

Методическое пособие
для факультативных занятий по физике

«РАЗМЕРНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ПОДОБИЕ ЯВЛЕНИЙ»

Разработано учащимися 10-х классов ГБОУ Школы № 1101 г. Москвы

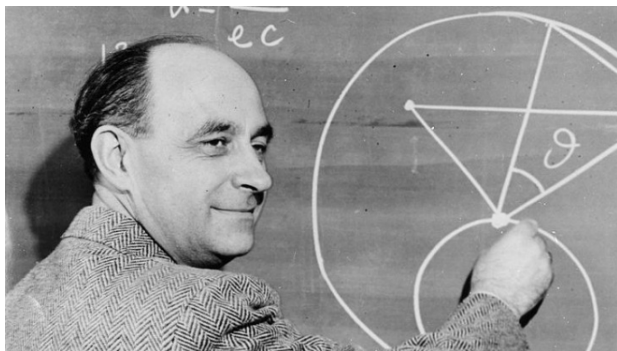
Владимир Изотов, Валерия Вичикова, Каринэ Маркарьян

под руководством учителя физики
Илюхин С.С.

город Москва

2015 год

МЕТОД АНАЛИЗА РАЗМЕРНОСТЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН



«В физике... нет места для путанных мыслей... действительно понимающие природу того или иного явления должны получать основные законы из соображений размерности».

Энрико Ферми

Тому, кто хочет серьезно заниматься физикой, нужно, прежде всего, научиться делать оценку. Метод размерностей – самый распространенный метод физических оценок. Исследователь «почти из ничего» получает правильные оценки масштабов исследуемых явлений или создает (на основе предварительных оценок) первый «портрет» своей будущей экспериментальной установки. Метод анализа размерностей физических величин – изящный и мощный инструмент для предварительного исследования физических явлений, позволяющий получать очень непростые физические закономерности.

Анализ размерностей применяется в физике еще со времен Ньютона [1]. Именно Ньютон сформулировал тесно связанный с методом размерностей принцип подобия, который заключается в том, что отношение v^2/S прямо пропорционально отношению F/m . Нетрудно самостоятельно убедиться в справедливости этого утверждения, заметив, что эти отношения имеют одинаковую размерность ускорения. Впервые метод анализа размерностей методически изложен был Н. А. Морозовым в монографии «Основы качественного физико-математического анализа и новые физические факторы, обнаруживаемые им в различных явлениях природы» (1908 г.) [2], однако последовательное и обоснованное использование метода размерностей получило распространение после работ Э. Бакингема [3].

Сущность метода заключается в установлении функциональной зависимости между физическими величинами, определяющими протекание данного физического процесса. Именно поэтому, использование его на уроках физики способствует развитию мышления учащихся, стимулирует их к углубленному, творческому изучению предмета.

При решении задач школьного курса он особенно полезен тогда, когда требуется получить не исчерпывающее решение, а только установить характер зависимости неизвестной величины от какого-либо параметра, например, выяснить, во сколько раз она изменится, если этот параметр изменить, скажем, в полтора раза. Прежде, чем мы покажем в каких именно случаях удобно применять данный метод, необходимо прояснить разницу между понятиями единица измерения и размерность физической величины.

Физические величины измеряются в определенных единицах. Например, длина выражается в метрах, сантиметрах, миллиметрах и т.д. Размерность отражает качественную определенность данной физической величины. Символы м, с, °С указывают на единицы, в которых измерены перечисленные величины, и одновременно указывают на характер этих величин – длина, время, температура. Желая сказать, что длина измеряется в м, иногда говорят, что размерностью длины является [м]. Для обозначения размерности какой-либо величины «а» пользуются символом [а]. Понятие размерности физической величины было введено Максвеллом, который и предложил символ размерности в виде квадратных скобок. Уже на 5-ой странице трактата Максвелла «Электричество и магнетизм» он показывает переход к двум независимым размерным величинам к длине и времени.

Использование функциональных, определяющих соотношений между основными и производными величинами позволяет установить размерности производных величин. Например, размерность скорости определяется так:

$$v = \frac{\Delta l}{\Delta t},$$

откуда $[v] = l \cdot t^{-1} = \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$. Помимо размерных величин в физике используются и безразмерные величины, например, отношение двух длин, относительная деформация и т.п.

Обратим ваше внимание на различие понятий «размерность» и «единица измерения физической величины», которые часто отождествляются учащимися. Размерность данной физической величины, например ДЛИНА, единственная, она отражает характер данной физической величины, а единицы измерения могут быть у нее самые разнообразные – метры, ярды, мили, дюймы, ангстремы и т.д.

В связи с тем, что в школах в качестве основной системы физических величин изучается Система Интернациональная (о том, оправдано это или нет, читайте статью [4]), то разбор всех задач мы будем вести с использованием единиц СИ, размерность физической величины будем отождествлять с ее единицей измерения в СИ, например, для скорости $[v] = \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Таблица. Размерности физических величин в Международной системе единиц (СИ) [5].

Название и обозначение величины	Единица измерения	Обозначение		Формула	Показатели степени						
		русское	международное		м	кг	с	А	К	кд	
Длина	L метр	м	m	L	1						
Масса	m килограмм	кг	kg	m		1					
Время	t секунда	с	s	t			1				
Сила электрического тока	I ампер	А	A	I				1			
Термодинамическая температура	T кельвин	К	K	T					1		
Сила света	I _v кандела	кд	cd	J							1
Площадь	S кв. метр	м ²	m ²	S	2						
Объем	V куб. метр	м ³	m ³	V	3						
Частота	f герц	Гц	Hz	f = 1/t			-1				
Скорость	v	м/с	m/s	v = dL/dt	1		-1				
Ускорение	a	м/с ²	m/s ²	ε = d ² L/dt ²	1		-2				
Плоский угол	φ	рад	rad	φ							
Угловая скорость	ω	рад/с	rad/s	ω = dφ/dt			-1				
Угловое ускорение	ε	рад/с ²	rad/s ²	ε = d ² φ/dt ²			-2				
Сила	F ньютон	Н	N	F = ma	1	1	-2				
Давление	P паскаль	Па	Pa	P = F/S	-1	1	-2				
Работа, энергия	A джоуль	Дж	J	A = F·L	2	1	-2				
Импульс	p	кг·м/с	kg·m/s	p = m·v	1	1	-1				
Мощность	N ватт	Вт	W	N = A/t	2	1	-3				
Электрический заряд	q кулон	Кл	C	q = I·t			1	1			
Электрическое напряжение, электрический потенциал	U вольт	В	V	U = A/q	2	1	-3	-1			
Напряжённость электрического поля	E	В/м	V/m	E = U/L	1	1	-3	-1			
Электрическое сопротивление	R ом	Ом	Ω	R = U/I	2	1	-3	-2			
Электрическая ёмкость	C фарад	Ф	F	C = q/U	-2	-1	4	2			
Магнитная индукция	B тесла	Тл	T	B = F/I·L		1	-2	-1			
Напряжённость магнитного поля	H	А/м	A/m		-1			1			
Магнитный поток	Φ вебер	Вб	Wb	Φ = B·S	2	1	-2	-1			
Индуктивность	L генри	Гн	H	L = U·dt/dI	2	1	-2	-2			

Для решения задач методом анализа размерностей нам потребуются некоторые теоремы и определения [6,7]. Очевидно, что размерность произведения (отношения) равна произведению (отношению) размерностей:

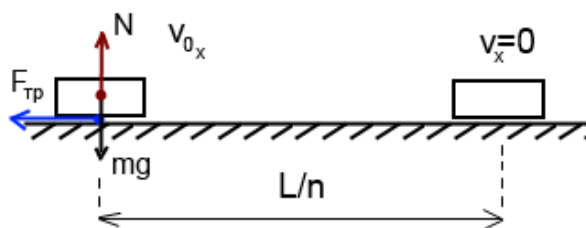
$$\text{если } x = A \cdot B, \text{ то } [x] = [A] \cdot [B]$$

$$\text{или если } x = \frac{A}{B}, \text{ то } [x] = \frac{[A]}{[B]}$$

Последние равенства устанавливают также, что размерности обеих частей равенства, связывающего физические величины, одинаковы. Это свойство физических формул называется однородностью. Отсюда следует, что при выполнении соотношения $A = B + C$, справедливо следующее равенство размерностей $[A] = [B] + [C]$, что выражает известное правило: складывать или вычитать в физике можно только однородные величины. Таким образом складывать $2 \text{ кг} + 3 \text{ м}$ в корне не верно!

Большинство формул школьного курса физики имеют вид степенных выражений, и при составлении формул размерностей необходимо и достаточно пользоваться сформулированными выше положениями. При решении задач методом размерностей руководствуются следующим важным правилом [6,7]: **при составлении соотношения между физическими величинами, определяющими данный процесс, их число в самом простом случае может превышать число основных физических величин, используемых при решении задачи, не более чем на единицу.** Только при выполнении этого требования составленное степенное соотношение будет единственным.

ПРИМЕР 1. ДЛИНА АВТОКОЛОННЫ. Задача №2 вступительного задания ЗФТШ при МФТИ 2014-2015 учебного года school.mipt.ru: «Колонна автомобилей движется по шоссе со скоростью $v_1 = 60 \text{ км/ч}$. Длина колонны (расстояние по шоссе от первого автомобиля до последнего) составляет $L_1 = 150 \text{ м}$. По пути следования колонне встречается аварийный участок дороги, протяжённость которого значительно больше длины колонны. Попав на него, каждый автомобиль, поддерживая безопасный интервал, быстро снижает скорость до $v_2 = 40 \text{ км/ч}$. Определите длину колонны на аварийном участке дороги.»



I способ решения: Безопасный интервал – это тормозной путь автомобиля. Пусть n автомобилей в колонне, тогда безопасный интервал составляет $\frac{L}{n}$. Учитывая, что во время торможения на автомобиль действуют силы трения $F_{\text{тр}}$, тяжести $F_{\text{тяж}} = m \cdot g$ и сила реакции опоры N , запишем II закон Ньютона в проекциях на горизонтальное и вертикальное направление: $m \cdot a_x = -F_{\text{тр}}$; $0 = N - m \cdot g$. Учитывая закон Амонтона-Кулона: $F_{\text{тр}} = \mu N$, где μ – это коэффициент трения, получим из этих трех уравнений выражение для ускорения при торможении автомобиля: $a_x = -\mu g$. С другой стороны воспользуемся кинематическим соотношением, так называемой «формулой пути без времени», $a_x = \frac{v_x^2 - v_{0,x}^2}{2S_x}$, где для нашей

задачи: $S_x = \frac{L}{n}$, $v_x = 0$ в конце тормозного пути, v_{0x} - это скорость перед началом торможением, в нашей задаче это $v_1 = 60 \text{ км/ч}$ и $v_2 = 40 \text{ км/ч}$. Приравняв соотношений для ускорений, получим выражение для длины автоколонны в зависимости от скорости движения: $L = \frac{n \cdot v_{0x}^2}{2\mu g}$. Таким образом, при изменении скорости длина автоколонны станет

$$L_2 = \frac{v_{02x}^2}{v_{01x}^2} \cdot L_1 = \frac{(40 \frac{\text{км}}{\text{ч}})^2}{(60 \frac{\text{км}}{\text{ч}})^2} \cdot 150 \text{ м} \approx 66,7 \text{ м}.$$

II способ решения: Применим метод анализа размерностей. Предположим зависимость длины автоколонны L от начальной скорости (дана в условии задачи), от ускорения свободного падения (входит в выражение для силы трения):

$$L(v_0, g) = \text{const} \cdot v_{0x}^a \cdot g^b$$

Далее определяем значения показателей степеней, заменяя физические величины их размерностями (единицами измерения в СИ):

$$[\text{м}] = [\frac{\text{м}}{\text{с}}]^a \cdot [\frac{\text{м}}{\text{с}^2}]^b$$

Составляем уравнения для показателей степеней: $\begin{cases} 1 = a + b \\ 0 = -a - 2b \end{cases}$, откуда: $\begin{cases} a = 2 \\ b = -1 \end{cases}$. Значит, $L =$

$$\text{const} \cdot \frac{v_{0x}^2}{g}. \text{ Таким образом, при изменении скорости длина автоколонны станет } L_2 = \frac{v_{02x}^2}{v_{01x}^2} \cdot L_1 = \frac{(40 \frac{\text{км}}{\text{ч}})^2}{(60 \frac{\text{км}}{\text{ч}})^2} \cdot 150 \text{ м} \approx 66,7 \text{ м}.$$

В заключение: 1) Зависимость длины автоколонны от ускорения свободного падения не очевидна, но проанализировав размерности величин (их единицы измерения в СИ) L и v_{0x} можно обнаружить, что необходима физическая величина содержащая размерность времени. Время торможения t неудачный выбор, поскольку движение явно неравномерное. Поэтому выбор должен быть в пользу ускорения, а дальше конечно необходимо учесть, что сила трения определяет изменение скорости при торможении автомобиля, а $F_{\text{тр}}$ зависит от g .

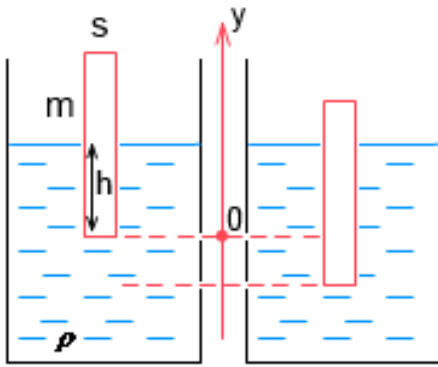
2) Стоит отметить, что эта задача предлагалась 7-классникам, которым проще объяснить, что ускорение есть изменение скорости со временем, чем объяснять весь курс кинематики и динамики.

ПРИМЕР 2. АРЕОМЕТР. Задача 8.167 сборника задач для школьников и поступающих в ВУЗы [8]. *Найти период малых колебаний ареометра массой m в жидкости плотностью ρ . Ареометр представляет собой закрытую трубку с площадью поперечного сечения S . При погружении в жидкость он плавает так, что трубка располагается вертикально. Надавливая на верхний конец трубки, плавающий ареометр выводят из положения равновесия, после чего он начинает колебаться. Какова длина математического маятника с тем же периодом колебаний?*

I способ решения: В положении равновесия сила тяжести равна силе Архимеда:

$$m \cdot g = g \cdot \rho \cdot S \cdot h.$$

В случае смещения ареометра вертикально вниз на величину «у» от положения равновесия:



$$m \cdot a_y = g \cdot \rho \cdot S \cdot (h - y) - m \cdot g = -g \cdot \rho \cdot S \cdot y$$

$$a_y = -\frac{g \cdot \rho \cdot S}{m} y$$

Видим, что ускорение тела пропорционально смещению тела от положения равновесия со знаком минус – это уравнение гармонических колебаний, то, что стоит перед смещением является квадратом циклической частоты гармонических колебаний. Тогда циклическая частота колебаний равна: $\omega = \sqrt{\frac{g \cdot \rho \cdot S}{m}}$, откуда определяем период

гармонических колебаний ареометра: $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{g \cdot \rho \cdot S}}$. Зная, что период колебаний

математического маятника $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, находим длину математического маятника, у

которого тот же период, что у ареометра: $l = \frac{m}{\rho S}$.

II способ решения: Зная, что сила тяжести $F_{\text{тяж}} = m \cdot g$ и сила Архимеда $F_A = g \cdot \rho \cdot S \cdot h$, предположим зависимость периода колебаний T от массы ареометра m , плотности жидкости ρ , сечения трубки S и ускорения свободного падения g :

$$T(S \cdot m \cdot \rho \cdot g) = \text{const} \cdot S^a \cdot m^b \cdot \rho^c \cdot g^d$$

Далее определяем значения показателей степеней, заменяя физические величины их размерностями (единицами измерения в СИ):

$$[c] = [M^2]^a \cdot [kg]^b \cdot \left[\frac{K^2}{M^3}\right]^c \cdot \left[\frac{M}{c^2}\right]^d$$

Составляем уравнения для показателей степеней:

$$\begin{cases} 1 = -2d \text{ (секунды)} \\ 0 = 2a - 3c + d \text{ (метры)}, \text{ откуда} \\ 0 = b + c \text{ (килограммы)} \end{cases} \begin{cases} d = -\frac{1}{2} \\ a = \frac{3c - d}{2} = \frac{-3b - d}{2} = -\frac{3}{2}b + \frac{1}{4} \\ c = -b \end{cases}$$

Учитывая, что период колебаний математического маятника $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, а показатель степени у нас получился $d = -\frac{1}{2}$ (т.е. g – в формуле периода колебаний ареометра тоже под корнем в знаменателе дроби) предположим, что $b = \frac{1}{2}$ (для того чтобы была коренная

зависимость), тогда $\begin{cases} d = -\frac{1}{2} \\ b = \frac{1}{2} \\ a = -\frac{1}{2} \\ c = -\frac{1}{2} \end{cases}$. Значит период колебаний ареометра $T = \text{const} \cdot \sqrt{\frac{m}{g \rho S}}$. По всей

вероятности, $\text{const} = 2\pi$. Зная, что период колебаний математического маятника $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, находим длину математического маятника, у которого тот же период, что у ареометра:
$$l = \frac{m}{\rho S}.$$

В заключение: 1) При решении методом анализа размерностей можно было воспользоваться тем, что показатели степеней у плотности жидкости и сечения трубки должны быть одинаковыми, т.к. эти величины входят в одинаковых степенях в формулу $F_A = g \cdot \rho \cdot S \cdot h$, тогда получилось бы три уравнения для трех неизвестных и система имела бы единственное решение.

2) Обычно в общеобразовательных школах выводят «по-честному», через II закон Ньютона, период колебаний для пружинного маятника, а потом говорят, что для математического можно получить аналогичное выражение, но не выводят его из-за сложности восприятия. В этом случае, применение метода анализа размерностей физических величин может помочь решить эту проблему и улучшить усвоение материала.

3) Стоит отметить, что метод анализа размерностей очень хорошо подходит для задач, где требуется оценить период колебаний маятника: см. задачи 11-14 настоящего пособия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод анализа размерностей является вспомогательным методом, позволяющим лучше усвоить зависимости между физическими величинами. Метод размерностей может быть использован в случае, если искомая величина может быть представлена в виде степенной функции. В сущности, это чисто математический приём, основанный на некоторых соображениях «масштабного характера». Поэтому сам по себе он, никогда не может привести к установлению какого-либо нового физического закона. Метод размерностей позволяет получить лишь те соотношения, которые являются математическими следствиями уже известных физических законов [6].

Несмотря на вышесказанное, метод размерностей важен для физиков, а школьниками может быть использован в тех случаях, когда их знания (высшей математики и физики) недостаточны для того, чтобы получить прямое решение, в таком случае метод размерностей является для них единственным способом решить задачу или хотя бы оценить ответ.

Еще раз подчеркнем, что в методологическом плане изучение данного метода в школе очень важно для понимания взаимодействия физических величин, их влияния друг на друга.

СБОРНИК ЗАДАЧ

Механические явления

1. Оценить выражение для конечной скорости тела при его прямолинейном равноускоренном движении из состояния покоя. Предположить зависимость конечной скорости от пройденного пути, ускорения, массы тела.
2. Вывести формулу пути равноускоренного движения без начальной скорости, считая его зависящим от ускорения и времени движения.
3. Метры «вдоль» и «поперек». Оценить дальность полёта S и высоту полёта H тела, брошенного под углом α к горизонту. Сопротивлением воздуха пренебречь.
4. Вывести формулу центростремительного ускорения материальной точки, предполагая его зависимость от линейной скорости точки и радиуса окружности.
5. Показать, что первая космическая скорость зависит от размеров планеты – R , ускорения свободного падения – g и не зависит от массы тела – m .

6. Оценить силу сопротивления тел движущихся в жидкости, считая ее зависящей от плотности жидкости, скорости тела (либо в случае неподвижности тела, от скорости набегающего потока) и площади поперечного сечения.
7. Оценить гидростатическое давление столба жидкости, предполагая его зависимость от плотности жидкости, высоты столба жидкости и ускорения свободного падения.
8. Определите энергию гравитационного взаимодействия двух точечных масс m_1 и m_2 , находящихся на расстоянии R друг от друга. Учте, что размерность гравитационной постоянной $[G] = H \cdot \frac{M^2}{K^2}$.
9. Оценить потенциальную энергию сжатой на величину Δl пружины. Коэффициент жесткости пружины равен k .
10. Определить во сколько раз скорость истечения жидкости из отверстия, расположенного на глубине h_1 широкого сосуда, меньше, чем аналогичная на глубине $h_2 > h_1$.
11. Оценить выражение для периода колебаний математического маятника.
12. Оценить выражение для периода колебаний пружинного маятника.
13. Плотность жидкости в сосуде меняется в зависимости от глубины по закону $\rho = \rho_0 + \alpha H$, где ρ_0 - плотность у поверхности жидкости, α - постоянная, H - глубина. Найти период колебаний маленького шарика плотностью $\rho_{ш}$ вблизи положения равновесия.
14. Цилиндрический сосуд длиной $2l$ расположен горизонтально. Посередине цилиндра находится в равновесии тонкий легкоподвижный поршень массой m и площадью S . Справа и слева от поршня давление воздуха составляет p . Оцените период малых колебаний поршня.
15. Эксперименты показали, что скорость звука в газах зависит от давления и плотности среды. Сравните скорости звука в газе для двух состояний (p_1, ρ_1) , (p_2, ρ_2) .
16. Доказать, что скорость звука в газе пропорциональна \sqrt{T} , где $[T] = K$ - абсолютная температура

Тепловые явления

17. Выяснить от чего зависит давление в газе (вывести основное уравнение молекулярно-кинетической энергии).

Электромагнитные явления

18. Установить зависимость периода колебаний в колебательном контуре от его индуктивности и ёмкости (формула Томсона).
19. Определить зависимость напряженности поля E бесконечной заряженной нити от расстояния до нити R . Линейная плотность заряда τ .
20. Исследовать зависимость напряженности электрического поля E однородно заряженной бесконечной плоскости от плотности электрического заряда σ и от расстояния R между точкой наблюдения и плоскостью.
21. Оценить объемную плотность энергии электрического поля заряженного конденсатора.
22. Определить напряженность H магнитного поля бесконечно длинного соленоида, если радиус витка - R , число витков на единицу длины - n , сила тока в витках соленоида - I .

УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ И ОТВЕТЫ.

1. Ответ: $v_x = const \cdot \sqrt{a_x S_x}$, $const = \sqrt{2}$
2. Ответ: $S_x = const \cdot a_x t^2$, $const = \frac{1}{2}$
3. Указание: Разбейте одинаковую размерность длины на две: рассмотрите горизонтальные m_x и вертикальные m_y метры. В таком случае $[v_{0x}] = \frac{M_x}{c}$, $[S] = m_x$, $[v_{0y}] = \frac{M_y}{c}$, $[H] = m_y$, $[g] = \frac{M_y}{c^2}$. Примените метод анализа размерностей:
 $S = const \cdot g^a \cdot v_{0x}^b \cdot v_{0y}^c$, $m_x = \left(\frac{M_y}{c^2}\right)^a \cdot \left(\frac{M_x}{c}\right)^b \cdot \left(\frac{M_y}{c}\right)^c$, $H = const \cdot g^d \cdot v_{0x}^e \cdot v_{0y}^f$,
 $m_y = \left(\frac{M_y}{c^2}\right)^d \cdot \left(\frac{M_x}{c}\right)^e \cdot \left(\frac{M_y}{c}\right)^f$. В конце учтите, что $v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha$, $v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha$. Ответ:
 $S = const \cdot \frac{v_0^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{g}$, $const = 2$; $H = const \cdot \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{g}$, $const = \frac{1}{2}$. (Полное решение можно посмотреть в статье [1])
4. Ответ: $a_{u.c.} = const \cdot \frac{v^2}{R}$, $const = 1$
5. Ответ: $v_l = const \cdot \sqrt{Rg}$, $const = 1$
6. Ответ: $F_{comp} = const \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot S$, где $const$ характеризует обтекаемость тел: для шара $const = 0,2 \div 0,4$; для круглого диска $const = 1,1 \div 1,2$; для каплеобразного тела $const \approx 0,04$ (Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики. – Т. 1. – М.: Наука, 1974)
7. Ответ: $p = const \cdot g \cdot \rho \cdot h$, $const = 1$
8. Ответ: $W = const \cdot G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R}$, $const = 1$
9. Ответ: $E_{II} = const \cdot k \cdot (\Delta l)^2$, $const = \frac{1}{2}$
10. Ответ: $v = const \cdot \sqrt{gh}$ ($const = \sqrt{2}$), тогда $\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$
11. Ответ: $T = const \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$, $const = 2\pi$
12. Ответ: $T = const \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$, $const = 2\pi$
13. Указание: Для решения методом анализа размерностей, предположите зависимость $T = const \cdot \rho_u^a \cdot \alpha^b \cdot g^c$, где размерность $[\alpha] = \frac{KZ}{M^4}$. Ответ: $T = const \cdot \sqrt{\frac{\rho_u}{\alpha g}}$, $const = 2\pi$
 Это задача 8.170 сборника [8].
14. Указание: Учтите, что сила давления газа на поршень пропорциональна pS , тогда $T = const \cdot l^a \cdot (pS)^b \cdot m^c$. Ответ: $T = const \cdot \sqrt{\frac{l \cdot m}{p \cdot S}}$, где $const = \frac{2\pi}{\sqrt{2}}$ (С решением задачи через составление уравнения гармонических колебаний вы можете ознакомиться по ссылке <http://slob-skola5.narod.ru/sk5.files/fizika/fiz3.htm>)

15. Ответ: $v = const \cdot \sqrt{\frac{p}{\rho}}$, $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{p_1 \cdot \rho_2}{p_2 \cdot \rho_1}}$

16. Указание: Воспользуйтесь своим решением задачи 14, где вы получили

$v = const \cdot \sqrt{\frac{p}{\rho}}$ и уравнением Менделеева-Клайперона $\frac{p}{\rho} = RT$. Ответ:

$p = const \cdot \sqrt{T}$ (Пример 18 на стр.55-56 книги [6])

17. Указание: Предположить зависимость от абсолютной температуры T , от массы молекулы m_0 , от скорости молекул v , концентрации молекул $n = \frac{N}{V}$. Ответ:

$p = const \cdot m_0 \cdot n \cdot \overline{v^2}$, $const = 1$, $\overline{v^2}$ - средний квадрат скорости молекул.

18. Ответ: $T = const \cdot \sqrt{LC}$, $const = 2\pi$

19. Ответ: $E = const \cdot \frac{\tau}{R}$, где $const = \frac{1}{2\pi\epsilon_0}$

20. Ответ: $E = const \cdot \sigma$, где $const = \frac{1}{2\epsilon_0}$. Напряженность электрического поля не зависит от расстояния R до плоскости.

21. Ответ: $\omega = const \cdot \epsilon_0 \cdot E^2$, где $const = \frac{1}{2}$

22. Ответ: $H = const \cdot n \cdot I$, напряженность магнитного поля внутри бесконечно длинного соленоида не зависит от радиуса витка R (Пример 14 на стр.50-51 книги [6])

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Брук Ю., Стасенко А. [Метод анализа размерностей помогает решать задачи](#) // Квант, 1981, №6
- [2] М.Рожков [Н.А.Морозов — основоположник анализа размерности](#) // Успехи физических наук, 1953, т. 49, вып. 1, с. 180—181.
- [3] Интернет-ресурс: статья о π -теореме <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пи-теорема>
- [4] Д. В. Сивухин [О международной системе физических величин](#) / Успехи физических наук, 1979, стр. 335-338
- [5] Размерности физических величин в системе СИ [Электронный ресурс] – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Размерности_физических_величин_в_системе_СИ
- [6] Б. Ю. Коган [Размерность физической величины](#) / Наука, 1968, 72 с.
- [7] Седов Л.И. [Методы подобия и размерности в механике](#) / Наука, 1977, 440 с.
- [8] 3800 задач для школьников и поступающих в вузы / Авт.-сост. Ф48 Н. В. Турчина, Л. И. Рудакова, О. И. Суров и др. – М.: Дрофа, 2000. – 672с.: ил. – (Большая библиотека «Дрофы»).