

Лекция №1. Физические величины. Кинематика. УК5-20-1

ПЛАН: Физические величины, единицы измерения физических величин; стандартный вид числа, десятичные приставки, переводы. Кинематика: РПД, РУПД, свободное падение, вращательное движение, графическое представление движения.

1. Физические величины

Физика – наука о наиболее простых и вместе с тем наиболее общих формах движения материи и их взаимных превращениях. Изучаемые физикой формы движения материи (механическая, тепловая и пр.) присутствуют во всех высших и более сложных формах движения материи (химических, биологических и др.).

Основным методом исследования в физике является *опыт* – основанное на практике чувственно-эмпирическое познание объективной действительности, т.е. наблюдение исследуемых явлений в точно учитываемых условиях, позволяющих следить за ходом явления и многократно воспроизводить его при повторении этих условий.

Для объяснения экспериментальных данных выдвигаются гипотезы. *Гипотеза* – это научное предположение, позволяющее уяснить сущность происходящих явлений и требующее проверки на опыте и теоретического обоснования для того, чтобы стать достоверной научной теорией. В результате обобщения экспериментальных данных, а также накопленного опыта людей устанавливаются *физические законы*.

Физический закон – устойчивые повторяющиеся объективные закономерности, существующие в природе. Открытые человечеством физические законы представляют из себя эмпирически установленные и выраженные в строгой словесной и/или математической формулировке устойчивые, повторяющиеся в эксперименте связи между физическими величинами в явлениях, процессах и состояниях тел и других материальных объектов в окружающем мире

Измерение физической величины есть действие, выполняемое с помощью средств измерений для нахождения значения физической величины в принятых единицах.

Любая физическая величина характеризуется: физическим смыслом (значением), единицей измерения, а также буквенным обозначением (используются строчные и прописные латинские и греческие буквы).

Единицы физических величин можно выбрать произвольно, но тогда возникнут трудности при их сравнении. Поэтому целесообразно ввести систему единиц, охватывающую единицы всех физических величин. Для построения системы единиц произвольно выбирают единицы для нескольких не зависящих друг от друга физических величин. Эти единицы называются *основными*. Остальные же единицы, называемые *производными*, выводятся из физических законов, связывающих их с основными единицами.

В научной, а также в учебной литературе обязательна к применению Система интернациональная (*СИ*), которая строится на семи основных единицах – метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль, кандела – и двух дополнительных – радиан и стерадиан.

Основные физические величины, рассматриваемые в этом семестре физики представлены в таблице 1.

Скалярные физические величины характеризуются только своим численным значением.

Векторные физические величины характеризуются своим численным значением (модулем), а также направлением. К векторным величинам применяются все стандартные математические операции работы с векторами.

Таблица 1. Основные физические величины. Механика. Электричество и магнетизм.

Название	Обозначение	Единицы измерения	Определение	Основная формула
МЕХАНИКА				
Путь	S	м, см, км	Длина участка траектории, по которой движется тело. Скаляр.	
Перемещение	\mathbf{S}	м, см, км	Вектор, соединяющий начальную и конечную точки движения.	
Время	t	с, мин, ч	Фундаментальная физическая величина. Продолжительность события. Скаляр.	
Скорость	\mathbf{v}	м/с, км/ч	Векторная физическая величина, характеризующая быстроту перемещения и направление движения материальной точки в пространстве относительно выбранной системы отсчёта.	$v = \frac{dS}{dt}$
Ускорение	\mathbf{a}	м/с ² (метр на секунду в квадрате)	Векторная физическая величина, характеризующая быстроту изменения скорости тела. Направление ускорения определяется направлением действующей на тело силы (или равнодействующей нескольких сил).	$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}$
Сила	\mathbf{F}	Н (ньютон)	Векторная физическая величина, являющаяся мерой интенсивности воздействия на данное тело других тел, а также полей. Приложенная к массивному телу сила является причиной изменения его скорости или возникновения в нём деформаций и напряжений	$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$ (!Второй закон Ньютона!)
Момент силы	\mathbf{M}	Н·м	Векторная физическая величина, равная векторному произведению радиус-вектора (проведённого от оси вращения к точке приложения силы — по определению), на вектор этой силы. Характеризует вращательное действие силы на твёрдое тело.	$\mathbf{M} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{r}$
Масса	m	кг, г	Скалярная физическая величина, одна из важнейших величин в физике. Является с одной стороны мерой инертности тел, с другой стороны мерой их гравитационного взаимодействия.	
Импульс	\mathbf{p}	кг·м/с	Векторная физическая величина, являющаяся мерой механического движения тела. В классической механике импульс тела равен произведению массы m этого тела на его скорость v . Направление импульса совпадает с направлением вектора скорости:	$\mathbf{p} = m \cdot \mathbf{v}$
Угловая скорость	$\boldsymbol{\omega}$	рад/с (радиан в секунду)	Векторная физическая величина, характеризующая скорость вращения материальной точки вокруг центра вращения. Вектор угловой скорости по величине равен углу поворота точки вокруг центра вращения в единицу времени. (в теории колебаний обозначается как <i>циклическая частота</i>)	$\boldsymbol{\omega} = \frac{d\varphi}{dt}$
Угловое ускорение	$\boldsymbol{\varepsilon}$	рад/с ²	Векторная физическая величина, характеризующая быстроту изменения угловой скорости тела.	$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt}$
Период колебаний (вращения)	T	с, мин, ч	Характеристика периодических процессов. Наименьший промежуток времени, за который материальная точка (тело, осциллятор) совершает одно полное колебание (то есть возвращается в то же состояние, в котором находилась в первоначальный момент времени). Скаляр.	$T = \frac{t}{N}$
Частота колебаний (вращения)	ν	с ⁻¹ , Гц (герц)	Физическая величина, характеристика периодического процесса, равная числу полных циклов, совершённых за единицу времени. Скаляр.	$\nu = \frac{N}{t}$
Момент инерции	I	кг·м ²	Момент инерции — скалярная (в общем случае — тензорная) физическая величина, мера инертности во вращательном движении вокруг оси, подобно тому, как масса тела является мерой его инертности в поступательном движении. Характеризуется распределением масс в теле: момент инерции равен сумме произведений элементарных масс на квадрат их расстояний до базового множества (точки, прямой или плоскости).	$I = m \cdot r^2$
Момент импульса	\mathbf{L}	кг·м ² /с	Векторная физическая величина, зависящая от того, сколько массы вращается, как она распределена относительно оси вращения и с какой скоростью происходит вращение, характеризует количество вращательного движения.	$\mathbf{L} = \mathbf{r} \cdot \mathbf{p}$
Давление	p	Па (паскаль), мм.рт.ст.	Скалярная физическая величина, численно равная силе, действующей на единицу площади поверхности перпендикулярно этой поверхности.	$p = \frac{F}{S}$

Работа	A	Дж (джоуль)	Скалярная физическая величина. В механике определяется как количественная мера действия силы на тело.	$A = FScos\alpha$
Мощность	P, N	Вт (ватт)	Скалярная физическая величина, равная отношению работы ко времени, за которое она была совершена. Характеризует быстроту совершения работы, а также быстроту выработки (или потребления) энергии.	$N = \frac{A}{t}$
Энергия	E, W	Дж (джоуль)	Скалярная физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения и взаимодействия материи, мерой перехода движения материи из одних форм в другие. Введение понятия энергии удобно тем, что в случае, если физическая система является замкнутой, то её энергия сохраняется во времени. Это утверждение носит название закона сохранения энергии . Энергия является мерой способности физической системы совершить работу, поэтому количественно энергия и работа выражаются в одних единицах.	В любых явлениях природы энергия не возникает из ниоткуда и не исчезает в никуда. Она переходит из одного типа в другой (закон сохранения энергии).
КПД (коэффициент полезного действия)	η (эта)	проценты либо безразмерная величина	Характеристика эффективности системы (устройства, машины) в отношении преобразования или передачи энергии. Определяется отношением полезно использованной энергии к суммарному количеству энергии, полученному системой. В силу закона сохранения энергии КПД всегда меньше единицы (меньше 100%) или равен ей, то есть невозможно получить полезной работы больше, чем затрачено энергии. Скаляр.	$\eta = \frac{A_{полез}}{A_{затр}} \cdot 100\%$

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Название	Обозначение	Единицы измерения	Определение	Основная формула
Электрический заряд	q	Кл (кулон)	Скалярная физическая величина, определяющая способность тел быть источником электромагнитных полей и принимать участие в электромагнитном взаимодействии.	
Напряженность электрического поля	E	В/м (вольт на метр)	Векторная физическая величина, силовая характеристика электрического поля, численно равная отношению силы, действующей на неподвижный пробный заряд, помещенный в данную точку поля, к величине этого заряда	$E = \frac{Fq}{q}$
Потенциал	ϕ	В (вольт)	Энергетическая характеристика электростатического поля. Характеризует потенциальную энергию поля, которой обладает единичный заряд, помещенный в данную точку поля. Скаляр.	$\phi = \frac{Wq}{q}$
Электрическая емкость (электроемкость)	C	Ф (фарад)	Характеристика проводника, мера его способности накапливать электрический заряд. Скаляр.	$C = \frac{Q}{U}$
Сила тока	I	А (ампер)	Скалярная физическая величина, равная отношению количества заряда, прошедшего за некоторое время через поперечное сечение проводника, к величине этого промежутка времени.	$I = \frac{Q}{t}$
Напряжение	U	В (вольт)	Скалярная физическая величина, равная отношению работы электрического поля, совершаемой при переносе пробного электрического заряда из одной точки в другую, к величине этого заряда.	$U = \frac{A_{эл}}{q}$
Сопротивление	R	Ом	Скалярная физическая величина, характеризующая свойства проводника препятствовать прохождению электрического тока и равная отношению напряжения на концах проводника к силе тока, протекающего по нему.	$R = \frac{U}{I}$
ЭДС (электродвижущая сила)	ϵ	В (вольт)	Скалярная физическая величина, характеризующая работу сторонних (непотенциальных) сил в источниках постоянного или переменного тока.	$\epsilon = \frac{A_{стор}}{q}$
Вектор магнитной индукции	B	Тл (тесла)	Векторная физическая величина, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля в данной точке пространства. Она показывает, с какой силой магнитное поле действует на заряд, движущийся в этом поле с некоторой скоростью.	$F = qvB \sin \alpha$
Магнитный поток	Φ	Вб (вебер)	Поток вектора магнитной индукции через конечную поверхность. Скаляр.	$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$

2. Работа с единицами измерения

Для удобства записи численных значений физических величин используются десятичные приставки. С помощью десятичных приставок можно сократить количество нулей в записи чисел.

Кратные единицы

Десятичный множитель	Приставка		Обозначение		Пример
	русская	международная	русское	международное	
10^1	<u>дека</u>	deca	да	da	дал — <u>декалитр</u>
10^2	<u>гекто</u>	hecto	г	h	гПа — <u>гектопаскаль</u>
10^3	<u>кило</u>	kilo	к	k	кН — <u>килоньютон</u>
10^6	<u>мега</u>	mega	М	M	МПа — <u>мегапаскаль</u>
10^9	<u>гига</u>	giga	Г	G	ГГц — <u>гигагерц</u>
10^{12}	<u>тера</u>	tera	Т	T	ТВ — <u>теравольт</u>
10^{15}	<u>пета</u>	peta	П	P	Пфлопс — <u>петафлопс</u>
10^{18}	<u>экса</u>	exa	Э	E	Эм — <u>эксаметр</u>
10^{21}	<u>зетта</u>	zetta	З	Z	ЗэВ — <u>зеттаэлектронвольт</u>
10^{24}	<u>иотта</u>	yotta	И	Y	Иг — <u>иоттаграмм</u>

Дольные единицы

Десятичный множитель	Приставка		Обозначение		Пример
	русская	международная	русское	международное	
10^{-1}	<u>деци</u>	deci	д	d	дм — дециметр
10^{-2}	<u>санци</u>	centi	с	c	см — <u>сантиметр</u>
10^{-3}	<u>милли</u>	milli	м	m	мН — милли <u>ньютон</u>
10^{-6}	<u>микро</u>	micro	мк	<u>μ</u>	мкм — микрометр
10^{-9}	<u>нано</u>	nano	н	n	нм — нанометр
10^{-12}	<u>пико</u>	pico	п	p	пФ — пикофарад
10^{-15}	<u>фемто</u>	femto	ф	f	фл — фемтолитр
10^{-18}	<u>атто</u>	atto	а	a	ас — аттосекунда
10^{-21}	<u>зепто</u>	zepto	з	z	зКл — зептокулон
10^{-24}	<u>иокто</u>	yocto	и	y	иг — иоктограмм

Памятка. Работа со степенями

$$1^\circ \quad a^m a^n = a^{m+n};$$

$$2^\circ \quad a^m / a^n = a^{m-n};$$

$$3^\circ \quad (ab)^n = a^n b^n;$$

$$4^\circ \quad (a^m)^n = a^{mn};$$

$$5^\circ \quad (a/b)^n = a^n / b^n.$$

3. Примеры переводов единиц измерений.

Задание№1: внесистемная единица мощности – лошадиная сила. Одна лошадиная сила примерно равна 735,5 Вт. Определите, какую мощность (в киловаттах) развивает двигатель автомобиля в 200 л.с.

Решение: Помножив 200 л.с. на значение одной лошадиной силы, получим ответ в ваттах. После этого поделим на тысячу, чтобы перевести в киловатты:

$$P = 200 \text{ л.с.} \cdot 735,5 \text{ Вт} = 147100 \text{ Вт} = 147,1 \text{ кВт.}$$

Задание№2: Давление, которое оказывает газ на стенки баллона, равно $p = 200$ кПа. Переведите это величину в мегапаскали.

Решение: Приставка «кило» соответствует множителю $10^3 = 1000$. Приставка «мега» соответствует множителю $10^6 = 1000000$. Таким образом, перевод из кПа в МПа можно осуществить делением на тысячу:

$$p = 200 \text{ кПа} = 200 : 1000 = 0,2 \text{ МПа}$$

Задание№3: Сила тока в проводнике равна $I = 0,65$ А. Переведите это значение в миллиамперы (мА).

Решение: Приставка «милли» означает $10^{-3} = 0,001$. Из ампер в миллиамперы переведем, помножив на 1000:

$$I = 0,65 \text{ А} = 0,65 \cdot 1000 = 650 \text{ мА.}$$

Задание№4: Трактор развивает тяговое усилие (силу тяги) $F = 6 \cdot 10^4$ Н. Переведите это значение в килоньютоны (кН).

Решение: Перевод из ньютонов в килоньютоны означает деление на 1000. Получим:

$$F = 6 \cdot 10^4 \text{ Н} = 6 \cdot 10^4 : 10^3 = 6 \cdot 10 \text{ кН} = 60 \text{ кН.}$$

Задание№5: Плотность бензола равна $\rho = 910$ кг/м³. Переведите это значение в г/см³.

Решение: $1 \text{ кг} = 10^3 \text{ г}$, а $1 \text{ м}^3 = 10^6 \text{ см}^3$. Получим:

$$\rho = 910 \text{ кг/м}^3 = 910 \cdot 10^3 : 10^6 = 910 \cdot 10^{-3} = 0,91 \text{ г/см}^3.$$

Задание№6: Скорость автомобиля равна $v = 126$ км/ч. Переведите эту скорость в м/с.

Решение: $1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$, а $1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$. Получим:

$$v = 126 \text{ км/ч} = 126 \cdot 1000 : 3600 = 35 \text{ м/с.}$$

(из соображений удобства при переводе скорости из км/ч в м/с исходное значение можно сразу делить на 3,6)

Задание№7: Электрическая мощность российской плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов» составляет 70 МВт. Выразите это число в кВт и в ГВт.

Задание№8: Частота вращения шлифовального круга $\nu = 45$ об/мин. Выразите эту величину в герцах (Гц).

Задание№9: внесистемная единица измерения давления – бар. Давление в 1 бар примерно равно стандартному атмосферному давлению (100 кПа). Выразите давление $p = 3$ бар в килопаскалях (кПа), мегапаскалях (МПа) и в стандартном виде.

Задание№10: Электрическое напряжение $U = 0,035$ В. Выразите эту величину в милливольтгах (мВ).

4. КИНЕМАТИКА

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ		
Формула	Определение	Единицы измерения
$v = S/t$	скорость тела при равномерном движении (РПД!)	$[v] = \text{м/с}$ (метр в секунду) направление по касательной!
$v_x = (x-x_0)/t$	Проекция скорости	
$v = \frac{dS}{dt}$	мгновенная скорость (производная от пройденного пути по времени)	
$a = (v - v_0)/t$	ускорение тела при равноускоренном (равнозамедленном) движении	$[a] = \text{м/с}^2$ (метр в секунду за секунду)
$v = v_0 + at$	Уравнение скорости при РУПД	
$S = v_0t + at^2/2$ $S = (v^2 - v_0^2)/(2a)$	Пройденный путь при равнопеременном прямолинейном движении	
$\omega = \varphi / t$	угловая скорость тела при равномерном движении по окружности	$[\omega] = \text{рад/с}$ (радиан в секунду)
$\bar{\omega} = \frac{d\bar{\varphi}}{dt}$	Мгновенная угловая скорость	
$v = \omega \cdot R$	Связь между линейной скоростью и угловой скоростью	
$T = t/N$	Период вращения (время, за которое тело совершает один оборот)	$[T] = \text{с}$ (секунда)
$\omega = \frac{2\pi}{T}$	Связь между угловой скоростью и периодом вращения	
$v = 2\pi R / T$	Связь линейной скорости и периода вращения	
$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$	Частота вращения (число оборотов в единицу времени)	$[\nu] = 1/\text{с} = \text{Гц}$ (оборот в секунду, герц)
$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(\omega R)^2}{R} = \omega^2 R$	Центростремительное (нормальное) ускорение	
$\rho = m/V$	Плотность вещества. V – объем; m – масса.	$[\rho] = \text{кг/м}^3$ (килограмм на кубический метр)

Если тело за равные промежутки времени проходит равные отрезки пути, то про такое тело говорят, что оно движется **равномерно**. В случае РПД скорость тела можно найти как отношение пройденного пути ко времени:

$$v = S/t$$

Если тело в процессе своего движения равномерно увеличивает (уменьшает) скорость, то такое движение называют **равноускоренным (равнозамедленным)**. В этом случае ускорение тела является постоянной величиной и вычисляется по формуле:

$$a = (v - v_0)/t,$$

где v_0 и v – скорости тела в начальный и конечный моменты движения соответственно. Из этой формулы можно получить уравнение скорости:

$$v = v_0 + at$$

Пройденный путь при равнопеременном прямолинейном движении можно вычислить по следующим формулам:

$$S = v_0t + at^2/2$$

$$S = (v^2 - v_0^2)/(2a)$$

Если $\vec{\omega} = const$, то вращение равномерное, и его можно охарактеризовать **периодом вращения T** – временем, за которое точка совершает один полный оборот, т.е. радиус поворачивается на угол 2π :

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (1.20)$$

Линейную скорость также можно связать с периодом: $v = 2\pi R/T$;

Число полных оборотов, совершаемых телом при равномерном его движении по окружности в единицу времени, называется **частотой вращения** (n или ν):

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}. \quad (1.21)$$

5. Кинематика. Примеры решения задач.

Пример №1

Какой путь пройдет за $t = 2$ ч автомобиль, если будет двигаться с постоянной скоростью $V = 25$ м/с?

Решение:

1) Переведем все единицы измерения в СИ: $t = 2$ ч = $2 \cdot 3600 = 7200$ с

2) Путь при равномерном движении:

$$S = V \cdot t = 25 \cdot 7200 = 180000 \text{ м} = 180 \text{ км}$$

Пример №2

Какой путь пройдет свободно падающая без начальной скорости дождевая капля а) за первые 3 секунды; б) за 5-ю секунду падения.

Решение:

1) Свободное падение – частный случай равноускоренного движения ($a = g = 10$ м/с²). Путь за $t = 3$ с найдем по формуле:

$$S = V_0 \cdot t + a \cdot t^2/2 = 0 \cdot t + 10 \cdot 3^2/2 = 5 \cdot 9 = 45 \text{ м}.$$

Путь S_5 , пройденный каплей за 5-ю секунду найдем так: сначала вычислим путь $S(5)$ за первые 5 секунд, потом $S(4)$ за первые 4 секунды, потом найдем их разность:

$$S(5) = at^2/2 = 10 \cdot 5^2/2 = 125 \text{ м}$$

$$S(4) = 10 \cdot 4^2/2 = 80 \text{ м}$$

$$S_5 = 125 - 90 = 35 \text{ м.}$$

Пример №3

Материальная точка движется по окружности радиуса $R = 20$ см с постоянной скоростью 5 м/с. Определите: а) период вращения точки; б) угловую скорость точки.

Решение:

1) Переведем радиус окружности в СИ: $R = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$.

2) Период вращения найдем по формуле:

$$T = 2\pi R/v = (2 \cdot 3,14 \cdot 0,2)/5 \approx 0,25 \text{ с.}$$

3) Угловую скорость найдем через период:

$$\omega = 2\pi/T = 2 \cdot 3,14/0,25 = 25,12 \text{ рад/с.}$$

4. Кто едет быстрее: автомобиль со скоростью 50 км/ч или мотоциклист со скоростью 20 м/с?

5. Спорткар едет по круговой траектории радиусом 100 м с постоянной скоростью 25 м/с. Определите: 1) центростремительное ускорение a_n ; 2) период T .

6. Автомобиль трогается с места без начальной скорости с ускорением 2 м/с². Какой путь он пройдет за первые $0,5$ минуты своего движения? Какую скорость разовьет в конце этого промежутка?

7. Капля воды падает с высоты 40 м. Через какое время капля долетит до земли? Какую скорость она будет иметь в момент падения (без учета сопротивления воздуха)?

8. Водяной счетчик показывает объемный расход воды $Q = 20$ л/ч.

Определите, какие объем V и масса m воды израсходуются за 5 часов при постоянном расходе. Плотность воды $\rho = 1000$ кг/м³. ($1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$)