кон}} \equiv \dfrac{q}{\Delta\varphi} = \dfrac{q}{U}$ $U = \dfrac{q}{C_{\text{кон}}}$ $q = C_{\text{кон}}U$ определение емкости конденсатора $C_{\text{кон}}$ - отношение модуля заряда на одной из обкладок $q$ к напряжению между обкладками $\Delta\varphi = U$. Емкость не зависит от величины заряда. |
| 3.1.15 | $C_{\text{пл}} = \dfrac{\varepsilon_0\varepsilon S}{d}$ емкость $C_{\text{пл}}$ плоского конденсатора. $S$ − площадь одной обкладки, $d$ − расстояние между обкладками, $\varepsilon$ − диэлектрическая проницаемость диэлектрика, заполняющего пространство между обкладками. |

| | |
|---|---|
| 3.1.16 | $\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\ldots\frac{1}{C_n}$ общая емкость $C$ последовательно соединенных конденсаторов емкостями $C_1, C_2 \ldots C_n$. |
| 3.1.17 | $C = C_1 + C_2 + \ldots + C_n$ общая емкость $C$ параллельно соединенных конденсаторов емкостями $C_1, C_2 \ldots C_n$. |
| 3.1.18 | $W_э = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}qU$ энергия $W_э$, сосредоточенная в заряженном конденсаторе. $C -$емкость конденсатора, $U -$ напряжение между обкладками, $q -$модуль заряда обкладки. |
| 3.1.18 | $W_э = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon E^2 V = wV$ энергия $W_э$электростатического поля, сосредоточенная в объеме $V$. $w = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon E^2 = \frac{\varepsilon}{8\pi k}E^2$ –энергия, локализованная в единице объема (объемная плотность энергии). |
| 3.1.19 | $W_2 = k\frac{q_1q_2}{r}$ энергия взаимодействия двух электрических зарядов $q_1, q_2$, $r -$ расстояние между зарядами. |
| 3.1.20 | $\sigma \equiv \frac{q}{S}$определение оверхностной плотности заряда $\sigma -$отношение заряда $q$ , распределенного на поверхности площади $S$ к величине площади. |
| 3.1.21 | $E_{кон} = \frac{U}{d} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{q}{\varepsilon_0\varepsilon S}$напряженность поля $E_{кон}$ внутри плоского, выраженная через напряжение на конденсторе $U$ или через заряд $q$ на обладке. |
| | |
| 3.1.22 | $E_{пл} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{q}{2\varepsilon_0\varepsilon S}$ напряженность $E_{пл}$ –электрического поля заряженной плоскости. $\sigma = \frac{q}{S}$ - поверхностная плотность заряда, $\varepsilon -$ диэлектрическая проницаемост среды, в которой находится заряженная плоскость.. |
| 3.2. Законы постоянного тока | |

| | |
|---|---|
| 3.2.1 | $I \equiv \frac{\Delta q}{\Delta t}$ определение силы тока $I -$отношение заряда $\Delta q$, прошедшего через сечение проводника за время $\Delta t$ к величине промежутка времени |
| 3.2.2 | $I = q_0 n v S$ выражение силы тока $I$ в проводнике через параметры системы носителей тока – заряд $q_0$ электрона (йона, дырки), концентрацию $n$, скорость $v$ направленного движения . $S -$ площадь сечение проводника. |
| 3.2.3 | $I = \frac{U}{R}$ $U = IR$ закон Ома для участка цепи без ЭДС- сила тока $I$ на участке пропорциональна напряжению $U$ между концами участка.<br>$R -$сопротивление участка проводника. |
| 3.2.4 | $R = \rho \frac{l}{S}$ соотношение между сопротивлением проводника $R$ и его размерами – длиной $l$ и площадью сечения $S$. $\rho$ - удельное сопротивление, характеристика материала проводника. |
| 3.2.5 | $R_{об} = R_1 + R_2 + \ldots R_n$ формула для общего сопротивления $R_{об}$ при последовательном соединении $n$ проводников с сопротивлениями $R_1, R_2, \ldots R_n$. |
| 3.2.6 | $\frac{1}{R_{об}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$ формула для общего сопротивления $R_{об}$ при параллельном соединении $n$ проводников с сопротивлениями $R_1, R_2, \ldots R_n$. |
| 3.2.7 | $I_1 + I_2 + \ldots = I_1' + I_2' \ldots$ в электрической цепи к узлу подходят несколько проводников. По одним проводникам заряд приходит в узел, по другим –выходит. Сохранение заряда налогает условие на токи. Суммарная сила тока $I_1 + I_2 + ..$, входящего узел, суммарной равна силе тока $I_1' + I_2' \ldots.$, выходящего из узла. |
| | |
| 3.2.8 | $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$ силы токов в параллельно соединенных проводниках обратно пропорциональны сопротивлениям проводников. |
| | $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$ закон Ома для замкнутой цепи с источником ЭДС . Сила |

| | |
|---|---|
| 3.2.9 | тока $I$ в цепи равна отношениею ЭДС источника $\varepsilon$ к сумме внешнего сопротивления $R$ и внутреннего сопротивлением источника $r$ . |
| 3.2.10 | $U=\varepsilon \pm Ir$ формула для напряжения $U-$ на концах участка цепи, включающего источник ЭДС $\varepsilon$ (неоднородного участка цепи, например, напряжение на зажимах источника). Знак минус – если источник на этом участке «разряжается», то есть направление тока через него такое, какое было бы, если бы не было других источников ЭДС. Знак + , если источник на участке «заряжается» от другого источника. |
| 3.2.11 | $U=\varepsilon \frac{R}{R+r}$ напряжение $U$ на концах участка цепи с ЭДС $\varepsilon$ в наиболее частом случае, когда в цепи один источник (например, напряжение на зажимах подключенной к цепи батареи). |
| 3.2.12 | $\varepsilon_{\text{обпс}}=\varepsilon_1+\varepsilon_2+\ldots.\varepsilon_N$ $r_{\text{обпс}}=r_1+r_2+\ldots.r_N$ группу из $N$ источников с ЭДС $\varepsilon_1,\varepsilon_2,..\varepsilon_N$, внутренние сопротивления которых $r_1,r_2..r_N$, при их последовательном соединении (плюс источника соединяется с минусом соседнего источника) можно без изменения тока в цепи заменить одним источником с ЭДС $\varepsilon_{\text{обпс}}$ и внутренним сопротивлением $r_{\text{обпс}}$ |
| 3.2.13 | $\varepsilon_{\text{обпр}}=\varepsilon_1,$ $r_{\text{обпр}}=\frac{r_1}{N}$ группу из $N$ источников с ЭДС $\varepsilon_1,\varepsilon_2,..\varepsilon_N$, внутренние сопротивления которых $r_1,r_2..r_N$, при их параллельном соединении (плюсы всех источника соединяется в один узел, все минусы источников в другой узел) можно без изменения тока в цепи заменить одним источником с ЭДС $\varepsilon_{\text{обпр}}$ и внутренним сопротивлением $r_{\text{обпр}}$ |
| 3.2.14 | $A=IUt$ работа $A$ тока силой $I$ на участке цепи с напряжением $U$ за время $t$ . Эту величину покажет счетчик электроэнергии, если его включить перед участком проводника. |
| 3.2.15 | $a)\ P=IU$ $\quad b)\ P=I^2R$ $\quad c)\ P=\frac{U^2}{R}$ формулы для расчета мощности $P$ тока на участке с сопротивлением $R$ . Сила тока на участке равна $I$ , напряжение на концах $U$ . При известной силе тока |

| | |
|---|---|
| | удобно использовать формулу $b)$, при известном напряжении – формулу $c)$. Формула $a)$ более общая, ее можно использовать и в случае неоднородного участка цепи (участок с ЭДС) . |
| 3.2.16 | $P = \frac{\varepsilon^2 R}{(R+r)^2}$ $P_{\max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}$ при $R = r$ источник тока с ЭДС $\varepsilon$ и внутренним сопротивлением $r$ включен в цепь с внешним сопротивлением $R$. Во внешней цепи выделяется мощность $P$. Если внешнее сопротивление равно внутреннему сопротивлению источника $R = r$, во внешней цепи выделяется максимальная мощность $P_{\max}$. |
| 3.2.17 | $Q = I^2 Rt$ формула/закон Закон Джоуля—Ленца для расчета количества теплоты $Q$, выделяемого на участке цепи с сопротивлением $R$ за время $\Delta t$ при прохождении тока силой $I$. Формула применима и в случае неоднородного участка цепи (с ЭДС). |
| 3.2.18 | $IU\Delta t = Q + P_{\text{мех}}\Delta t$ баланс энергии на участке цепи, где есть электромотор. Работа тока тратится на тепло $Q$ и на механическую энергию $P_{\text{мех}}\Delta t$. |
| 3.2.19 | $A_{\text{ист}} = q\varepsilon = I\varepsilon\Delta t$ Через источник ЭДС $\varepsilon$ идет ток силой $I$. В течение времени $\Delta t$ через источник проходит заряд $q = I\Delta t$ и источник (ЭДС) совершает работу $A_{\text{ист}}$. Если направление тока $I$ такое, что источник «разряжается» (внутри источника ток идет от минуса к плюсу), работа источника положительная, он отдает энергию, равную работе $A_{\text{ист}}$. Если ток имеет противоположное направление, работа источника отрицательная, он получает это количество энергии. |
| 3.2.20 | $I\varepsilon = I^2(R+r) + P_{\text{мех}}$ Источник с ЭДС $\varepsilon$ и внутренним сопротивлением $r$ питает внешюю цепь с сопротивлением $R$ , в которой есть и электрический двигатель. Мощность источника $I\varepsilon$ тратится на нагрев внешней и внутренней цепи и на механическую мощность $P_{\text{мех}}$. Закон сохранения энергии в электрической цепи. |
| 3.2.21 | $\eta \equiv \frac{P_{\text{внеш}}}{P_{\text{полн}}} = \frac{U}{\varepsilon}$ Источник с ЭДС $\varepsilon$ питает внешнюю цепь. КПД источника тока $\eta$ по определению равен отношению мощности, выделяющейся во внешней цепи $P_{\text{внеш}}$, к полной мощности источника |

| | |
|---|---|
| | $P_{\text{полн}}$. КПД можно выразить как отношение напряжения на зажимах источника $U$ к его ЭДС $\varepsilon$ . |
| 3.3 Магнитное поле | |
| 3.3.1 | $B \equiv \dfrac{M_{\text{макс}}}{IS}$ модуль вектора магнитной индукции $B$ по определению.<br>$M_{\text{макс}}$ – максимальный вращающий момент, действующий со стороны поля на свободно подвешенную рамку площади $S$ с током $I$ .<br>Направление вектора $\vec{B}$ определяется правилом буравчика. По определению вектор $\vec{B}$ направлен по нормали к рамке, находящейся в равновесном положении, в ту сторону, куда движется буравчик (правый винт) при вращении по направлению тока в рамке. |
| 3.3.2 | $M = IBS\sin\alpha$ модуль $M$ момента сил, действующих на рамку с током $I$ площади $S$ в однородном магнитном поле индукции $B$. $\alpha$ - угол между нормалью к плоскости рамки и вектором индукции $\vec{B}$. |
| 3.3.3 |   По прямолинейному проводнику течет ток. Линии магнитной индукции представляют собой окружности в плоскости, перпендикулярной проводу, с проводом в центре. Направление вектора индукции в каждой точке определяется правило правой руки, или буравчика. Если расположить большой палец правой руки по направлению тока, то направление обхвата проводника четырьмя пальцами покажет направление линий магнитной индукции.<br>Правило буравчика – вращаем буравчик так, чтобы он двигался по направлению тока. Тогда ручка буравчика вращается по направлению линии индукции. |
| 3.3.4 |   В длинном стержневом магните сильное магнитное поле имеется вблизи концов, в середине магнита поле слабое. Силовые линии выходят из одного конца, называемого северным полюсом и входят в другой конец – южный полюс. При сближении двух намагниченных стержней одноименными полюсами они отталкиваются, при сближении разноименными полюсами – притягиваются. |

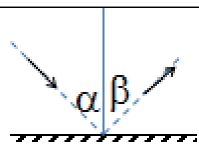
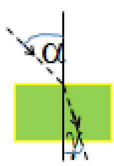
| | |
|---|---|
| 3.3.5 | *a*) $F_{\text{А}} = BIl\sin\alpha$ На проводник с током, помещенный в магнитное поле, действует сила Ампера $\vec{F}_{\text{А}}$. Модуль силы равен произведению модуля индукции $B$, силы тока $I$, длины проводника $l$ и синуса угла $\alpha$ между направлением тока и вектора индукции. Направление силы Ампера определяется правилом левой руки (сила Ампера перпендикулярна вектору $\vec{B}$ и направлению тока ).<br>*b*) $A = I\Delta\Phi -$ работа силы Ампера над контуром с током $I$ при изменении потока через поверхность, ограниченную контуром |
| 3.3.6 | $F = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}\frac{2I_1I_2}{d}l$ По длинному прямолинейному проводу течет ток силой $I_1$. На расстоянии $d$ от провода параллельно ему расположен проводник длиной $l$ с током силой $I_2$ , текущим в ту жесторону, что и ток в первом проводнике. Проводники притягиваются друг к другу с силой $F$ . $\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная,<br>$\mu -$магнитная проницаемость вещества |
| 3.3.7 | $F_{\text{Л}} = qvB\sin\alpha$ На заряженную частицу, движущуюся магнитном поле, действует сила Лоренца $F_{\text{Л}}$, равная произведению заряда $q$, скорости $v$ частицы, модуля индукции $B$ и синуса угла $\alpha$ нмежду вектором скорости и вектором индукции Направление силы Лоренца определяется правилом левой руки (сила Лоренца перпендикулярна вектору скорости $\vec{v}$ и вектору индукции $\vec{B}$). |
| 3.3.8 | $T = 2\pi\frac{m}{qB}$ $\omega = \frac{qB}{m}$ $R = \frac{mv\sin\alpha}{qB}$ $h = 2\pi R\cdot\text{ctg}\alpha$ в магнитном поле частица массы $m$ с зарядом $q$ движется по окружности в плоскости, перпендикулярной вектору индукции , если компонента скорости вдоль поля, равна нулю. Если у частицы имеется такая компонента, то она сохраняется и частица движется по винтовой линии с осью параллельной линии индукции. Параметры движения чатицы:<br>$T -$период вращения, $\omega -$ циклическая частота, $R -$ радиус винтовой линии (или окружности), $\alpha -$ угол между вектором скорости $\vec{v}$ и вектором магнитной иедукции $\vec{B}$., $h -$шаг винтовой линии с осью вдоль магнитнго поля. |
| 3.4 Электромагнитная индукция | |

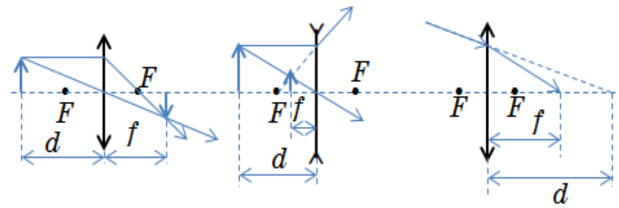
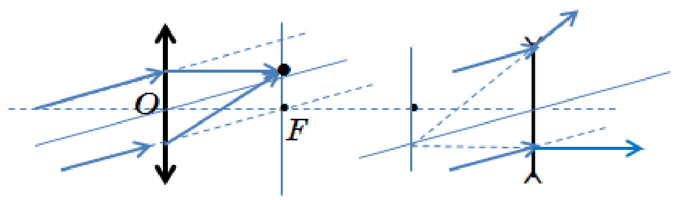
| | |
|---|---|
| 3.4.1 | $\Phi \equiv BS\cos\alpha -$ определение магнитного потока через поверхность. Поток $\Phi -$ скалярная величина, равная произведению индукции поля, площади поврхности и косинуса угла $\alpha$ между между вектором индукции $\vec{B}$ и нормалью $\vec{n}$ к поверхности . |
| 3.4.2 | $\varepsilon_i = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\Phi'$ При изменении магнитного потока $\Phi$ через поверхность, охватывамую контуром, в контуре возникает ЭДС индукции $\varepsilon_i$. Величина ЭДС индукции равна скорости изменения магнитного потока. Знак минус отражает правило Ленца: индукционный ток имеет такое направление, что он ослабляет действие причины, возбуждающей этот ток. Закон электромагнитной индукции Фарадея. |
| 3.4.3 | $\varepsilon_i = E \cdot 2\pi R \Rightarrow E = \dfrac{\varepsilon_i}{2\pi R}$ В замкнутом контуре (проводящем или непроводящем), пронизываемом изменяющемся магнитным потоком, возникает вихревое электрическое поле с силовыми линиями в форме окружностей и модулем напряженности $E$. |
| 3.4.4 | $\Phi \equiv LI$ ток силой $I$, текущей по замкнутому контуру (одному витку, или по катушке), создает магнитное поле и с ним магнитный поток $\Phi$ , пронизывающий контур. Коэффициент пропорциональности между потоком и силой тока $L$ называется индуктивностью контура, катушки. |
| 3.4.5 | $L = \dfrac{\mu_0\mu N^2 S}{l}$ индуктивность $L$ катушки длиной $l$ , площадью поперечного сечения $S$ и числом витков $N$ . $\mu -$ магнитная проницаемость материала сердечника катушки, $\mu_0 -$ магнитная постоянная . |
| 3.4.6 | $B = \mu_0\mu\dfrac{N}{l}I$ В катушке длиной $l$ с числом витков $N$ течет ток силой $I$ . Внутри катушке создается магнитное поле индукции $B$. |
| 3.4.7 | $\varepsilon_{is} = -L\dfrac{\Delta I}{\Delta t} = -LI'$ если ток, текущий в катушке индуктивности $L$, изменяется во времени, то изменяется и создаваемый им магнитный поток, пронизывающий катушку. Возникает ЭДС индукции, называемая в этом случае ЭДС самоиндукции $\varepsilon_{is}$. Знак минус отражает правило Ленца –ЭДС самоиндукции препятствует изменению |

| | |
|---|---|
| | тока в катушке. |
| 3.4.8 | $L_{\text{обпс}} = L_1 + L_2$ две катушки с индуктивностями $L_1, L_2$, соединенные полследовательно, можно без изменения токов в цепи заменить одной катушкой с индуктивностью $L_{\text{обпс}}$. |
| 3.4.9 | $L_{\text{обпр}} = \dfrac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$ две катушки с индуктивностями $L_1, L_2$, соединенные параллельно, можно без изменения токов в цепи заменить одной катушкой с индуктивностью $L_{\text{обпр}}$. |
| 3.4.10 | $\varepsilon_i = Blv$ В проводнике длиной $l$, движущемся в постоянном магнитном поле индукции $\vec{B}$ так, что вектор скорости $\vec{v}$ проводника перпендикулярен проводнику и вектору индукции, благодаря силе Лоренца, действующей на носители в проводнике, возникает ЭДС индукции $\varepsilon_i$. |
| 3.4.11 | $W_{\text{м}} = L \cdot \dfrac{I^2}{2}$ в катушке индуктивности $L$, по которой течет ток силой $I$, запасена магнитная энергия (энергия тока) $W_{\text{м}}$. |
| 3.4.12 | $w_{\text{м}} = \dfrac{1}{2} \dfrac{B^2}{\mu_0 \mu}$ плотность энергии магнитного поля – энергия, локализованная в единичном объеме пространства, где имеется магнитное поле. |
| 3.5 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ | |
| 3.5.1 | $\nu = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ $\omega = 2\pi\nu = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ $T = \dfrac{1}{\nu} = 2\pi\sqrt{LC}$ частота $\nu$, период $T$, циклическая частота $\omega$ электромагнитных колебаний в контуре, выраженные через параметры колебательного контура: индуктивность катушки $L$ и емкость конденсатора $C$ (формула Томсона). Сила тока в контуре, заряд кондесатора, напряжение на катушке изменяются с частотой $\nu$. Магнитная и электрическая энергия изменяются вдвое быстрее с частотой $2\nu$. |
| 3.5.2 | $\lambda = \dfrac{c}{\nu} = \dfrac{2\pi \cdot c}{\omega} = c \cdot T$ соотношение между длиной электромагнитной волны $\lambda$, ее частотой $\nu$ (или периодом $T$) и скоростью распространения $c$. В вакууме (воздухе) $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. В других средах скорость волны меньше. |

| | |
|---|---|
| 3.5.3 | $q(t) = q_m \sin(2\pi\nu t + \varphi_0) = CU_m \sin(2\pi\nu t + \varphi_0)$ зависимость от времени заряда $q(t)$ конденсатора при гармонических колебаниях с частотой $\nu$ и амплитудой заряда $q_m$. Напряжение на на конденсаторе $U_m \sin(\omega t + \varphi_0)$ изменяется во времени синхронно с зарядом. $\varphi_0$ – фаза колебаний заряда в начальный момент времени. |
| 3.5.4 | $I(t) = q'(t) = 2\pi\nu \cdot q_m \cos(2\pi\nu t + \varphi_0) = I_m \cos(2\pi\nu t + \varphi_0)$ $I(t)$ – изменение со временем силы тока $I(t)$ в колебательном контуре при гармонических колебаниях с частотой $\nu$ и амплитудой $I_m$ |
| 3.5.5 | $I_m = \omega q_m = \omega \cdot CU_m$ соотношение между амплитудами колебаний силы тока $I_m$, заряда $q_m$ и напряжения на конденсаторе $U_m$ при гармонических колебаниях в контуре. |
| | |
| 3.5.6 | $W_э(t) = \frac{CU^2(t)}{2} = \frac{CU_m^2 \sin^2(\omega t + \varphi_0)}{2} = \frac{CU_m^2}{4}[1 - \cos(2\omega t + \varphi_0)]$ зависимость от времени электрической энергии $W_э(t)$ при колебаниях в контуре с амплитудой напряжения на конденсаторе $U_m$. Период колебаний энергии вдвое меньше периода колебаний напряжения. Максимальная электрическая энергия равна полной энергии контура $W_{эmax} = \frac{CU_m^2}{2} = \frac{q_m^2}{2C} = W_{полн}$ |
| 3.5.7 | $W_м(t) = \frac{LI^2(t)}{2} = \frac{LI_m^2 \cos^2(\omega t + \varphi_0)}{2} = \frac{LI_m^2}{4}[1 + \cos(2\omega t + \varphi_0)]$ зависимость от времени магниной энергии $W_м(t)$ при колебаниях в контуре с амплитудой силы тока $I_m$ Период колебаний энергии вдвое меньше периода колебаний силы тока. Максимальная магнитная энергия равна полной энергии контура $W_{мmax} = \frac{LI_m^2}{2} = W_{полн}$ |
| 3.5.8 | $W_{полн} = \frac{q^2(t)}{2C} + \frac{LI^2(t)}{2} = \frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} = const$ полная энергия контура пр гармонических колебаниях сохраняется |

| | |
|---|---|
| 3.5.9 | $\varepsilon(t) = \varepsilon_m \sin \omega t \quad I(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi) \quad \mathrm{tg}\varphi = \dfrac{\dfrac{1}{\omega C} - L\omega}{R} \quad \omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ <br> $I_m(\omega) = \dfrac{\varepsilon_m}{Z} = \dfrac{\varepsilon_m}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C} - L\omega)^2}} = \dfrac{\varepsilon_m}{\sqrt{R^2 + \frac{L^2}{\omega^2}(\omega_0^2 - \omega^2)^2}}$ <br> источника ЭДС $\varepsilon(t)$ частоты $\omega$ и амплитуды $\varepsilon_m$ последовательное соединен с резистором сопротивления $R$, катушкой индуктивностью $L$ и конденсатором емкости $C$. $Z -$ полное сопротивление цепи, $\varphi -$ сдвиг фаз между током и напряжением источника, $\omega_0$ $-$собственная циклическая частота контура в отсутствие сопротивления . Возникают вынужденные колебания силы тока с амплитудой $I_m(\omega)$. |
| 3.5.10 | $I_д = \dfrac{I_m}{\sqrt{2}}$ действующее значение переменного тока $I_д -$ сила постоянного тока, который выделяет столько же тепла, сколько и переменный гармонический ток амплитуды $I_m$ |
| 3.5.11 | $P = \dfrac{I_m^2}{2}R = I_д^2 R$ по проводнику с сопротивлением $R$ течет переменный гармонический ток с амплитудой $I_m$. Тепловая мощность тока $P$ может быть выражена через амплитуду тока или через действующее значение тока $I_д$ . Во втором случае формула для мощности переменного тока такая же, как для мощности постоянного тока (для такого совпадения и ввели понятие действующего значения тока) |
| 3.5.12 | $U_2 = U_1 \dfrac{n_2}{n_1} = U_1 k, \quad k = \dfrac{n_1}{n_2}$ формулы для трансформатора. $U_1$ $-$ напряжение между концами первичной обмотки с числом витков $n_1$, $U_2$ $-$напряжение на концах вторичной обмотки с числом витков $n_2$ при отсутствии нагрузки во вторичной цепи (нет тока, холостой ход), $k$ $-$коэффициент трансформации. |
| 3.5.13 | $U_2 = U_1 \dfrac{n_2}{n_1} - I_2 R_2$ трансформатор с нагрузкой во вторичной цепи. |

| | | |
|---|---|---|
| | $I_2$ – ток во вторичной обмотке, $U_2$ – напряжение ее концах, $R_2$ – сопротивление провода вторичной обмотки. | |
| 3.5.14 | $E_y(x,t) = E_m \cos(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x)$   $B_z(x,t) = B_m \cos(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x)$ <br> $B_m = \frac{T}{\lambda}E_m$ <br> Плоская линейно поляризованная электромагнитная волна распространяется в пустом пространстве. Направление распространения выбираем за положительное направление оси $x$, ось $y$ направляем по электрическому полю волны $\vec{E}(t,x)$, тогда вектор магнитной индукции $\vec{B}(t,x)$ направлен по оси $z$. Проекции векторов электричекого и магнитного полей гармонически зависят от времени и координаты $x$. | |
| | 3.6 Оптика | |
| 3.6.1 |   | Световой луч падает на гладую поверхность с неровностями меньше длины волны света. Отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью к воверхности. Угол отражения $\beta$ равен углу падения $\alpha$. |
| 3.6.2 |   | $n = \frac{\sin\alpha}{\sin\gamma}$ Закон преломления Снелиуса. Световой луч падает под углом $\alpha$ на границу прозрачной среды. Направление распространения света на границе изменяется . Угол преломления, т.е. угол $\gamma$ подчиняется закону преломления Снелиуса. Показатель преломления $n$ зависит от длины волны света, обычно для красного света показател ь преломления меньше. |
| 3.6.3 | $n = \frac{c}{v}$ показатель преломления (абсолютный) $n$ может быть выражен как отношение скорости света $c$ в вакууме к скорости света $v$ в среде. | |
| 3.6.4 | $\sin\alpha_{\text{пред}} = \frac{n_2}{n_1}$ Если луч света падает на границу двух прозрачных сред из более плотной среды (с бóльшим показателем преломления $n_1 > n_2$ ), то существует предельный угол падения $\alpha_{\text{пред}}$, выше которого свет не выходит во вторую среду, полностью отражаясь от | |

| | |
|---|---|
| | границы прозрачной среды, как от зеркала. |
| 3.6.5 | $\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}=D$  <br>Формула линзы применима в случе рассеивающей и собирающей линз. $F$ – фокусное расстояние линзы, $d$ – расстояние от предмета до линзы, $f$ – расстояние от изображения до линзы, $D$ – оптическая сила линзы.<br>Правила знаков: если линза рассеивающая, пишем $(-\frac{1}{F})$. Если источник мнимый (сходящийся пучок) пишем $(-\frac{1}{d})$. Величина $f$ при заданных $d, F$ и знаках может получиться положительной, это соответствует действительному изображению, или отрицательной – это соответствует мнимому изображению. |
| | |
| 3.6.6 |  <br>Лучи, падающие на собирающую линзу параллельно побочной оптической оси, собираются в одной точке фокальной плоскости линзы. В случае рассеивающей линзы в фокальной плоскости собираются продолжения лучей. Из обратимости хода лучей следует, что лучи, исходящие из одной точки фокальной плоскости собирающей линзы, после преломления идут параллельно друг другу. |
| 3.6.7 | $a)\ \ \Gamma \equiv \frac{H}{h}=\frac{f}{d}=\frac{F}{d-F} \qquad b)\ \Gamma_{лупы}=\frac{s}{F_{лупы}}$<br>увеличением $\Gamma$ линзы по определению называют отношение размера $H$ изображения в перпендикулярном главной оптической оси направлении к размеру $h$ предмета. Увеличение лупы $\Gamma_{лупы}$ можно вычислить, зная расстояние наилучшего зрения $s$=0,25 м и фокусное расстояние $F_{лупы}$. |
| 3.6.8 | $D^2 \ll L\lambda$ оусловие, при котором можно наблюдать дифракционное |

| | |
|---|---|
| | изображение. $D-$ширина щели, или диаметр отверстия, $\lambda-$длина волны света, $L-$ расстояние от отверстия/щели до экрана, где наблюдается дифракционная картина. |
| 3.6.9 | $$d\cdot\sin\varphi_m = m\lambda \quad m=0,\ \pm 1,\ \pm 2\ldots \qquad d=\frac{10^{-3}}{N}$$ Соотношение между углом $\varphi_m$, под которым наблюдаеся главный максимум порядка $m$, длиной волны света $\lambda$ и периодом дифракционной решетки $d$. $N-$ число штрихов на 1 мм решетки. Уравнение дифракционной решетки. |
| 3.6.10 | $\Delta\equiv n_2s_2-n_1s_1$ $-$оптическая разность хода двух волн по определению. $s-$геометрическая длина пути волны . Оптической разности хода $\Delta$ соответствует разность фаз двух волн $\delta\varphi=\frac{2\pi}{\lambda_0}\Delta$. <br><br> $\Delta=\pm m\frac{\lambda_0}{2}$ $-$условие максимумов и минимумов при интереференции волн . Четному $m$ соответствет максимум на интерференционной картине, нечетному - минимум |
| 3.6.11 | $\delta\varphi=\frac{4\pi h}{\lambda_0}\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}-\pi$ свет с длиной волны $\lambda_0$ падает под углом $\alpha$ из воздуха по на пластину толщиной $h$ с показателем преломления $n$. Разность фаз волн, отраженных от передней и задней поверхностей пластины $\delta\varphi$. Учтена добавка к фазе волны $\Delta\varphi=\pi$, возникающая при отражении от более плотной среды (от передней грани). $\Delta=2h\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}-\frac{\lambda_0}{2}$ |
| | |
| 4.***ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ*** | |
| 4.1 | 1. Все физические явления протекают во всех инерциальных системах отсчета одинаково. <br><br> 2. Свет распространяется в вакууме со скоростью $c$ =3.10$^8$ м/с, не зависящей от скорости источника или наблюдателя. <br> Два постулата теории относительности. |

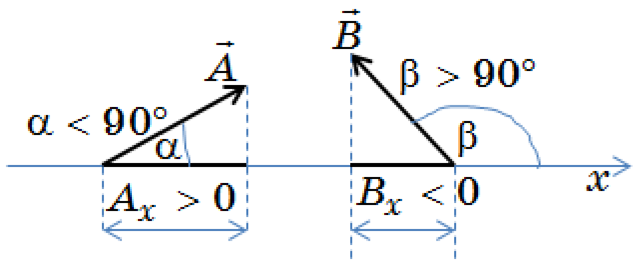
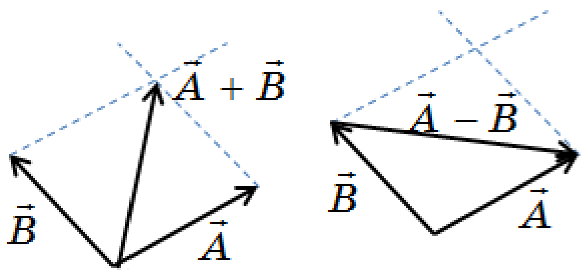
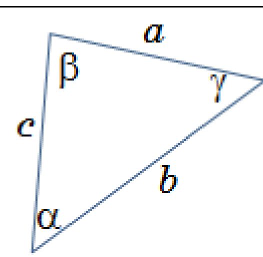
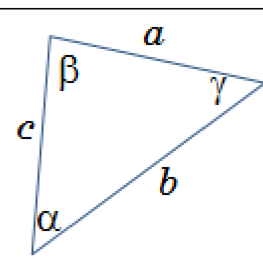
| | |
|---|---|
| 4.2 | $\tau = \dfrac{\tau_0}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}} = \tau_0\gamma \qquad \gamma \equiv \dfrac{1}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}} > 1$ соотношение между интервалом времени $\tau$, измеренным наблюдателем, мимо которого движется тело со скоростью $v$ и собственным временем $\tau_0$, измеренным в системе отсчета, где тело покоится. |
| 4.3 | $l = l_0 \cdot \sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}} = \dfrac{l_0}{\gamma}$ связь длины тела $l$, измеренной наблюдателем, мимо которого тело движется со скоростью $v$, и длины $l_0$ тела в системе отсчета, в которой оно неподвижно. |
| 4.4 | $v_{\text{абс}} = \dfrac{v_{\text{отн}} + v_{\text{пер}}}{1+\dfrac{v_{\text{пер}} \cdot v_{\text{отн}}}{c^2}}$ Подвижная система отсчета движется со скоростью $v_{\text{пер}}$. Наблюдаемое тело движется в том же направлении со скоростью $v_{\text{отн}}$ относительно подвижной системы. $v_{\text{абс}}$ - скорость тела относительно неподвижной системы . Замена классической теоремы сложения скоростей $v_{\text{абс}} = v_{\text{отн}} + v_{\text{пер}}$ в ТО |
| 4.5 | $E(v) = \dfrac{mc^2}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}} = mc^2\gamma(v)$ энергия $E(v)$ свободного тела в теории относительности. $m-$ масса тела, скорости $v-$ его скорость, $\gamma = \dfrac{E(v)}{mc^2}$ |
| 4.6 | $E(v=0) = E_{\text{пок}} = mc^2$ энергия тела при нулевой скорости называется энергией покоя $E_{\text{пок}}$.<br>$E_{\text{кин}}(v) \equiv E(v) - mc^2 = mc^2(\gamma(v)-1)$ кинетической энергией в теории относительности называется разность между энергией при скорости $v$ и энергией покоя |

| | |
|---|---|
| 4.7 | $\vec{p}(v) = \dfrac{m\vec{v}}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}} = m\vec{v}\gamma$ выражение для импульса $\vec{p}(v)$ тела в ТО |
| 4.8 | $\vec{p}' = \vec{F}$ второй закон Ньютона в импульсной форме в ТО выглядит как в классической механике |
| 4.9 | $E^2(p) = p^2c^2 + m^2c^4$ соотношение между энергией и модулем импульса в ТО |
| 4.10 | $E_{\text{кин}} = \sqrt{p^2c^2 + m^2c^4} - m\,c^2$ соотношение между кинетичекой энергией и модулем импульсав ТО. (замена классическосвязи $E_{\text{кин}} = \dfrac{p^2}{2m}$) |
| 4.11 | $E \approx m\ c^2 + \dfrac{mv^2}{2}$ энергия свободного тела при скорости $v << c$ в ТО. |
| *5. Квантовая физика* | |
| 5.1. корпускулярно-волновой дуализм | |
| 5.1.1 | $\varepsilon_{\text{ф}} = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$ $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с $= 4,136 \cdot 10^{-15}$ эВ $\cdot$ с<br>$\varepsilon_{\text{ф}}$ связь энергия фотона с его частотой $\nu$ и длиной волны $\lambda$. $h$ – постоянная Планка. |
| 5.1.2 | $p_{\text{ф}} = \dfrac{\varepsilon_{\text{ф}}}{c} = \dfrac{h\nu}{c} = \dfrac{h}{\lambda_{\text{ф}}}$ $\lambda_{\text{ф}} = \dfrac{h}{p_{\text{ф}}}$ $\lambda_{\text{ф}}$ [мкм] $= \dfrac{1,24}{\varepsilon\ [\text{эВ}]}$<br>соотношение между импульсом фотона $p_{\text{ф}}$, его энергией $\varepsilon_{\text{ф}}$, длиной волны $\lambda_{\text{ф}}$, частотой $\nu$. $c$ – скорость света.<br>$\lambda_c = \dfrac{h}{m_e c} = 2,43$ пм – комтоновская длина волны электрона |
| 5.1.3 | $\lambda_{\text{э}} = \dfrac{h}{p_{\text{э}}}$ связь длины волны $\lambda_{\text{э}}$ электрона (волны де Бройля) и его импульса $p_{\text{э}}$. |

| | |
|---|---|
| 5.1.4 | $F = \frac{P}{c}(1+R) = \frac{Nh\nu}{c}(1+R) = \frac{Nh}{\lambda}(1+R) -$ сила $F$, с которой падающий световой поток мощности $P$ давит на поверхность с коэффициентом отражения $R$. $N -$ число фотонов, падающих на поверхность в секунду, $\nu -$ частота фотона, $\lambda -$длина волны света. |
| 5.1.5 | $\frac{mv^2}{2} = \varepsilon_ф - A_{вых} = h\nu - A_{вых} = h\frac{c}{\lambda} - A_{вых}$ фотон частоты $\nu$ с энергией $\varepsilon_ф = h\nu$, попадая на металлическую поверхность, выбивает из металла электрон . Кинетическая энергия выбитого электрона равна разности между энегией фотона и работой выхода $A_{вых}$, которую надо затратить, чтобы удалить электрон из металла. $v, m -$скорость и масса вырванного фотоном электрона, $\lambda -$длина волны падающего на металл света. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. |
| 5.1.6 | $h\nu_{min} = h\frac{c}{\lambda_{max}} = A_{вых}$ $\lambda_{max} = \frac{1243,12}{A_{вых}[эВ]}$ нм минимальная частота $\nu_{min}$, при которой возможен фотоэффект, определяется величиной работы выхода металла $A_{вых}$. Маскимальная длина волны фотона $\lambda_{max} = \lambda_{кр}$ м, при которой выбивается электрон (красная граница фотоэффекта), соответствует минимальной частоте фотона. |
| 5.1.7 | $U_з = \frac{E_{кин}}{e}$ $U_з = \frac{h\nu - A_{вых}}{e}$ напряжение $U_з$, при котором фототок обращается в ноль ( запирающее/задерживающее напряжение (на облучаемой пластине плюс) лпределяется кинетичекой энергией $E_{кин}$ выбитого электрона. $e -$заряд электрона. |
| | 5.2 Физика атома |
| 5.2.1 | $m_e v_n r_n = n\frac{h}{2\pi}$ соотношение между радиусам $r_n$ разрешенной орбиты в атоме водорода, скоростью $v_n$ электрона на этой орбите и номером $n$ орбиты. $m_e$ –масса электрона. Правило квантования Бора. |
| | $E_n = -Z^2\frac{R}{n^2} = -Z^2\frac{13,6}{n^2}$ эВ $= -Z^2\frac{2,18\cdot10^{-18}}{n^2}$ Дж $= 1, 2, 3...$ |

| | |
|---|---|
| 5.2.2 | $E_n$ – энергия $n$ –го уровня в атоме водорода и ионах с одним электроном.<br>$R$ =13,6 эВ постоянная Ридберга, $Z$ –зарядовое число (число протонов в ядре). |
| 5.2.3 | $\nu_{kn} = \dfrac{E_k - E_n}{h}$ –частота фотона, излученного или поглощенного при переходах в атоме между уровнями с энергиями $E_k$ и $E_n$.<br>$\lambda_{kn} = \dfrac{ch}{E_k - E_n}$ –длина волны света, излучаемого или поглощаемого при переходе. $\lambda_{kn} = \dfrac{l}{Z^2} \cdot \dfrac{k^2 n^2}{k^2 - n^2}$ $l = \dfrac{ch}{R} = \mathbf{91,2}$ **нм** |
| 5.3. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА | |
| 5.3.1 | $A \equiv Z + N$ определение массового числа $A$ – сумма числа $Z$ протонов в ядре и числа $N$ нейтронов в ядре. Число протонов $Z$ называют зарядовым числом ядра. Общее название протонов и нейтроно – нуклоны. |
| 5.3.2 | ${}^{A}_{Z}\mathrm{Li} = {}^{\text{число нуклонов}}_{\text{число протонов}}\mathrm{Li} = {}^{7}_{3}\mathrm{Li}$ обозначения изотопа элемента (для примера лития). Верхний индекс – массовое число $A$, нижний – зарядовое число $Z$, равное порядковому номеру элемента таблице Менделеева. |
| 5.3.3 | $\Delta m \equiv Zm_p - Nm_n - m$ определение дефекта масс ядра<br>$\Delta m$ –разность между массой свободных нуклонов, составляющих ядро, и массой ядра, в котором эти нуклоны связаны ядерными силами |
| 5.3.4 | $\Delta E_{\text{св}} = \Delta m \cdot c^2 = [Zm_p + Nm_n - (m_{\text{атом}} - Zm_e)] \cdot c^2$<br>$\Delta E_{\text{св}}$ энергия связи атомного ядра, выраженная через массы нуклонов, массу атома изотопа и массу электрона обболочки. Столько энергии нужно затратить, чтобы расщепить ядро на отдельные нуклоны. |
| 5.3.5 | ${}^{1}_{0}\mathrm{n} \to {}^{1}_{1}\mathrm{p} + {}_{-1}\mathrm{e} + \nu$ схема электронного бэта- распада $\beta^-$ – превращения нейтрона в протон с испусканием электрона и антинейтрино. |
| 5.3.6 | ${}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{H} \Rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$ первая ядерная реакция (1919 г, Резерфорд).<br>В ядерных реакциях сохраняются сумма массовых чисел и сумма |

| | |
|---|---|
| | зарядовых чисел. |
| 5.3.7 | $N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} = N_0 e^{-\lambda t}$ Закон радиоактивного распада. $N_0$ – число радиоактивных ядер в момент начала отсчета времени, $N(t)$ – число ядер, оставшихся к моменту $t$, $T$ – период полураспада, За время, равное $T$, распадется половина начального количества ядер. $\lambda = \dfrac{\ln 2}{T}$ – постоянная распада |
| 5.3.8 | $A(t) = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} = -N'(t) = \dfrac{\ln 2}{T} \cdot N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} = \lambda N(t)$ активность препарата по определению – число распадов ядер в единицу времени. $T$ – период полураспада, $\lambda$ – постоянная распада |
| 5.3.9 | $q = e\dfrac{m}{M} N_A \cdot Z$ суммарный заряд всех ядер изотопа элемента массой $m$. $Z$ – зарядовое число, $M$ – молярная масса |
| *математическое приложение* | |
| M1 | $a)\ \sqrt{1+x} \approx 1+\dfrac{1}{2}x,\ \ b)\ \dfrac{1}{1+x} \approx 1-x,\ \ c)\ \sin x \approx \mathrm{tg}x \approx x,\ \ d)\ \cos x \approx 1-\dfrac{x^2}{2}$<br>$e)\ (1+x)^3 = 1+3x+3x^2+x^3 \approx 1+3x$<br>формулы для приближенных расчетов. Применимы при $x \ll 1$ |
| M2 | $a)\ \cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\dfrac{\alpha+\beta}{2} \cdot \cos\dfrac{\alpha-\beta}{2}\quad b)\ \cos\alpha \cdot \cos\beta = \dfrac{1}{2}[\cos(\alpha+\beta) + \cos(\alpha-\beta)]$<br>$c)\ A\sin\alpha + B\cos\alpha = \sqrt{A^2+B^2}\sin(\alpha+\varphi)\quad \cos\varphi = \dfrac{A}{\sqrt{A^2+B^2}},\quad \sin\varphi = \dfrac{B}{\sqrt{A^2+B^2}}$<br>тригонометрические формулы, используемые для описания сложения колебаний и интерференции волн<br>$d)\ \sin\alpha = \dfrac{2\mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}}{1+\mathrm{tg}^2\frac{\alpha}{2}}\quad \cos\alpha = \dfrac{1-\mathrm{tg}^2\frac{\alpha}{2}}{1+\mathrm{tg}^2\frac{\alpha}{2}}$ |

| | | |
|---|---|---|
| М3 | <br>Проекции векторов на ось $x$. Вектор $\vec{A}$ собразует острый угол $\alpha$ с положительным направлением оси – его проекция на ось положительная $A_x = A\cos\alpha > 0$. Вектор $\vec{B}$ составляет тупой угол $\beta$ с положительным направлением оси, его проекция на ось отрицательная $B_x = B\cos\beta < 0$. ($A, B$ - модули векторов). | |
| М4 | <br>Сложение и вычитание векторов $\vec{A}$ и $\vec{B}$. Стрелочка у вектора разности $\vec{A} - \vec{B}$ ставится около вектора $\vec{A}$ (правило «уколи уменьшаемое»). | |
| М5 | $\vec{A} \cdot \vec{B} \equiv A \cdot B \cdot \cos\alpha = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$ определение скалярного произведения векторов $\vec{A}$ и $\vec{B}$ и его выражение через проекции векторов на взаимно перпендикулярные оси координат $x, y, z$. $\alpha$ –угол между векторами. | |
| М6 | $\dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \dfrac{a}{b}$<br>теорема синусов |  |
| М7 | $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\alpha$<br>теорема косинусов |  |

| | | |
|---|---|---|
| M8 | $s_n = a_1 + qa_1 + q^2a_1 + \ldots + q^{n-1}a_1 \quad s_n = \dfrac{a_1(q^n - 1)}{q-1}$<br>сумма $n$ первых членов геометрической прогресии | |
| | Производные нужных для решения задач функций | |
| M9 | $y = at + b$ | $y' = a$ |
| M10 | $y = at^2 + bt + c$ | $y' = 2at + b$ |
| M11 | $y = y_m \cos \omega t$ | $y' = -\omega y_m \sin \omega t$ |
| M12 | $y = y_m \sin \omega t$ | $y' = \omega y_m \cos \omega t$ |
| M13 | $y = 2^t$ | $y' = 2^t \cdot \ln 2$ |
| M14 | $y = kx + b$ уравнение прямой | |
| M15 | $y = ax^2 + bx + c$ уравнение параболы | |
| M16 | $a)$ Площадь поверхности сферы радиуса $R$: $S = 4\pi R^2$<br>$b)$ шара радиуса $R$: $V = \dfrac{4}{3}\pi R^3$ | |

Основные постоянные

Гравитационная постоянная - $G = 6,672 \cdot 10^{-11}$ Н $\cdot$ м$^2$/кг$^2$

Скорость света в вакууме - $c$ = 2,99792$\cdot$10$^8$ м/с;  $c^2$=8,98752$\cdot$10$^{16}$ м$^2$/с$^2$

Постоянная Планка -

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с = $4,136 \cdot 10^{-15}$ эВ $\cdot$ с

$\hbar \equiv \dfrac{h}{2\pi} = 1,055 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с = $6,59 \cdot 10^{-16}$ эВ $\cdot$ с

Электрическая постоянная - $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$$

Постоянная Авагадро - $N_{\text{A}} = 6,022141 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$

Постоянная Больцмана - $k = 1,3807 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

Заряд электрона (модуль) - $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл

Масса электрона - $m_e = 9,1095 \cdot 10^{-31}$ кг = $5,486 \cdot 10^{-4}$ а.е.м.

1.5.Масса протона - $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг = 1,00728 а.е.м

Масса нейтрона - $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ кг =1,00867 а.е.м.

Масса $\alpha$-частицы $m_\alpha$ = 6.644656$\cdot$10$^{-27}$ кг = 4.00150 а.е.м

Масса ядра дейтерия $m_{\text{D}}$ = 2,014102 а. е. м.

Масса ядра трития $m_{\text{T}}$ = 3,016049 а. е. м

Производные от основных постоянных

Отношение модуля заряда электрона к его массе (удельный заряд электрона) –

$$\frac{e}{m_e} = e^* = 1,759 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг} \quad \left(m^* = \frac{m_e}{e} = 5,68 \cdot 10^{-12} \text{ кг / Кл}\right)$$

Отношение заряда протона к его массе - $\dfrac{e}{m_p} = e_p^* = 9,5779 \cdot 10^7$ Кл/кг

Постоянная Фарадея - $F = eN_{\text{A}} = 9,648 \cdot 10^4$ Кл/моль

Коэффициент связи массы и энергии -

$$c^2 = \frac{E}{m} = 8,9874 \cdot 10^{16} \text{ Дж/кг} = 931,5 \text{ МэВ/а.е.м.}$$

1 атомная единица массы (а.е.м.) $= 1,66057 \cdot 10^{-27}$ кг $= 931,5$ МэВ

$$1 \text{ а.е.м.} = \frac{1}{N_\text{А}(1 / \text{кмоль})} \text{ кг} = 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$1 \text{ кг} = 6,02 \cdot 10^{26} \text{ а.е.м.}$$

1 электрон-вольт (эВ) $= 1,60219 \cdot 10^{-19}$ Дж

1 Дж $= 6,24146 \cdot 10^{18}$ электрон-вольт (эВ)

$$1 \text{ МэВ} = 1,60219 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

Энергия покоя электрона -

$$E_{0e} = m_e c^2 = 8,187 \cdot 10^{-14} \text{ Дж} = 0,511 \text{ МэВ}$$

Энергия покоя протона -

$$E_{0p} = m_p c^2 = 1,503 \cdot 10^{-10} \text{ Дж} = 938,26 \text{ МэВ}$$

Энергия покоя нейтрона-

$$E_{0n} = m_n c^2 = 1,505 \cdot 10^{-10} \text{ Дж} = 939,55 \text{ МэВ}$$

Энергия покоя $\alpha$-частицы - $E_{0\alpha} = m_\alpha c^2 = 3,72738$ ГэВ