

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



В.А.Степанова

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

для обеспечения самостоятельной работы студентов

по изучению дисциплины ФИЗИКА

раздел "МЕХАНИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА"

(с примерами и задачами)

**Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»**

**Институт базового образования
Кафедра физики**

В.А.Степанова

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
для обеспечения самостоятельной работы студентов
по изучению дисциплины ФИЗИКА
раздел "МЕХАНИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА"
(с примерами и задачами)**

Москва, 2018

УДК 531. + 533.7 + 536

В.А.Степанова

Методические рекомендации для обеспечения самостоятельной работы студентов по изучению дисциплины Физика раздел "Механика и молекулярная физика" (с примерами и задачами):- НИТУ «МИСиС», 2018.
- 31с.

Приведены рекомендации для самостоятельной работы, необходимые для закрепления лекционного материала и практических занятий, при изучении дисциплины «ФИЗИКА» разделы «Механика и молекулярная физика». Рекомендации снабжены примерами, рисунками и задачами для самостоятельного решения.

Соответствует учебному плану по дисциплине «ФИЗИКА. Механика и молекулярная физика».

Для студентов бакалавров всех направлений подготовки.

© Степанова В.А. 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Предмет физики	5
Элементы математики для изучения физики	6
Механика	
• Кинематика поступательного движения.....	10
• Кинематика вращательного движения.....	15
• Динамика поступательного движения	16
• Законы сохранения в динамике поступательного движения.....	20
• Динамика вращательного движения твердых тел. Законы	
• сохранения в динамике вращательного движения	23
Молекулярная физика	
• Молекулярно-кинетическая теория идеального газа	26
• Энергетические аспекты молекулярно-кинетической теории	
идеального газа	28
Реальные газы. Жидкости и твердые тела	30
Литература	31

Предмет физики

Окружающий нас мир, все существующее вокруг нас и обнаруживаемое нами посредством ощущений представляют собой материю. Неотъемлемым свойством материи и формой ее существования является движение. Разнообразные формы движения материи изучаются различными науками, в том числе и физикой. Предмет физики, как, впрочем, и любой науки, может быть раскрыт только по мере его детального изучения. Дать строгое определение предмета физики довольно сложно, потому что границы между физикой и рядом смежных дисциплин условны. Академик А.Ф.Иоффе определил физику как науку, изучающую общие свойства и законы движения вещества и поля.

- *Физика – наука о наиболее общих формах движения материи и их взаимных превращениях.*

Изучаемые физикой формы движения материи (механическая, тепловая и др.) присутствуют во всех высших и более сложных формах движения материи (химических, биологических и др.). Изучаемые физикой формы движения материи (механическая, тепловая и др.) присутствуют во всех высших и более сложных формах движения материи (химических, биологических и др.). Поэтому они, будучи наиболее простыми, являются в то же время наиболее общими формами движения материи. Высшие и более сложные формы движения материи — предмет изучения других наук (химии, биологии и др.).

- *Механика* - часть физики, в которой изучаются закономерности механического движения и причины, вызывающие это движение
- *Молекулярная физика* — раздел физики, в котором изучаются строение и свойства вещества исходя из молекулярно-кинетических представлений, основывающихся на том, что все тела состоят из молекул, находящихся в непрерывном хаотическом движении.

Физика является одной из тех наук, знание которой необходимо для успешного изучения общенаучных и специальных дисциплин. При изучении дисциплины «Физика» большое значение имеет практическое применение теоретических знаний, главное из которых – умение решать задачи. Хорошо известно, что единственный способ научиться решать задачи – пытаться решать их самостоятельно. Отсюда вытекает диалектичность процесса обучения: знание теории приобретается одновременно с её использованием для решения задач.

Решая задачи, целесообразно использовать следующие методические указания:

- 1. Внимательно прочитать условие задачи.**
- 2. Сделать краткую запись данных величин (выразив их значения, как правило, в СИ) и искомых величин (обратите внимание на текст вопроса – пояснения смотрите далее).**
- 3. В зависимости от условия задачи (где это возможно) сделать чертеж, схему или рисунок с обозначением данных задачи.**
- 4. Выяснив, какие физические законы или явления лежат в основе данной задачи, записать их математические выражения.**
- 5. Решить задачу в общем виде, выразив искомую физическую величину через заданные в задаче величины и физические постоянные величины (в буквенных обозначениях без подставки числовых значений в промежуточные формулы).**
- 6. Произвести вычисления, подставив числа в окончательную формулу и указать единицу искомой физической величины, проверив правильность её размерности.**
- 7. Записать ответ в кратком виде или в текстовом варианте, если это следует из условия задачи.**

Элементы математики для изучения физики

Физика – наука точная, широко использующая математический аппарат. Физические величины могут быть скалярными или векторными. Скалярные величины могут быть положительными и отрицательными и складываются алгебраически. Векторные величины складываются геометрически. При решении задач используют дифференциальное и интегральное вычисления. Следовательно, без знания основ математики решать задачи по физике невозможно!

Необходимо знать: элементы векторной алгебры и тригонометрии, основные формулы дифференциального и интегрального вычисления.

Выписать формулы и при необходимости пояснить их рисунками:

- Сложение векторов (как определяют направление результирующего вектора при сложении двух векторов и его численное значение)
- Теорема косинусов.
- Тригонометрические функции острого угла и соотношения между ними (в частности, теорема Пифагора).
- Разложение вектора на перпендикулярные составляющие (общее правило, частные случаи разложения вектора на горизонтальную и вертикальную составляющие).
- Произведение скаляра на вектор (направление и численное значение)
- Скалярное произведение векторов.
- Векторное произведение векторов (как определяют направление результирующего вектора и его численное значение).
- Нормаль, единичные векторы.
- Основные формулы дифференциального и интегрального вычисления.

- Производная радиус-вектора.
- Градиент.
- Поток вектора.
- Циркуляция вектора.
- Формулы вычисления площади и объёма тел: *круг, шар, сфера, прямоугольник, диск, цилиндр и т.п.*

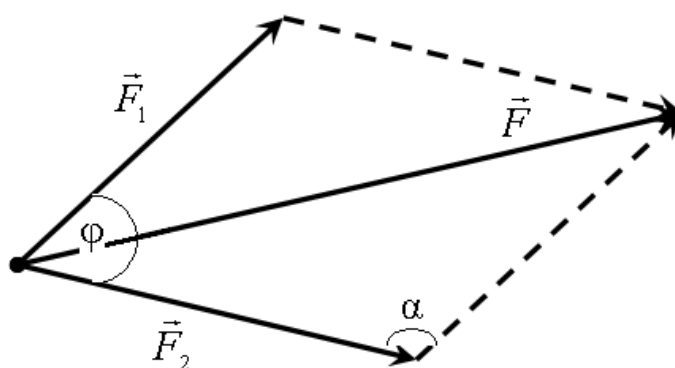
Примеры использования математических элементов в физике

Векторная сумма векторов

Согласно второму закону Ньютона, результатом действия на тело двух сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 будет сила \vec{F} , равная векторной сумме действующих на тело сил

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2.$$

Применяя правило векторной алгебры, получаем **направление результирующего вектора силы** (в данном примере использовали частный случай, когда складываемые векторы выходят из одной точки)



По теореме косинусов:

$$|\vec{F}|^2 = |\vec{F}_1|^2 + |\vec{F}_2|^2 - 2|\vec{F}_1||\vec{F}_2|\cos \alpha.$$

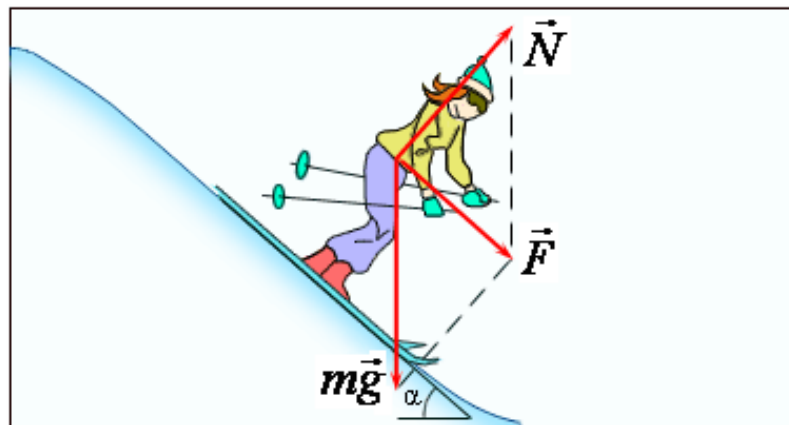
Т.к. $2\alpha + 2\varphi = 2\pi$, то $\alpha = \pi - \varphi$ и $\cos \alpha = -\cos \varphi$,

следовательно, $|\vec{F}|^2 = |\vec{F}_1|^2 + |\vec{F}_2|^2 + 2|\vec{F}_1||\vec{F}_2|\cos \varphi$.

Поскольку $|\vec{F}| = F$, получаем формулу вычисления величины результирующей силы

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \varphi}.$$

Пример использования векторной суммы векторов



\vec{F} - равнодействующая сил тяжести и реакции опоры (без учета силы трения о поверхность склона).

Дифференцирование

Модуль мгновенной скорости равен первой производной **пути** по времени

$$V = \frac{dS}{dt}.$$

Если зависимость пути от времени задана уравнением, к примеру,

$S = At - Bt^2 + Ct^3$, где A , B и C - постоянные величины, то

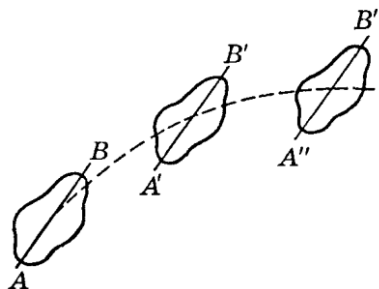
зависимость скорости от времени получив, взяв первую производную от заданного уравнения

$$V = A - 2Bt + 3Ct^2.$$

Кинематика поступательного движения

Кинематика изучает движение тел, не рассматривая причины, которые это движение обуславливают.

При *поступательном движении* любая прямая, жестко связанная с движущимся телом, остаётся параллельной своему первоначальному положению.



Выписать формулы по темам:

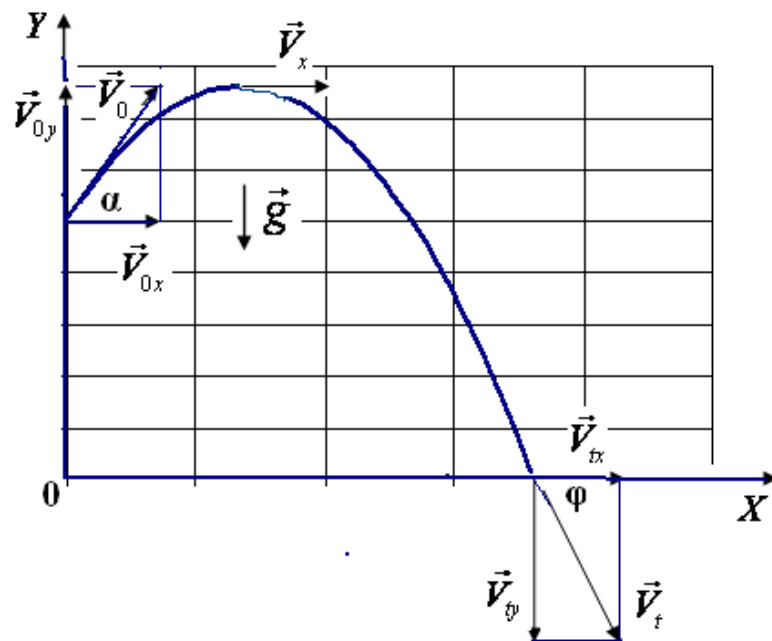
- Основные кинематические параметры: перемещение, траектория, путь; скорость и ускорение; тангенциальное, нормальное и полное ускорения; связь между ними.
- Зависимость скорости и перемещения от времени при равнопеременном движении.
- Свободное падение тела.

Решить задачи: № 1.2, 1.4, 1.8 - 1.16, 1.26 – 1.29, 1.30 – 1.39, 1.56, 1.57 (здесь и далее номера задач даны из сборника "Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики". – М.: Наука, 2015).

Обратите внимание на следующее.

- Физические величины принято обозначать нижним индексом 0 в начальный момент времени (например, начальную скорость тела записывают как \vec{V}_0 в векторном виде или V_0 в скалярном виде) и нижним индексом t в конечный момент времени (например,

скорость тела в момент падения записывают как \vec{V}_t в векторном виде или V_t в скалярном виде). На рисунке показаны обозначения скорости тела в начальный момент \vec{V}_0 , в промежуточный момент времени и в момент времени падения на землю \vec{V}_t

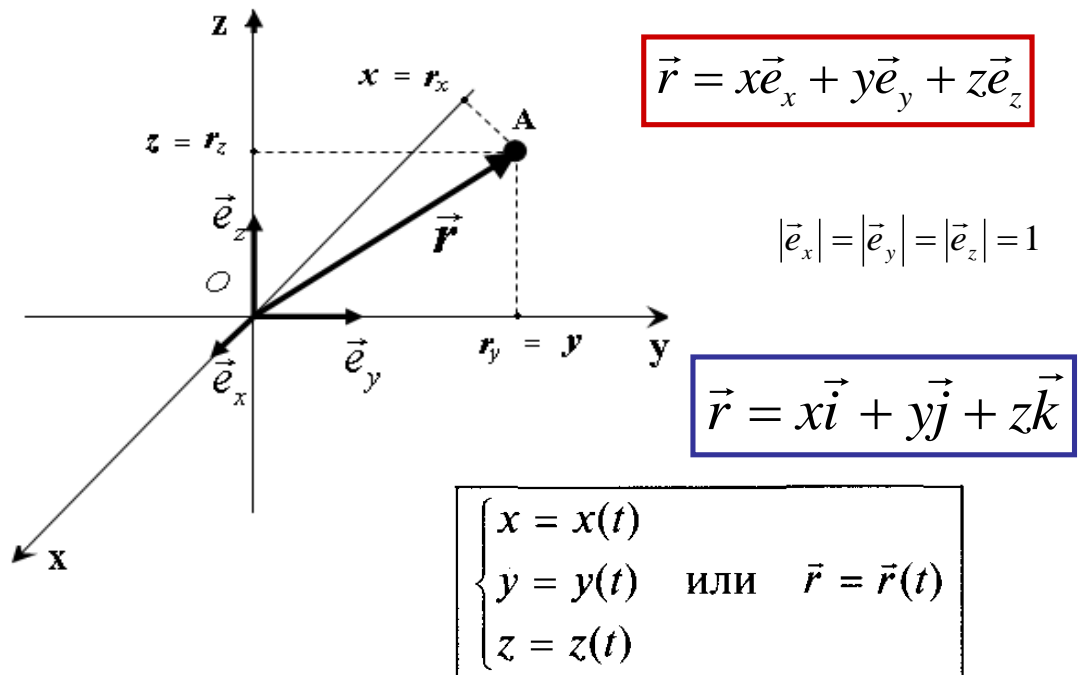


- Если необходимо найти зависимость физической величины от времени, то запись вопроса имеет вид $V(t) = ?$.
- Внимательно изучите методические указания (Степанова В.А. «Движение тела, брошенного под углом к горизонту») – в них дан алгоритм решения и частные случаи движения тела, брошенного под углом α к горизонту.

Положение материальной точки в пространстве

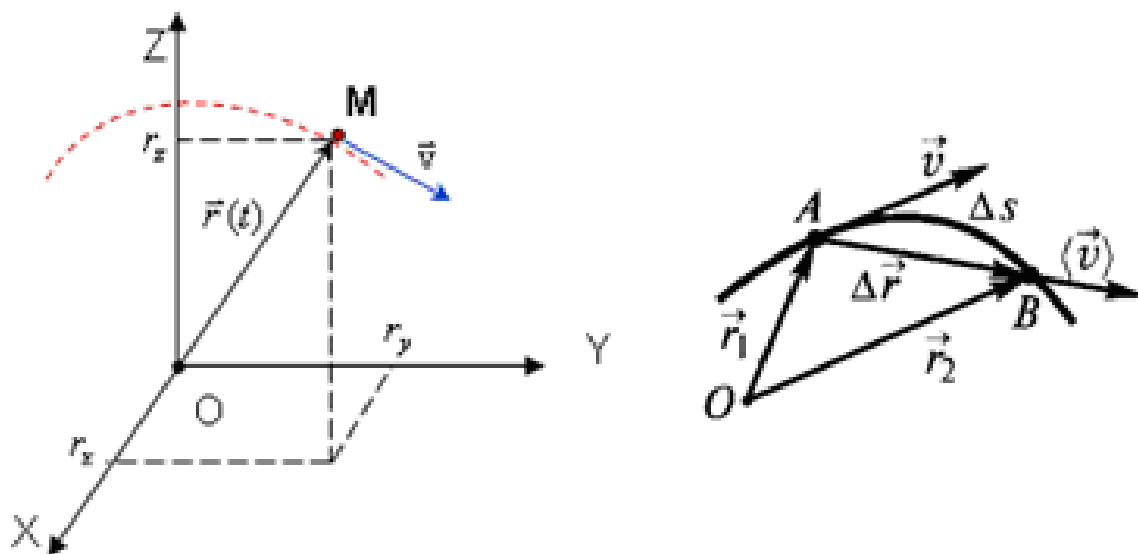
можно задать *радиус-вектором* \vec{r} ;

кинематические уравнения движения материальной точки - это зависимость координат или радиус-вектора от времени

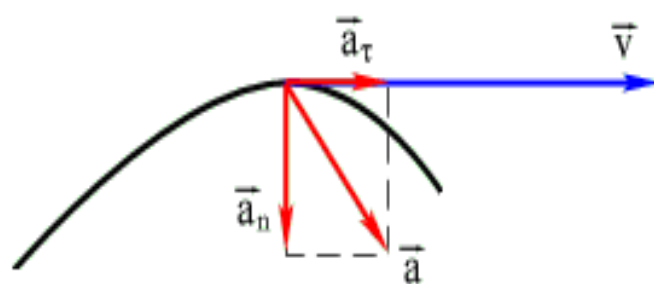


$r_x = x, r_y = y, r_z = z$ Координаты точки в декартовой прямоугольной системе координат.

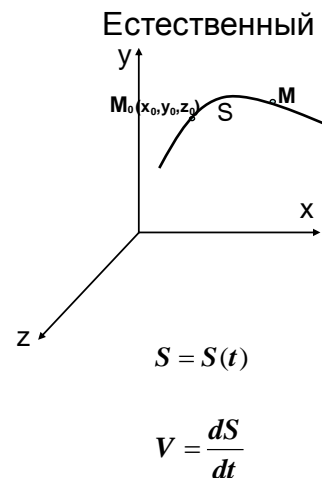
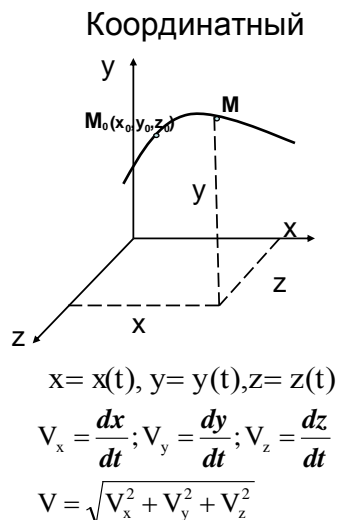
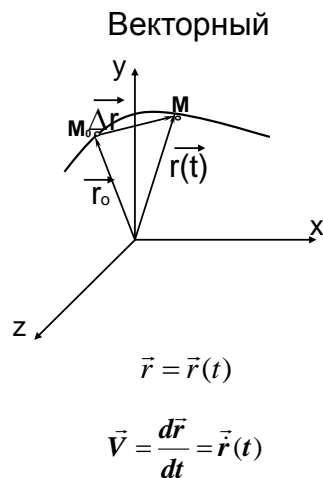
Мгновенная скорость



Вектор мгновенной скорости всегда направлен по касательной к траектории движения тела



Способы задания движения материальной точки



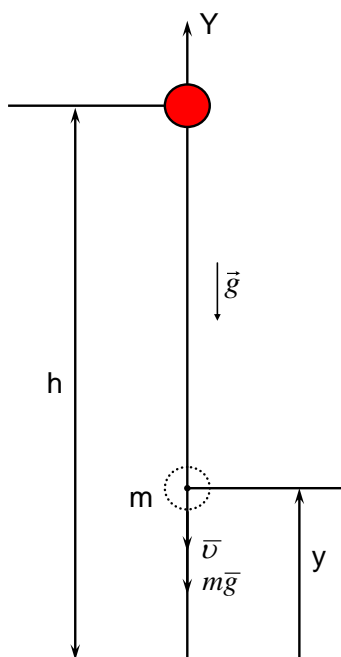
Прямая задача: Задан закон движения $\vec{r}(t)$ или $x(t), y(t), z(t)$ или $S(t)$

Определить все кинематические параметры движения (траектория, скорости, ускорение)

Обратная задача: Задана область движения и некоторые кинематические параметры

Определить закон и вид движения, остальные кинематические параметры

Свободное падение тел



$\vec{g} = \text{const}$ – ускорение свободного падения
($g = 9,81523 \text{ м/с}^2$ на широте Москвы)

Движение тела вниз:

Начальные условия: $v_0 = 0, y_0 = h, a = -g$

Закон движения: $y = h - \frac{gt^2}{2}$

Текущее значение скорости: $v = \sqrt{2g(h-y)}$

Перемещение: $s = y - h < 0$

Время падения на Землю ($y_t = 0$): $t_n = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

Скорость удара о Землю ($y_t = 0$): $v_n = \sqrt{2gh}$

Движение тела вверх:

Начальные условия: $v_0 \neq 0, y_0 = 0, a = -g$

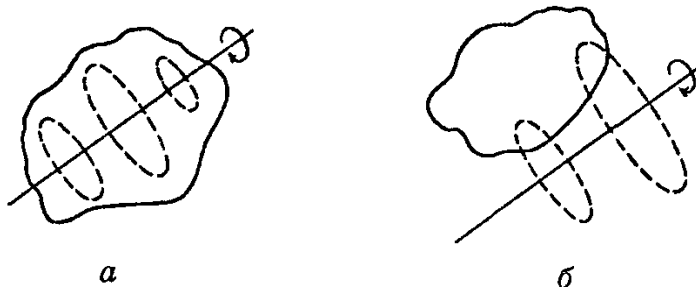
Закон движения: $y = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$

Текущее значение скорости: $v_t = v_0 - gt$

Максимальная высота подъема: $h = y_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{2g}$

Кинематика вращательного движения

Вращательное движение - это движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной прямой, называемой **осью вращения**; ось вращения может располагаться вне тела.

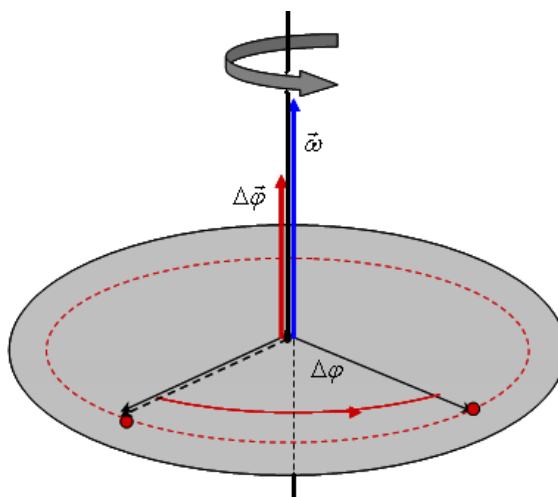


Выписать формулы по темам:

- Основные кинематические параметры вращательного движения: угловая скорость и ускорение.
- Зависимость угловой скорости и угла поворота от времени при равнопеременном вращении.
- Связь между линейными и угловыми параметрами движения.

Решить задачи № 1.45 – 1.53, 1.55 – 1.56, 1.59 – 1.64

Обратите внимание на то, что векторы линейной скорости и ускорения не могут находиться в одной плоскости с векторами угловой скорости и углового ускорения.



Динамика поступательного движения

В основе классической динамики лежат три закона Ньютона, сформулированные им в "Математических началах натуральной философии" (1687г.), которые подтверждены огромным числом опытных результатов.

Выписать формулы по темам:

- Виды и категории сил в механике.
- Законы Ньютона.
- Импульс тела и импульс силы.

Решить задачи 2.3 – 2.4, 2.6 – 2.9, 2.11 - 2.14, 2.15 – 2.18, 2.27 - 2.40.

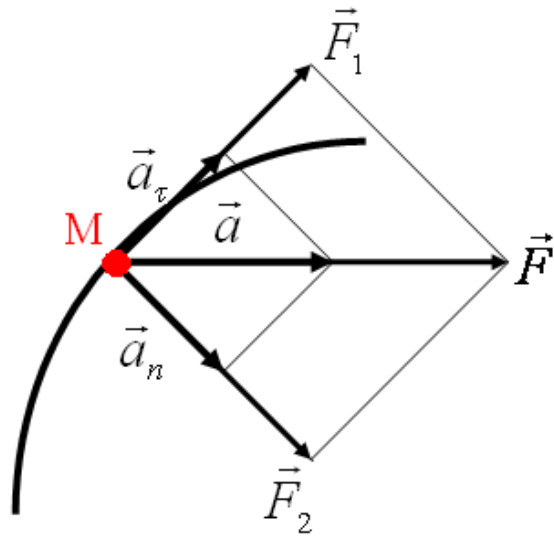
Обратите внимание на следующее

- **Согласно второму закону Ньютона, ускорение тела совпадает по направлению с результирующей всех сил, действующих на тело**

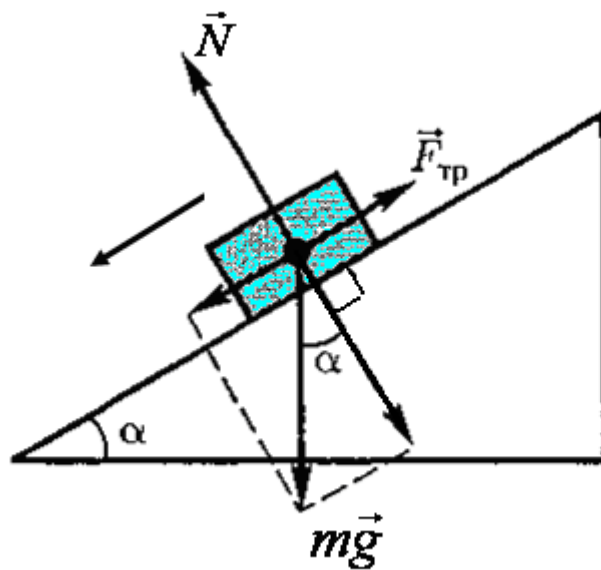
Например, для некоторой материальной точки **М** сила \vec{F}_1 , вектор которой направлен по касательной к траектории движения материальной точки (или вдоль линии вектора скорости), сообщает тангенциальное ускорение \vec{a}_τ ; сила \vec{F}_2 , вектор которой направлен перпендикулярно траектории движения материальной точки (или перпендикулярно вектору скорости), сообщает нормальное ускорение \vec{a}_n ; результирующая этих сил – сила \vec{F} , сообщает полное ускорение \vec{a} .

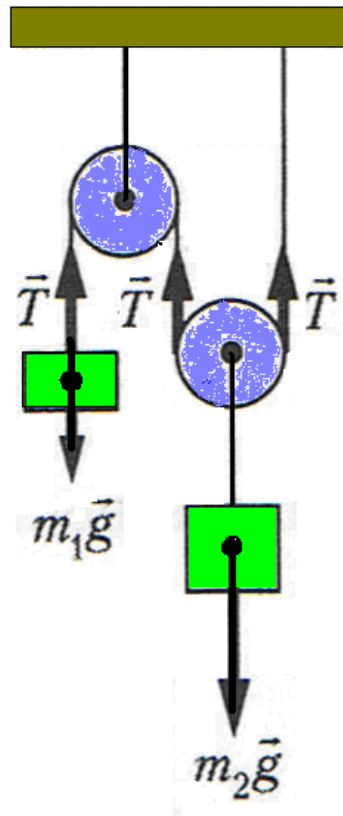
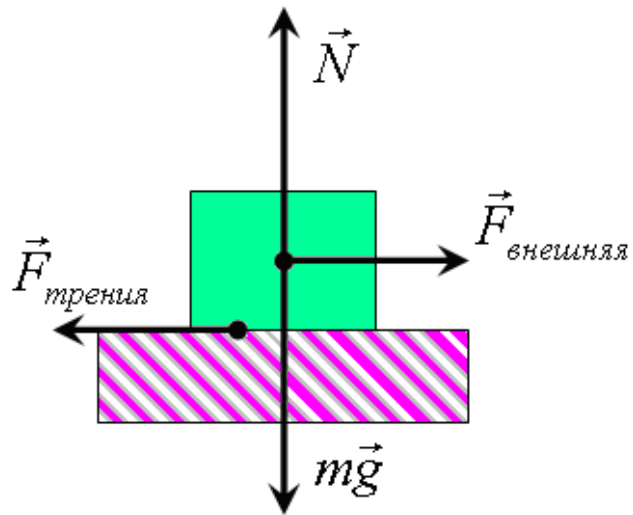
$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

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



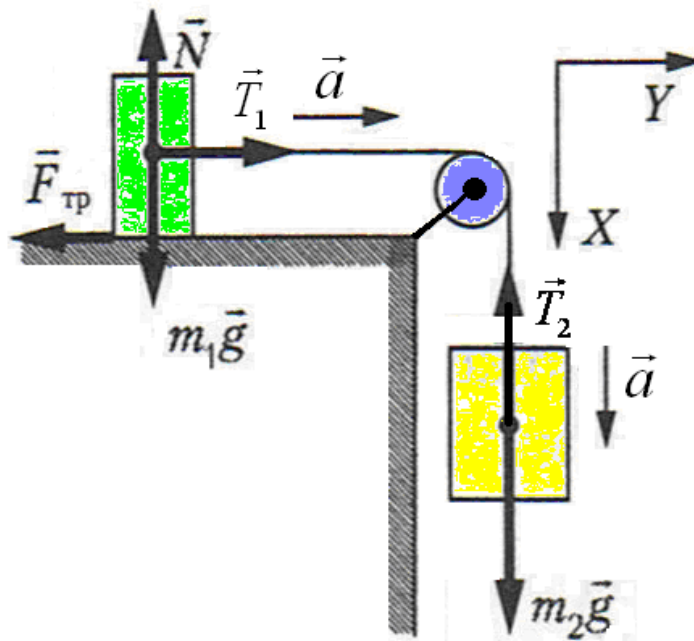
- Если тело находится на наклонной плоскости, то **необходимо разложить вектор силы тяжести $m\vec{g}$ на две составляющие – вдоль плоскости и перпендикулярно плоскости.**
- **Вектор силы трения** указывают после указания направления возможного движения тела или направления силы тяги:





- Если нить, связывающая тела, невесома и нерастяжима, то силы натяжения нитей равны между собой в случае легких блоков.

- **Второй закон Ньютона** записывают в векторном виде для каждого тела и, указав направление движения и при необходимости обозначив оси координат, записывают скалярный вид этого закона.



- $m_1 \vec{g} + \vec{T}_1 + \vec{N} + \vec{F}_{mp} = m_1 \vec{a}; \quad m_2 \vec{g} + \vec{T}_2 = m_2 \vec{a};$
- $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T \implies$
- $T - F_{mp} = m_1 a; \quad N - m_1 g = 0; \quad m_2 g - T = m_2 a;$
- $F_{mp} = kN; \quad \implies$

$T - km_1 g = m_1 a;$ $m_2 g - T = m_2 a;$
--

Законы сохранения в динамике поступательного движения

Законы сохранения импульса и механической энергии выполняемы только для замкнутых (изолированных) систем – систем, на которые не действуют внешние силы.

Под внешними силами следует понимать, в том числе, силы сопротивления – силы трения, силы упругости и т.п.

Для незамкнутых систем выполняется закон сохранения энергии – *энергию изолированной системы можно преобразовать из одной формы в другую, однако полная энергия в её различных формах никуда не исчезает и никогда не рождается.*

Выписать формулы по темам:

- Кинетическая энергия.
- Потенциальная энергия.
- Работа и мощность.
- Закон сохранения механической энергии.
- Закон сохранения импульса.
- Соударения тел (абсолютно упругий и неупругий удар).

Решить задачи № 2.45, 2.46, 2.50 – 2.54, 2.57, 2.59 - 2.61, 2.65, 2.66, 2.69, 2.72, 2.73, 2.78.

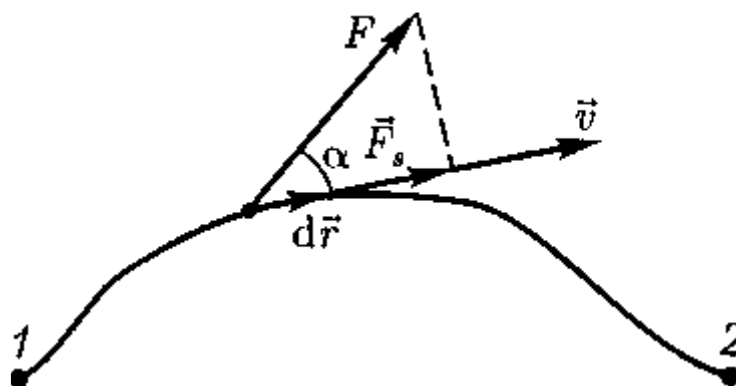
Обратите внимание на следующее

- Является ли, согласно условию задачи, система тел замкнутой или нет?

Например, из условия задачи № 2.59 следует, что система «конькобежец – камень» будет замкнутой, а система «конькобежец на льду» будет не замкнутой, т.к. коэффициент трения коньков о лед отличен от нуля.

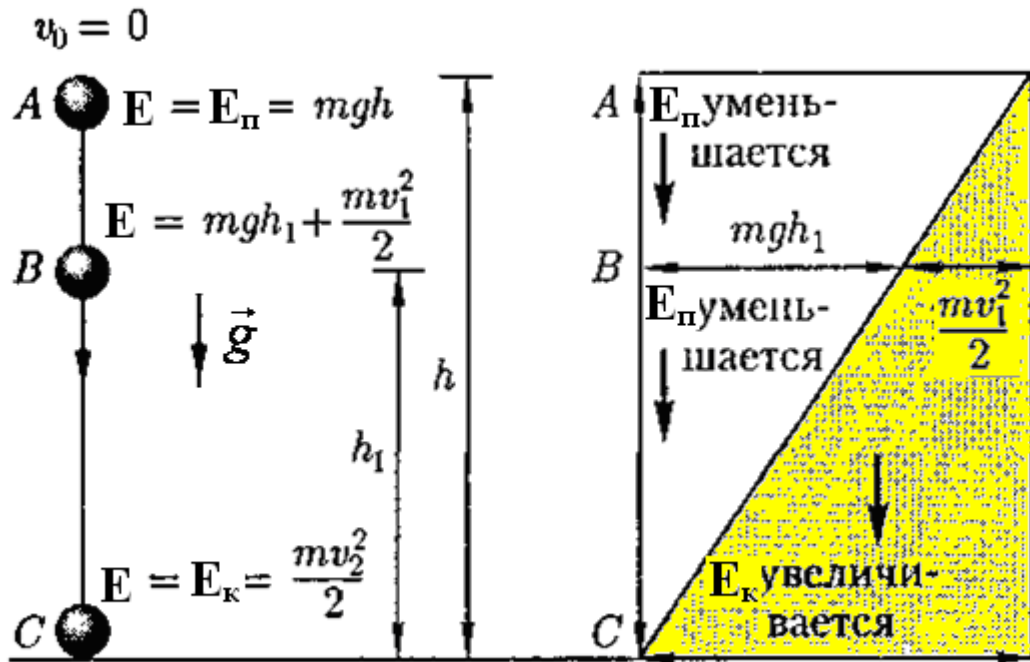
- *Работой силы \vec{F} на перемещении $d\vec{r}$ называется величина*

$$A = \int \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int |\vec{F}| |d\vec{r}| \cos(\vec{F}, d\vec{r})$$



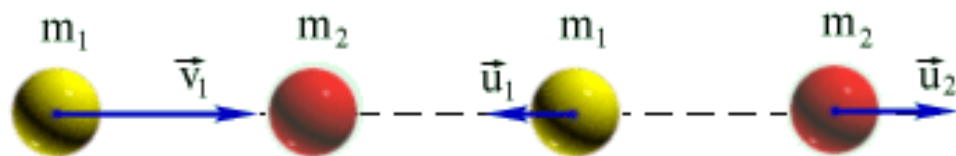
Из формулы определения работы следует, что

- *Работа сил сопротивления всегда будет отрицательной.*
- *Работа силы, вектор которой перпендикулярен перемещению (или вектору скорости тела) равна нулю.*
- В консервативных системах полная механическая энергия *остается величиной неизменной, переходя из одного вида в другой в эквивалентных количествах*, что хорошо демонстрируется на *примере свободного падения тела*:



- Для **абсолютно упругого удара** выполняются **закон сохранения импульса** и **закон сохранения кинетической энергии**, для **абсолютно неупругого удара** выполняется только закон сохранения импульса.

Пример центрального абсолютно упругого соударения движущегося шара массой m_1 с неподвижным шаром массой m_2 при условии, что $m_1 \leq m_2$ (в случае равенства масс, скорость первого шара после удара равна нулю $U_1 = 0$)



Динамика вращательного движения твердых тел.

Законы сохранения в динамике вращательного движения

При сравнении законов поступательного и вращательного движений просматривается аналогия между ними, только во вращательном движении вместо силы «выступает» её момент, а роль массы «выполняет» момент инерции.

Выписать формулы по темам: :

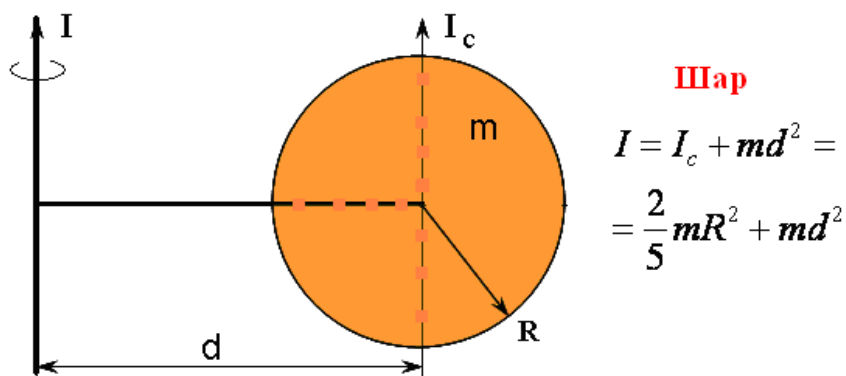
- Момент инерции системы материальных точек, твердого тела и материальной точки.
- Моменты инерции обруча, диска, стержня и шара относительно оси, проходящей через центр масс.
- Теорема Штейнера.
- Момент силы.
- Момент импульса.
- Основной закон динамики вращательного движения.
- Энергия при вращательном движении.
- Закон сохранения момента импульса.
- Закон сохранения и превращения энергии в динамике вращательного движения.

Решить задачи № 3.4 - 3.7, 3.12 - 3.18, 3.21 - 3.27 , 3.37 - 3.42

Обратите внимание на следующее

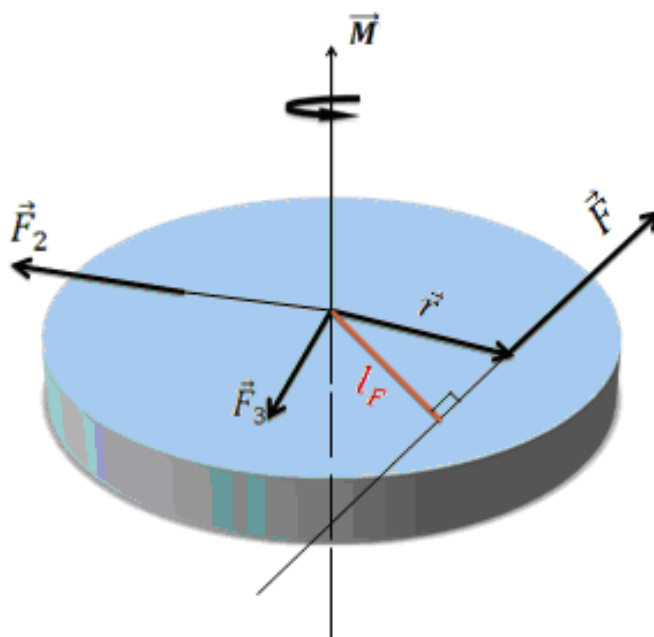
- Очень важно правильно **обозначить ось вращения тела или системы тел**, т.к. от этого зависят физические величины динамики вращательного движения.

Пример демонстрирует изменение величины момента инерции шара I при изменении расстояния d между осью вращения и осью, проходящей через центр масс шара (I_c — это момента инерции шара относительно оси, проходящей через центр масс)

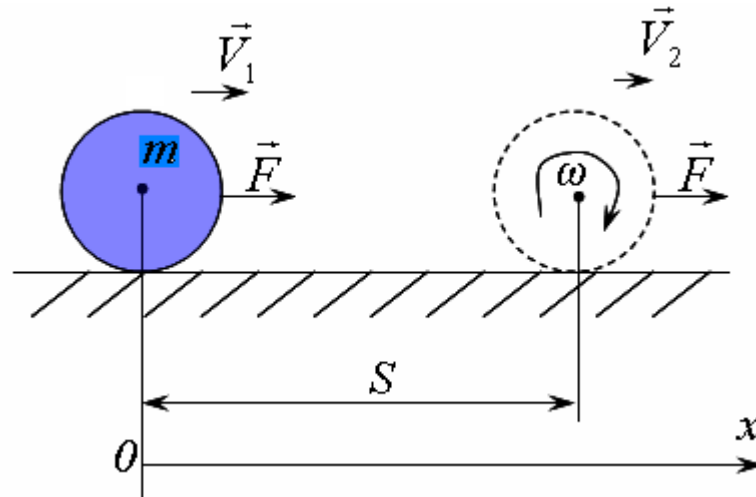


- **Плечо силы** – это кратчайшее расстояние между линией действия силы и осью вращения.

Пример демонстрирует равенство нулю плеч сил \vec{F}_2 и \vec{F}_3 , **плечо силы** \vec{F} , равное l_F , обозначено **красной прямой.**

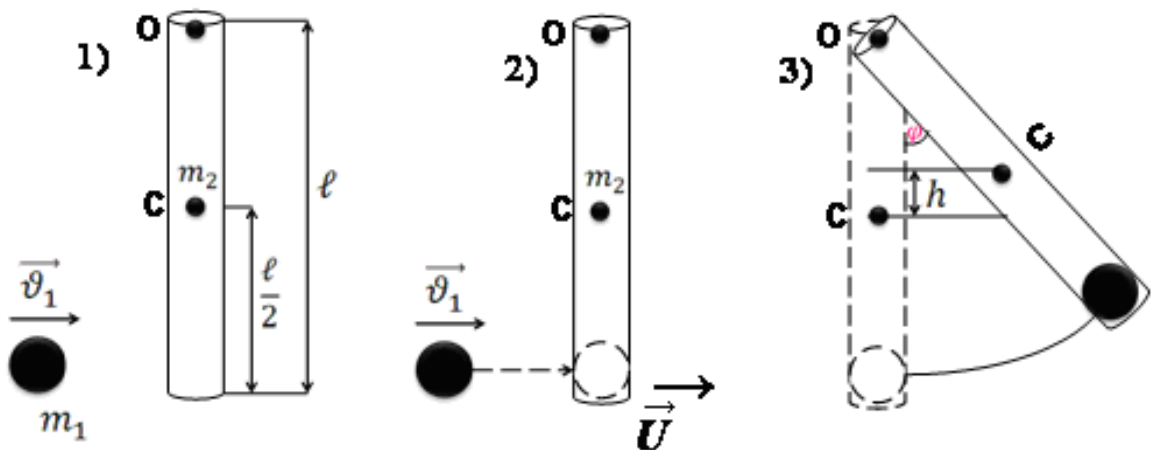


- При решении задач движение твердого тела необходимо рассматривать как **сумму двух движений: вращательного движения относительно какой-то оси и поступательного движения со скоростью этой оси.**



- **Момент инерции системы тел** равен сумме моментов инерции тел, входящих в эту систему.

Пример демонстрирует систему «**стержень – пластилиновый шарик**»; в этом случае шарик условно рассматривают как материальную точку.



Молекулярно-кинетическая теория идеального газа

Молекулярная физика – раздел физики, в котором изучаются строение и свойства вещества исходя из молекулярно-кинетических представлений, основывающихся на том, что все тела состоят из молекул, находящихся в непрерывном беспорядочном движении.

Выписать формулы по темам:

- Параметры состояния идеального газа (давление, объем и температура газа).
- Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа и следствия из него.
- Уравнение состояния идеального газа.
- Изопроцессы.

Решить задачи № 5.1, 5.9, 5.13 - 5.22, 5.26, 5.32, 5.41.

Обратите внимание на следующее

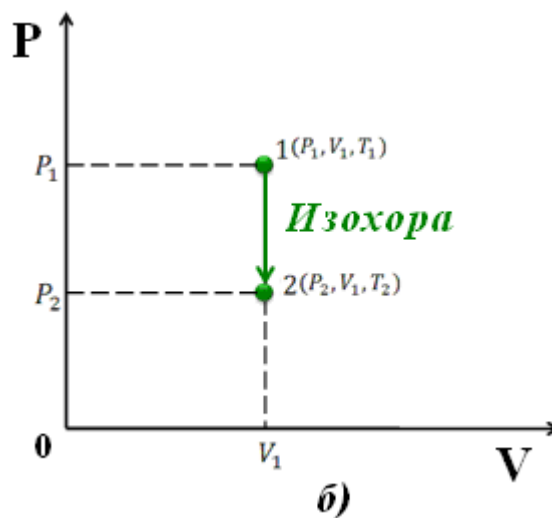
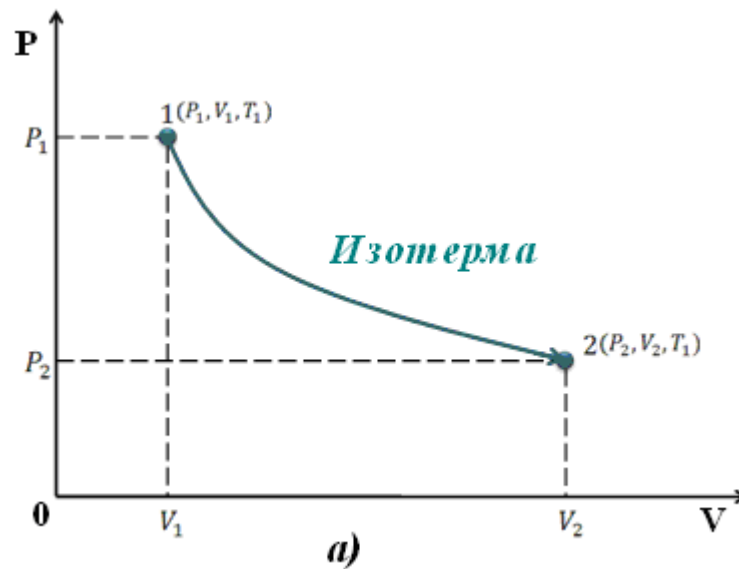
- Физический смысл параметров идеального газа и единицы их измерения.

Например, объем газа измеряют в литрах – в СИ $1\text{ л} = 1 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3$.

- Соотношение между параметрами идеального газа, записанное уравнением Менделеева – Клапейрона, является основополагающим при решении задач в этом разделе и следующем.
- Изопроцессы рассматривают только для постоянной массы газа или моля газа.
- При изображении перехода идеального газа из одного состояния в другое в термодинамической системе (как правило, в термодинамической системе *давление P – объем V*)

состояние газа обозначают точкой «жирным» шрифтом, а процесс стрелочкой.

Примеры изображения на рисунке а) изотермического процесса перехода система из состояния **1**(P_1, V_1, T_1) в состояние **2**(P_2, V_2, T_1) при температуре T_1 и на рисунке б) изохорного процесса перехода система из состояния **1**(P_1, V_1, T_1) в состояние **2**(P_2, V_1, T_2) при объёме V_1 .



Энергетические аспекты молекулярно-кинетической теории идеального газа

Термодинамической системой называют совокупность макроскопических тел, которые могут взаимодействовать между собой и с другими телами (внешней средой) – обмениваться с ними энергией и веществом. Термодинамическая система состоит из столь большого числа атомов, молекул и т.п., что ее состояние можно характеризовать макроскопическими параметрами: плотностью, давлением, концентрацией веществ, образующих термодинамическую систему. *Простейшей термодинамической системой является идеальный газ.*

Выписать формулы по темам:

- Внутренняя энергия идеального газа и термодинамической системы.
- Число степеней свободы.
- Работа идеального газа.
- Первое начало термодинамики.
- Теплоемкость идеального газа.
- Адиабатный процесс.
- Циклы. КПД цикла.
- Цикл Карно.
- Энтропия.

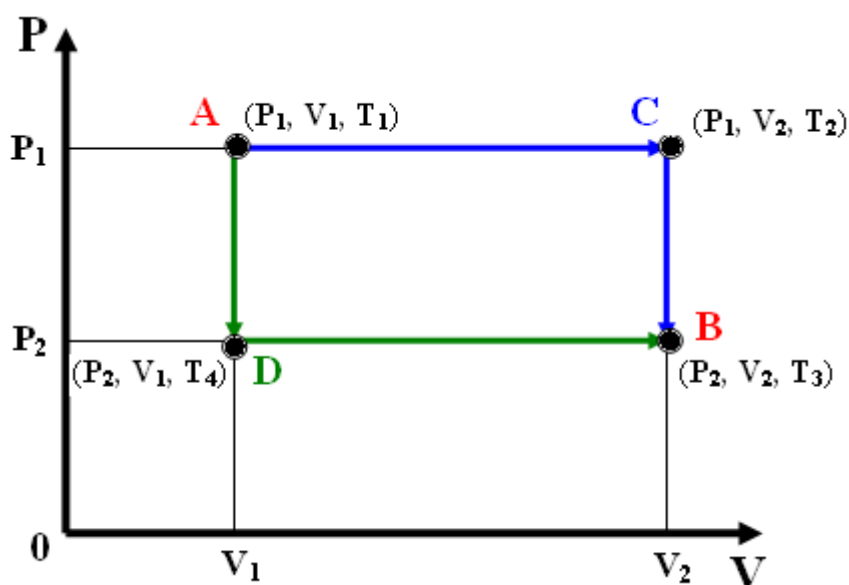
Решить задачи № 5.58, 5.59, 5.64 - 5.66, 5.70, 5.71, 5.79, 5.80, 5.83, 5.84, 5.88, 5.161 – 5.166, 5.170, 5.176, 5.178, 5.179, 5.194, 5.195 – 5.199.

Обратите внимание на следующее

- **Внутренняя энергия идеального газа** – это функция состояния, т.е. её изменение не зависит от процессов перехода газа из начального состояния в конечное.
- **Молярную теплоемкость идеального газа при постоянном объеме или при постоянном давлении можно вычислять двумя способами** – или по формуле определения, или по формуле вычисления через число степеней свободы.
- **Изображение цикла Карно в системе $P - V$.**

Пример перехода идеального газа постоянной массы из состояния **A** в состояние **B** двумя способами - через промежуточное состояние **C** или через промежуточное состояние **D** (задача № 5.194). От способа перехода из начального состояния в конечное состояния изменение внутренней энергии не зависит. Работа, совершенная газом, и количество сообщенной ему теплоты зависят от способа перехода из начального состояния в конечное состояния.

Исходя из формулы определения работы идеального газа, ответьте на вопрос: **При каком способе перехода величина работы идеального газа будет больше?**



Реальные газы. Жидкости и твердые тела

Модель идеального газа, используемая в молекулярно-кинетической теории идеального газа, позволяет довольно хорошо описывать поведение разряженных *реальных газов*. При рассмотрении *реальных газов* – газов, свойства которых зависят от взаимодействия молекул, учитывают *силы межмолекулярного взаимодействия*.

Твердые тела характеризуются наличием значительных сил значительных сил межмолекулярного взаимодействия и сохраняют не только объём, но и форму.

Выписать формулы по темам:

- Силы и потенциальная энергия межмолекулярного взаимодействия.
- Уравнение Ван-дер-Ваальса.
- Свойства жидкостей и твердых тел.

Решить задачи № 6.2 - 6.9, 6.18 - 6.20, 8.1 - 8.3, 8.10 - 8.14.

Список рекомендованной литературы

Основная литература:

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. СПб: Лань. 2016
2. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. – М.: Наука, 2015.

Дополнительная литература:

1. Бондарев Б.В., Калашников Н.П, Спирин Г.Г. Курс общей физики. Кн.1. Механика. М.: Юрайт. 2016
2. Бондарев Б.В., Калашников Н.П, Спирин Г.Г. Курс общей физики. Кн.3. Термодинамика. Статистическая физика. Строение вещества. М.: Юрайт. 2016