

ВСЕ ФОРМУЛЫ ШКОЛЬНОЙ ФИЗИКИ

чтобы

быстро найти, правильно применить, легко запомнить

сделано народом и для народа,
обязательно к свободному распространению

версия 0.1.4 от 5 декабря 2022 года

последняя версия этого файла всегда лежит [тут](#)



Copyright (C) www.егэ-и-огэ.рф



Оглавление

| | | |
|--------|--|----|
| 0 | Предисловие | 9 |
| 0.1 | Приветствие | 9 |
| 0.2 | Как решать задачи по физике | 9 |
| 0.2.1 | Подготовительный этап | 9 |
| 0.2.2 | Разбор физики | 9 |
| 0.2.3 | Нахождение решения | 10 |
| 1 | Математический аппарат | 11 |
| 1.1 | Элементарные функции | 11 |
| 1.1.1 | Свойства степени | 11 |
| 1.1.2 | Свойства логарифма | 11 |
| 1.1.3 | Определения тригонометрических функций | 11 |
| 1.1.4 | Основные свойства тригонометрических функций | 11 |
| 1.1.5 | Формулы двойного аргумента тригонометрических функций | 12 |
| 1.1.6 | Формулы составного аргумента тригонометрических функций | 12 |
| 1.1.7 | Формулы произведения тригонометрических функций | 12 |
| 1.2 | Векторное исчисление | 12 |
| 1.2.1 | Координатная форма вектора | 12 |
| 1.2.2 | Модуль вектора | 12 |
| 1.2.3 | Умножение вектора на число | 13 |
| 1.2.4 | Сложение векторов | 13 |
| 1.2.5 | Вычитание векторов | 13 |
| 1.2.6 | Проекция вектора на произвольную ось | 13 |
| 1.2.7 | Скалярное произведение векторов | 13 |
| 1.2.8 | Векторное произведение векторов | 14 |
| 1.3 | Дифференциальное исчисление | 14 |
| 1.3.1 | Производная функции | 14 |
| 1.3.2 | Основные правила дифференцирования | 14 |
| 1.3.3 | Производная сложной функции | 14 |
| 1.3.4 | Производная обратной функции | 14 |
| 1.3.5 | Производные элементарных функций | 15 |
| 1.4 | Интегральное исчисление | 15 |
| 1.4.1 | Определенный интеграл от функции | 15 |
| 1.4.2 | Связь определенного интеграла и первообразной (формула Ньютона – Лейбница) | 15 |
| 1.4.3 | Первообразные элементарных функций | 15 |
| 2 | Механика | 17 |
| 2.1 | Кинематика | 17 |
| 2.1.1 | Траектория, путь, перемещение | 17 |
| 2.1.2 | Средняя скорость материальной точки | 17 |
| 2.1.3 | Мгновенная скорость материальной точки | 17 |
| 2.1.4 | Преобразование скорости в движущуюся систему отсчета | 17 |
| 2.1.5 | Связь перемещения с графиком зависимости скорости от времени | 18 |
| 2.1.6 | Среднее ускорение материальной точки | 18 |
| 2.1.7 | Мгновенное ускорение материальной точки | 18 |
| 2.1.8 | Связь изменения скорости с графиком зависимости ускорения от времени | 18 |
| 2.1.9 | Ускорение, скорость, перемещение для равномерного движения | 18 |
| 2.1.10 | Ускорение, скорость, перемещение для равноускоренного движения | 19 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.1.11 | Связь между перемещением и средней скоростью для равноускоренного движения | 19 |
| 2.1.12 | Связь между изменением скорости и перемещением для равноускоренного движения | 19 |
| 2.1.13 | Движение тела, брошенного под углом к горизонту (временные зависимости) | 19 |
| 2.1.14 | Движение тела, брошенного под углом к горизонту (параметры траектории) | 19 |
| 2.1.15 | Средняя угловая скорость при движении по окружности (вращении) | 20 |
| 2.1.16 | Мгновенная угловая скорость при движении по окружности (вращении) | 20 |
| 2.1.17 | Основные соотношения для равномерного движения по окружности | 20 |
| 2.1.18 | Нормальное и тангенциальное ускорения тела при криволинейном движении | 20 |
| 2.2 | Динамика | 21 |
| 2.2.1 | Плотность тела | 21 |
| 2.2.2 | Принцип суперпозиции действующих сил | 21 |
| 2.2.3 | Первый закон Ньютона | 21 |
| 2.2.4 | Второй закон Ньютона в классической форме | 21 |
| 2.2.5 | Второй закон Ньютона в импульсной форме | 22 |
| 2.2.6 | Третий закон Ньютона | 22 |
| 2.2.7 | Принцип относительности Галилея | 22 |
| 2.2.8 | Закон всемирного тяготения | 22 |
| 2.2.9 | Сила тяжести и ускорение свободного падения | 23 |
| 2.2.10 | Вес тела | 23 |
| 2.2.11 | Скорость движения тела по круговой орбите вокруг планеты | 23 |
| 2.2.12 | Первая космическая скорость | 23 |
| 2.2.13 | Вторая космическая скорость | 23 |
| 2.2.14 | Закон Гука для силы упругости стержня (пружины) | 24 |
| 2.2.15 | Коэффициент упругости тонкого стержня | 24 |
| 2.2.16 | Сила трения покоя | 24 |
| 2.2.17 | Сила трения скольжения | 24 |
| 2.2.18 | Брусок на наклонной плоскости: схема действующих сил | 24 |
| 2.2.19 | Система блоков и нитей: основные соотношения и используемые приближения | 25 |
| 2.2.20 | Давление | 25 |
| 2.3 | Статика | 26 |
| 2.3.1 | Момент силы относительно оси вращения | 26 |
| 2.3.2 | Условия равновесия твердого тела | 26 |
| 2.3.3 | Закон Паскаля для давления жидкости на примере гидравлического пресса | 26 |
| 2.3.4 | Гидростатическое давление среды (жидкости или газа) | 26 |
| 2.3.5 | Закон Архимеда для выталкивающей силы в общем случае | 27 |
| 2.3.6 | Закон Архимеда для выталкивающей силы в случае покоя в инерциальной системе отсчета | 27 |
| 2.4 | Законы сохранения в механике | 27 |
| 2.4.1 | Импульс тела (материальной точки) | 27 |
| 2.4.2 | Импульс системы тел (материальных точек) | 27 |
| 2.4.3 | Закон изменения импульса системы тел | 27 |
| 2.4.4 | Закон сохранения импульса для системы тел | 28 |
| 2.4.5 | Центр масс системы материальных точек (тел): определение | 28 |
| 2.4.6 | Центр масс системы материальных точек (тел): закон движения | 28 |
| 2.4.7 | Центр масс системы материальных точек (тел): связь с полным импульсом системы | 28 |
| 2.4.8 | Абсолютно упругий удар: определение | 28 |
| 2.4.9 | Абсолютно неупругий удар: определение | 29 |
| 2.4.10 | Движение тела с переменной массой: уравнение Мещерского | 29 |
| 2.4.11 | Работа силы на малом перемещении тела в пространстве | 29 |
| 2.4.12 | Работа силы на произвольном перемещении тела в пространстве | 29 |
| 2.4.13 | Работа силы на произвольном перемещении тела вдоль оси координат | 29 |
| 2.4.14 | Мощность силы | 30 |
| 2.4.15 | Кинетическая энергия тела при поступательном движении | 30 |
| 2.4.16 | Теорема об изменении кинетической энергии тела | 30 |
| 2.4.17 | Теорема об изменении потенциальной энергии тела | 30 |
| 2.4.18 | Потенциальная энергия тела в поле силы тяжести | 30 |
| 2.4.19 | Потенциальная энергия упруго деформированного стержня (пружины) | 30 |
| 2.4.20 | Механическая энергия системы тел | 31 |
| 2.4.21 | Теорема об изменении механической энергии системы тел | 31 |
| 2.4.22 | Теорема о сохранении механической энергии в консервативной системе тел | 31 |
| 2.4.23 | Коэффициент полезного действия механизма (КПД) | 31 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.5 | Механические колебания и волны | 31 |
| 2.5.1 | Гармонические колебания: уравнение движения осциллятора | 31 |
| 2.5.2 | Гармонические колебания: координата, скорость, ускорение осциллятора | 32 |
| 2.5.3 | Гармонические колебания: максимальные значения кинематических величин | 32 |
| 2.5.4 | Гармонические колебания: закон сохранения механической энергии | 32 |
| 2.5.5 | Период и частота колебаний пружинного маятника | 32 |
| 2.5.6 | Период и частота колебаний математического маятника | 32 |
| 2.5.7 | Длина волны и ее связь с периодом колебаний частиц среды | 33 |
| 2.5.8 | Скорость звука в газообразной среде (идеальном газе) | 33 |
| 2.5.9 | Скорость звука в твердой среде | 33 |
| 3 | Молекулярная физика и термодинамика | 35 |
| 3.1 | Молекулярная физика | 35 |
| 3.1.1 | Количество вещества | 35 |
| 3.1.2 | Концентрация и плотность вещества | 35 |
| 3.1.3 | Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газа | 35 |
| 3.1.4 | Абсолютная температура | 35 |
| 3.1.5 | Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа | 35 |
| 3.1.6 | Средняя квадратичная скорость молекул газа | 36 |
| 3.1.7 | Связь давления газа с его концентрацией и температурой | 36 |
| 3.1.8 | Уравнение Менделеева-Клапейрона для состояния идеального газа | 36 |
| 3.1.9 | Закон Гей-Люссака для изобарного процесса | 36 |
| 3.1.10 | Закон Шарля для изохорного процесса | 36 |
| 3.1.11 | Закон Бойля-Мариотта для изотермического процесса | 36 |
| 3.1.12 | Закон Пуассона для адиабатического процесса | 37 |
| 3.1.13 | Графики изопроцессов в различных переменных состояния газа | 37 |
| 3.1.14 | Закон Дальтона для давления смеси идеальных газов | 37 |
| 3.1.15 | Внутренняя энергия идеального газа | 37 |
| 3.1.16 | Теплоемкости идеального газа в изопроцессах | 38 |
| 3.1.17 | Абсолютная влажность воздуха | 38 |
| 3.1.18 | Относительная влажность воздуха | 38 |
| 3.2 | Термодинамика | 38 |
| 3.2.1 | Количество теплоты при нагревании / охлаждении тела | 38 |
| 3.2.2 | Количество теплоты при плавлении / кристаллизации вещества | 38 |
| 3.2.3 | Количество теплоты при испарении / конденсации вещества | 39 |
| 3.2.4 | Количество теплоты выделяющееся при сгорании вещества | 39 |
| 3.2.5 | Уравнение теплового баланса | 39 |
| 3.2.6 | Элементарная и полная работа газа в термодинамическом процессе | 39 |
| 3.2.7 | Первый закон термодинамики | 39 |
| 3.2.8 | Второй закон термодинамики | 39 |
| 3.2.9 | Третий закон термодинамики | 40 |
| 3.2.10 | Изобарный процесс: работа газа, количество теплоты, изменение внутренней энергии | 40 |
| 3.2.11 | Изохорный процесс: работа газа, количество теплоты, изменение внутренней энергии | 40 |
| 3.2.12 | Изотермический процесс: работа газа, количество теплоты, изменение внутренней энергии | 40 |
| 3.2.13 | Адиабатический процесс: работа газа, количество теплоты, изменение внутренней энергии | 41 |
| 3.2.14 | Коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины | 41 |
| 3.2.15 | Коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины Карно (цикл Карно) | 41 |
| 3.2.16 | Холодильный коэффициент холодильной машины | 41 |
| 3.2.17 | Отопительный коэффициент теплового насоса | 42 |
| 4 | Электродинамика | 43 |
| 4.1 | Электрическое поле | 43 |
| 4.1.1 | Элементарный электрический заряд | 43 |
| 4.1.2 | Закон сохранения электрического заряда | 43 |
| 4.1.3 | Закон Кулона для силы взаимодействия точечных электрических зарядов | 43 |
| 4.1.4 | Сила действующая на электрический заряд в электрическом поле | 43 |
| 4.1.5 | Линейная плотность электрического заряда | 44 |
| 4.1.6 | Поверхностная плотность электрического заряда | 44 |
| 4.1.7 | Пространственная плотность электрического заряда | 44 |
| 4.1.8 | Потенциальная энергия взаимодействия двух точечных электрических зарядов | 44 |
| 4.1.9 | Связь разности потенциалов с работой электрического поля по перемещению заряда | 44 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.1.10 | Напряжение электрического поля | 44 |
| 4.1.11 | Принцип суперпозиции электрических полей | 45 |
| 4.1.12 | Связь напряженности и потенциала электрического поля | 45 |
| 4.1.13 | Напряженность электрического поля точечного электрического заряда | 45 |
| 4.1.14 | Потенциал электрического поля точечного электрического заряда | 45 |
| 4.1.15 | Напряженность электрического поля заряженной сферы | 46 |
| 4.1.16 | Потенциал электрического поля заряженной сферы | 46 |
| 4.1.17 | Напряженность однородного электрического поля заряженной плоскости | 46 |
| 4.1.18 | Потенциал однородного электрического поля заряженной плоскости | 46 |
| 4.1.19 | Напряженность и потенциал электрического поля в проводнике | 47 |
| 4.1.20 | Электрическая емкость уединенного проводника | 47 |
| 4.1.21 | Электрическая емкость проводящей сферы | 47 |
| 4.1.22 | Электрическая емкость проводящего круглого диска | 47 |
| 4.1.23 | Электрическая емкость конденсатора | 47 |
| 4.1.24 | Напряженность электрического поля внутри плоского конденсатора | 48 |
| 4.1.25 | Электрическая емкость плоского конденсатора | 48 |
| 4.1.26 | Электрическая емкость цилиндрического конденсатора | 48 |
| 4.1.27 | Электрическая емкость сферического конденсатора | 48 |
| 4.1.28 | Электрическая энергия заряженного конденсатора | 48 |
| 4.1.29 | Объемная плотность энергии электрического поля | 49 |
| 4.1.30 | Параллельное соединение конденсаторов | 49 |
| 4.1.31 | Последовательное соединение конденсаторов | 49 |
| 4.2 | Постоянный электрический ток | 49 |
| 4.2.1 | Сила электрического тока | 49 |
| 4.2.2 | Плотность электрического тока | 50 |
| 4.2.3 | Закон Ома для участка электрической цепи | 50 |
| 4.2.4 | Электрическое сопротивление цилиндрического однородного проводника | 50 |
| 4.2.5 | Зависимость электрического сопротивления проводника от температуры | 50 |
| 4.2.6 | Последовательное соединение проводников в электрической цепи | 50 |
| 4.2.7 | Параллельное соединение проводников в электрической цепи | 51 |
| 4.2.8 | Работа электрического тока на участке цепи | 51 |
| 4.2.9 | Мощность электрического тока на участке цепи | 51 |
| 4.2.10 | Закон Джоуля–Ленца для количества теплоты выделяющейся при протекании тока | 51 |
| 4.2.11 | Электродвижущая сила источника электричества (ЭДС) | 52 |
| 4.2.12 | Мощность источника электричества | 52 |
| 4.2.13 | Закон Ома для полной (замкнутой) электрической цепи | 52 |
| 4.2.14 | Закон Ома для неоднородного участка электрической цепи | 52 |
| 4.2.15 | Закон Фарадея для электролиза | 52 |
| 4.3 | Магнитное поле | 53 |
| 4.3.1 | Индукция магнитного поля | 53 |
| 4.3.2 | Принцип суперпозиции магнитных полей | 53 |
| 4.3.3 | Магнитное поле прямого электрического тока | 53 |
| 4.3.4 | Магнитное поле кольцевого электрического тока | 54 |
| 4.3.5 | Магнитное поле магнитной катушки (соленоида) | 54 |
| 4.3.6 | Сила действующая на проводник с током находящийся в магнитном поле (сила Ампера) | 54 |
| 4.3.7 | Правило левой руки для определения направления силы Ампера | 55 |
| 4.3.8 | Сила действующая на движущийся электрический заряд в магнитном поле (сила Лоренца) | 55 |
| 4.3.9 | Правило левой руки для определения направления силы Лоренца | 55 |
| 4.3.10 | Момент сил действующий на рамку с электрическим током в магнитном поле | 56 |
| 4.4 | Электромагнитная индукция | 56 |
| 4.4.1 | Поток вектора магнитной индукции (магнитный поток) | 56 |
| 4.4.2 | Закон электромагнитной индукции Фарадея | 56 |
| 4.4.3 | Правило Ленца для направления индукционного электрического тока | 56 |
| 4.4.4 | ЭДС индукции в прямом проводнике движущемся в однородном магнитном поле | 57 |
| 4.4.5 | Индуктивность проводящего замкнутого контура | 57 |
| 4.4.6 | Индуктивность магнитной катушки (соленоида) | 57 |
| 4.4.7 | ЭДС самоиндукции проводящего замкнутого контура | 57 |
| 4.4.8 | Энергия магнитного поля проводящего замкнутого контура | 57 |
| 4.5 | Электромагнитные колебания и волны | 58 |
| 4.5.1 | Идеальный колебательный контур: заряд и сила тока как функции времени | 58 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4.5.2 | Идеальный колебательный контур: период свободных колебаний (формула Томсона) | 58 |
| 4.5.3 | Идеальный колебательный контур: закон сохранения электромагнитной энергии | 58 |
| 4.5.4 | Условие квазистационарности в цепи переменного электрического тока | 58 |
| 4.5.5 | Вынужденные электромагнитные колебания: резистор в цепи переменного тока | 58 |
| 4.5.6 | Вынужденные электромагнитные колебания: конденсатор в цепи переменного тока | 59 |
| 4.5.7 | Вынужденные электромагнитные колебания: катушка в цепи переменного тока | 59 |
| 4.5.8 | Вынужденные электромагнитные колебания: RLC-цепочка | 59 |
| 4.5.9 | Вынужденные электромагнитные колебания: резонанс в RLC-цепочке | 60 |
| 4.5.10 | Мощность переменного электрического тока | 60 |
| 4.5.11 | Мощность переменного электрического тока через резистор | 60 |
| 4.5.12 | Мощность переменного электрического тока через конденсатор | 60 |
| 4.5.13 | Мощность переменного электрического тока через катушку | 60 |
| 4.5.14 | Мощность переменного электрического тока на произвольном участке цепи | 61 |
| 4.5.15 | Генератор переменного электрического тока | 61 |
| 4.5.16 | Электрический трансформатор на холостом ходу (без нагрузки) | 61 |
| 4.5.17 | Коэффициент полезного действия электрического трансформатора (с нагрузкой) | 62 |
| 4.5.18 | Электрический трансформатор в режиме номинальной нагрузки | 62 |
| 4.5.19 | Электромагнитные волны: свойство поперечности | 62 |
| 4.5.20 | Электромагнитные волны: длина, частота, фазовая скорость | 62 |
| 4.5.21 | Электромагнитные волны: частота волны и частота источника/приёмника | 62 |
| 4.5.22 | Электромагнитные волны: плотность потока энергии плоской волны | 63 |
| 4.5.23 | Электромагнитные волны: интенсивность излучения точечного источника | 63 |
| 4.5.24 | Электромагнитные волны: шкала длин волн | 63 |
| 4.6 | Геометрическая оптика | 63 |
| 4.6.1 | Закон отражения света от поверхности раздела двух сред | 63 |
| 4.6.2 | Абсолютный показатель преломления света в среде | 64 |
| 4.6.3 | Закон преломления света на поверхности раздела двух сред (закон Снеллиуса) | 64 |
| 4.6.4 | Предельный угол полного внутреннего отражения | 64 |
| 4.6.5 | Соотношение частот и длин волн при переходе света через границу раздела двух сред | 64 |
| 4.6.6 | Оптическая сила тонкой линзой | 64 |
| 4.6.7 | Формула тонкой линзы | 65 |
| 4.6.8 | Увеличение тонкой линзой | 65 |
| 4.6.9 | Собирающая линза: ход пучка лучей параллельного главной оптической оси | 65 |
| 4.6.10 | Собирающая линза: ход пучка лучей непараллельного главной оптической оси | 65 |
| 4.6.11 | Собирающая линза: ход произвольного луча | 65 |
| 4.6.12 | Собирающая линза: построение изображения в случае фотоаппарата | 66 |
| 4.6.13 | Собирающая линза: построение изображения в случае проектора | 66 |
| 4.6.14 | Собирающая линза: построение изображения в случае лупы | 66 |
| 4.6.15 | Рассеивающая линза: ход пучка лучей параллельного главной оптической оси | 66 |
| 4.6.16 | Рассеивающая линза: ход пучка лучей непараллельного главной оптической оси | 66 |
| 4.6.17 | Рассеивающая линза: ход произвольного луча | 67 |
| 4.6.18 | Рассеивающая линза: построение изображения | 67 |
| 4.7 | Волновая оптика | 67 |
| 4.7.1 | Условия максимумов и минимумов при интерференции волн | 67 |
| 4.7.2 | Основные соотношения в интерференционном опыте Юнга | 67 |
| 4.7.3 | Интерференционные кольца Ньютона | 68 |
| 4.7.4 | Основные соотношения для дифракционной решетки | 68 |
| 5 | Специальная теории относительности | 69 |
| 5.0.1 | Инвариантность скорости света в вакууме | 69 |
| 5.0.2 | Принцип относительности Эйнштейна | 69 |
| 5.0.3 | Полная энергия свободной частицы | 69 |
| 5.0.4 | Энергия покоя свободной частицы | 69 |
| 5.0.5 | Импульс частицы | 69 |
| 5.0.6 | Связь энергии и импульса свободной частицы | 69 |

| | | |
|--------|--|----|
| 6 | Квантовая физика | 71 |
| 6.1 | Корпускулярно-волновой дуализм | 71 |
| 6.1.1 | Гипотеза Планка о квантах | 71 |
| 6.1.2 | Энергия фотона | 71 |
| 6.1.3 | Импульс фотона | 71 |
| 6.1.4 | Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта | 72 |
| 6.1.5 | Красная граница фотоэффекта | 72 |
| 6.1.6 | Длина волны де Бройля движущейся частицы | 72 |
| 6.1.7 | Частота волны де Бройля движущейся частицы | 72 |
| 6.1.8 | Давление света | 72 |
| 6.2 | Физика атома | 73 |
| 6.2.1 | Постулаты Бора | 73 |
| 6.2.2 | Уровни энергии электрона в атоме водорода | 73 |
| 6.2.3 | Радиусы орбит электрона в атоме водорода | 73 |
| 6.2.4 | Длины волн спектральных линий атома водорода | 73 |
| 6.3 | Физика атомного ядра | 74 |
| 6.3.1 | Нуклонная модель ядра | 74 |
| 6.3.2 | Дефект массы ядра | 74 |
| 6.3.3 | Энергия связи ядра в Джоулях | 74 |
| 6.3.4 | Энергия связи ядра в МэВ | 75 |
| 6.3.5 | Удельная энергия связи ядра | 75 |
| 6.3.6 | Основные радиоактивные превращения атомных ядер | 75 |
| 6.3.7 | Закон радиоактивного распада | 75 |
| 6.3.8 | Масса радиоактивного вещества | 76 |
| 6.3.9 | Активность радиоактивного вещества | 76 |
| 6.3.10 | Уравнение ядерной реакции | 76 |
| 6.3.11 | Закон сохранения энергии для ядерной реакции | 76 |
| 6.3.12 | Энергетический выход ядерной реакции | 76 |
| 6.3.13 | Реакция деления ядра урана | 77 |
| 6.3.14 | Коэффициент размножения нейтронов | 77 |
| 6.3.15 | Реакция слияния легких ядер (термоядерный синтез) | 77 |
| 7 | Вспомогательные материалы | 79 |
| 7.1 | Приставки к единицам измерения | 79 |
| 7.1.1 | Повышающие и понижающие приставки к единицам измерения | 79 |

0 | Предисловие

0.1 Приветствие

Дорогие ребята!

Перед вами сборник всех формул по школьной физике, составленный профессиональными физиками вычислителями для проведения занятий в нашей физико-математической студии. Мы ставили перед собой цель создать документ, в котором вы можете очень быстро найти нужную формулу, правильно ее применить при решении задачи, а также легко и надолго ее запомнить.

Для поиска формул пользуйтесь оглавлением или встроенной функцией поиска строки в документе (CTRL+F), чтобы быстро найти все вхождения интересующего вас термина.

Размерности всех входящих величин даны в описании каждой формулы, и для ее правильного применения не забывайте перевести все данные вашей задачи в стандартную систему единиц SI.

Секрет устойчивого запоминания формул прост: решайте больше задач и старайтесь сначала вспомнить нужные формулы, а уже затем их подсмотреть для самопроверки. Твердое знание формул наизусть позволит вам намного быстрее решать любые задачи, так как вы сразу, еще читая условие, начинаете понимать структуру задачи и взаимосвязи между физическими величинами.

Ваши замечания или пожелания к сборнику оставляйте на нашем сайте, мы постоянно работаем над его улучшением и дополнением.

Изучение физики, – это в первую очередь постановка экспериментов и решение многочисленных сложных задач, мы желаем вам большого успеха в этом исключительно интересном и полезном занятии!

0.2 Как решать задачи по физике

Решение любой задачи по физике состоит из определенной последовательности этапов которые мы приводим ниже вместе с различными советами как в итоге получить правильное решение задачи и не потерять баллы за недостаточное оформление решения. Всегда помните, что человек и ошибка это синонимы, и без специальных усилий и приемов, а также постоянной самопроверки, вы никогда не получите правильный ответ даже в простой задаче.

0.2.1 Подготовительный этап

1. Внимательно читаем условие задачи вникая во все детали и обращая особое внимание на непонятные слова. Как правило, условие задачи необходимо читать не менее трех раз.
2. Делаем крупный рисунок задачи слева на странице и наносим на него все заданные величины в буквенном виде.
3. Справа от рисунка выписываем численные значения всех заданных величин. В большинстве случаев рекомендуется их сразу перевести в систему SI.
4. Искомые величины выписываем ниже рядом со знаком вопроса вместе с размерностью в которой нужно записать ответ.

0.2.2 Разбор физики

1. Разбираемся, как работает данная физическая система, какие процессы или явления имеют место быть.
2. Наносим на чертеж дополнительные физические величины которые вам потребуются при решении (например, скорости, силы и т.п.).

3. Создаем список дополнительных физических величин с пояснениями, чтобы проверяющему были понятны введенные вами обозначения.
4. Пытаемся понять, имеет ли задача решение, и единственное ли оно.
5. Пытаемся сразу написать ответ задачи на основе анализа размерностей входных данных и поведения системы в предельных случаях (для сильных учеников).
6. Записываем математические соотношения между физическими величинами на основе законов физики которые применимы в данной задаче. Перед каждым соотношением записываем обоснование применимости данного закона. Убеждаемся, что все входящие величины имеют пояснения на чертеже или в списке обозначений, если нет, то их туда добавляем.
7. За исключением особых случаев крайне не рекомендуется производить подстановку заданных численных значений величин в записываемые уравнения, так как в дальнейшем пропадает возможность следить за размерностями и предельными случаями, что является основным способом поиска ошибок в решении.
8. Подсчитываем количество входящих неизвестных и количество записанных уравнений, в случае необходимости ищем дополнительные соотношения между величинами имеющие место быть в данной задаче.
9. Тщательно перепроверяем выписанную систему уравнений на корректность и убеждаемся, что везде правильные размерности.
10. Если система выглядит громоздко, и непонятно, как ее решать, пытаемся найти альтернативный более простой способ решения задачи.

0.2.3 Нахождение решения

1. Решаем полученную систему уравнений в буквенном виде применяя различные эффективные приемы типа сложения или деления уравнений друг на друга.
2. Все выкладки делаем аккуратно, последовательно и математически корректно, разбивая их на логические блоки путем перехода на новую строку. На каждом шаге проверяем размерность и правильность получаемых выражений, избегаем делать несколько математических преобразований одновременно.
3. Выписываем окончательный ответ в буквенном виде, проверяем его размерность и правильность в различных предельных случаях когда легко в уме получить решение задачи.
4. Подставляем числовые значения заданных величин в формулу и проводим эффективное вычисление ответа, собирая отдельно все степени и производя максимально возможные упрощения перед тем, как воспользоваться калькулятором.
5. Проверяем разумность получившегося ответа по порядку величины и записываем его окончательно в требуемых единицах измерения после слова Ответ.

1 | Математический аппарат

1.1 Элементарные функции

1.1.1 Свойства степени

| | | |
|--|--|--|
| $a^x a^y = a^{x+y}$ $\frac{a^x}{a^y} = a^{x-y}$ $(a^x)^y = a^{xy}$ | | $(ab)^x = a^x b^x$ $\left(\frac{a}{b}\right)^x = \frac{a^x}{b^x}$ $a^{-x} = \frac{1}{a^x}$ $a^0 = 1$ |
|--|--|--|

1.1.2 Свойства логарифма

| | | |
|---|--|--|
| $a^{\log_a b} = b$ $\log_a 1 = 0$ $\log_a a = 1$ $\log_a b = \frac{\log_x b}{\log_x a}$ | | $\log_a xy = \log_a x + \log_a y$ $\log_a \frac{x}{y} = \log_a x - \log_a y$ $\log_a b^n = n \log_a b$ $\log_{a^n} b = \frac{1}{n} \log_a b$ |
|---|--|--|

1.1.3 Определения тригонометрических функций

| | | |
|--|--|--|
| $\sin \angle A = \frac{BC}{AB}$ $\cos \angle A = \frac{AC}{AB}$ $\operatorname{tg} \angle A = \frac{BC}{AC}$ $\operatorname{ctg} \angle A = \frac{AC}{BC}$ | <p>$\sin \alpha$ – отношение противолежащего к углу катета к гипотенузе</p> <p>$\cos \alpha$ – отношение прилежащего к углу катета к гипотенузе</p> <p>$\operatorname{tg} \alpha$ – отношение противолежащего к углу катета к прилежащему катету</p> <p>$\operatorname{ctg} \alpha$ – отношение прилежащего к углу катета к противолежащему катету</p> | |
|--|--|--|

1.1.4 Основные свойства тригонометрических функций

| | | |
|---------------------------|--|---|
| $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$ | $1 + \operatorname{tg}^2 x = \frac{1}{\cos^2 x}$ | $1 + \operatorname{ctg}^2 x = \frac{1}{\sin^2 x}$ |
|---------------------------|--|---|

1.1.5 Формулы двойного аргумента тригонометрических функций

| | |
|---|--|
| $\sin 2x = 2 \sin x \cos x$ $\cos 2x = \cos^2 x - \sin^2 x$ | $\operatorname{tg} 2x = \frac{2 \operatorname{tg} x}{1 - \operatorname{tg}^2 x}$ $\operatorname{ctg} 2x = \frac{\operatorname{ctg}^2 x - 1}{2 \operatorname{ctg} x}$ |
|---|--|

1.1.6 Формулы составного аргумента тригонометрических функций

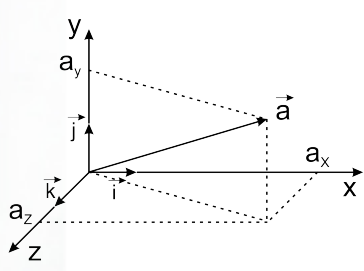
| | |
|--|--|
| $\sin(x \pm y) = \sin x \cos y \pm \cos x \sin y$ $\cos(x \pm y) = \cos x \cos y \mp \sin x \sin y$ $\operatorname{tg}(x \pm y) = \frac{\operatorname{tg} x \pm \operatorname{tg} y}{1 \mp \operatorname{tg} x \operatorname{tg} y}$ $\operatorname{ctg}(x \pm y) = \frac{\operatorname{ctg} x \operatorname{ctg} y \mp 1}{\operatorname{ctg} y \pm \operatorname{ctg} x}$ | |
|--|--|

1.1.7 Формулы произведения тригонометрических функций

| | |
|---|--|
| $\sin x \sin y = \frac{1}{2} (\cos(x - y) - \cos(x + y))$ $\sin x \cos y = \frac{1}{2} (\sin(x - y) + \sin(x + y))$ $\cos x \cos y = \frac{1}{2} (\cos(x - y) + \cos(x + y))$ | |
|---|--|

1.2 Векторное исчисление

1.2.1 Координатная форма вектора

| | | |
|--|--|---|
| $\vec{a} := (a_x, a_y, a_z)$ $\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$ | \vec{a} – вектор (символ математического объекта) a_x – компонента (проекция) вектора вдоль оси x a_y – компонента (проекция) вектора вдоль оси y a_z – компонента (проекция) вектора вдоль оси z $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ – базисные векторы системы координат |  |
|--|--|---|

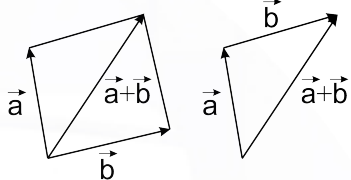
1.2.2 Модуль вектора

| | | |
|--|--|---|
| $a := \vec{a} := \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$ | $a, \vec{a} $ – модуль вектора a_x – компонента (проекция) вектора вдоль оси x a_y – компонента (проекция) вектора вдоль оси y a_z – компонента (проекция) вектора вдоль оси z | Модуль вектора это длина направленного отрезка, представляющего вектор. |
|--|--|---|

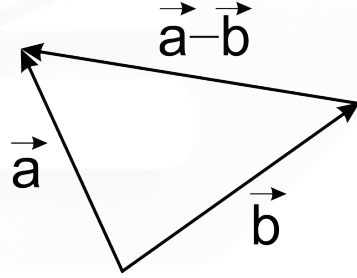
1.2.3 Умножение вектора на число

| | | |
|--|---|---|
| $\alpha \vec{a} := (\alpha a_x, \alpha a_y, \alpha a_z)$ | α – произвольное число \vec{a} – вектор (символ математического объекта) a_x – компонента (проекция) вектора вдоль оси x a_y – компонента (проекция) вектора вдоль оси y a_z – компонента (проекция) вектора вдоль оси z | Вектор $\alpha \vec{a}$ коллинеарен \vec{a} и его длина $ \alpha \vec{a} = \alpha \vec{a} $. |
|--|---|---|

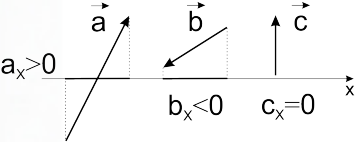
1.2.4 Сложение векторов

| | | |
|--|--|---|
| $\vec{a} + \vec{b} := (a_x + b_x, a_y + b_y, a_z + b_z)$ | \vec{a} – вектор (символ математического объекта) \vec{b} – вектор (символ математического объекта) a_x, a_y, a_z – компоненты вектора \vec{a} b_x, b_y, b_z – компоненты вектора \vec{b} |  |
|--|--|---|

1.2.5 Вычитание векторов

| | | |
|--|--|--|
| $\vec{a} - \vec{b} := (a_x - b_x, a_y - b_y, a_z - b_z)$ | \vec{a} – вектор (символ математического объекта) \vec{b} – вектор (символ математического объекта) a_x, a_y, a_z – компоненты вектора \vec{a} b_x, b_y, b_z – компоненты вектора \vec{b} |  |
|--|--|--|

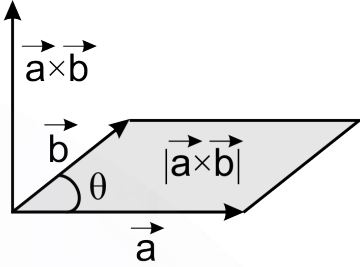
1.2.6 Проекция вектора на произвольную ось

| | | |
|-------------------------------|---|---|
| $a_x = \vec{a} \cos \theta$ | a_x – проекция вектора \vec{a} на произвольную ось x $ \vec{a} $ – модуль вектора \vec{a} θ – угол между вектором \vec{a} и направлением оси x |  |
|-------------------------------|---|---|

1.2.7 Скалярное произведение векторов

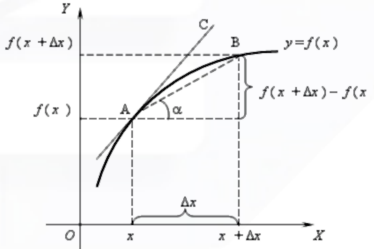
| | | |
|--|---|---|
| $\vec{a} \cdot \vec{b} := a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$ $\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{a} \vec{b} \cos \theta$ | \vec{a} – вектор (символ математического объекта) \vec{b} – вектор (символ математического объекта) a_x, a_y, a_z – компоненты вектора \vec{a} b_x, b_y, b_z – компоненты вектора \vec{b} θ – угол между векторами \vec{a} и \vec{b} | $\vec{a} \cdot \vec{b}$ это проекция вектора \vec{a} на вектор \vec{b} или проекция вектора \vec{b} на вектор \vec{a} . |
|--|---|---|

1.2.8 Векторное произведение векторов

| | | |
|--|---|---|
| $(\vec{a} \times \vec{b})_x := a_y b_z - a_z b_y$ $(\vec{a} \times \vec{b})_y := a_z b_x - a_x b_z$ $(\vec{a} \times \vec{b})_z := a_x b_y - a_y b_x$ $ \vec{a} \times \vec{b} = \vec{a} \vec{b} \sin \theta$ | <p>\vec{a} – вектор (символ математического объекта) \vec{b} – вектор (символ математического объекта) a_x, a_y, a_z – компоненты вектора \vec{a} b_x, b_y, b_z – компоненты вектора \vec{b} θ – угол между векторами \vec{a} и \vec{b}</p> <p>Вектор $\vec{a} \times \vec{b}$ перпендикулярен плоскости, образуемой векторами \vec{a} и \vec{b}, а его направление определяется правилом буравчика</p> <p>Модуль вектора $\vec{a} \times \vec{b}$ равен площади параллелограмма, натянутого на вектора \vec{a} и \vec{b}</p> |  |
|--|---|---|

1.3 Дифференциальное исчисление

1.3.1 Производная функции

| | | |
|--|---|--|
| $f'(x) := \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$ | <p>$f'(x)$ – производная функция $f(x)$ – исходная функция Δx – приращение аргумента \lim – число к которому стремится отношение приращения функции к приращению ее аргумента при стремлении Δx к нулю Значение производной $f'(x)$ равно тангенсу угла наклона касательной C к оси абсцисс в точке x</p> |  |
|--|---|--|

1.3.2 Основные правила дифференцирования

| | | |
|---|---|---|
| $(const)' = 0$ $(\alpha f)' = \alpha f'$ $(f + g)' = f' + g'$ $(fg)' = f'g + fg'$ $\left(\frac{f}{g}\right)' = \frac{f'g - fg'}{g^2}$ | <p>$const$ – постоянная функция (константа) f, g – произвольные дифференцируемые функции</p> | <p>Производные вычисляются по аргументам функций.</p> |
|---|---|---|

1.3.3 Производная сложной функции

| | | |
|----------------------------|---|--|
| $(f(g(x)))'_x = f'_g g'_x$ | <p>$(f(g(x)))'_x$ – производная f по аргументу x f'_g – производная f по аргументу g g'_x – производная g по аргументу x</p> | |
|----------------------------|---|--|

1.3.4 Производная обратной функции

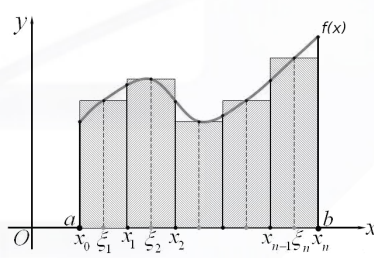
| | | |
|----------------------------|--|---|
| $(f^{-1})' = \frac{1}{f'}$ | <p>f^{-1} – функция, обратная к $f(x)$: $f^{-1}(f(x)) = x$ Производная f^{-1} вычисляется по своему аргументу y Производная f вычисляется по своему аргументу x</p> | <p>Чтобы получить явную зависимость от y в выражении справа x заменяется на $f^{-1}(y)$.</p> |
|----------------------------|--|---|

1.3.5 Производные элементарных функций

| | | |
|-------------------------------------|---|--|
| $(x^\alpha)' = \alpha x^{\alpha-1}$ | $(\sin(x))' = \cos(x)$ | $(\arcsin(x))' = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$ |
| $(a^x)' = a^x \ln(a)$ | $(\cos(x))' = -\sin(x)$ | $(\arccos(x))' = -\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$ |
| $(\ln(x))' = \frac{1}{x}$ | $(\operatorname{tg}(x))' = \frac{1}{\cos^2(x)}$ | $(\operatorname{arctg}(x))' = \frac{1}{1+x^2}$ |
| $(\log_a(x))' = \frac{1}{x \ln(a)}$ | $(\operatorname{ctg}(x))' = -\frac{1}{\sin^2(x)}$ | $(\operatorname{arcctg}(x))' = -\frac{1}{1+x^2}$ |

1.4 Интегральное исчисление

1.4.1 Определенный интеграл от функции

| | | |
|--|---|--|
| $\int_a^b dx f(x) :=$ $\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \sum_{i=0}^{n-1} \Delta x_i f(\zeta_i)$ | <p>a – нижний предел интегрирования b – верхний предел интегрирования $f(x)$ – подинтегральная функция Δx_i – разбиение интервала интегрирования Значение интеграла равно площади фигуры ограниченной графиком $f(x)$ на интервале $[a, b]$</p> |  |
|--|---|--|

1.4.2 Связь определенного интеграла и первообразной (формула Ньютона – Лейбница)

| | | |
|----------------------------------|---|--|
| $\int_a^b dx f(x) = F(b) - F(a)$ | <p>a – нижний предел интегрирования b – верхний предел интегрирования $f(x)$ – подинтегральная функция $F(x)$ – первообразная функция: $F'(x) = f(x)$</p> | |
|----------------------------------|---|--|

1.4.3 Первообразные элементарных функций

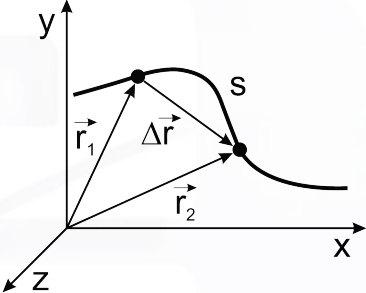
| | | |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| $\int dx C = Cx + const$ | $\int dx x = \frac{x^2}{2} + const$ | $\int dx x^2 = \frac{x^3}{3} + const$ |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|



2 | Механика

2.1 Кинематика

2.1.1 Траектория, путь, перемещение

| | | |
|--|---|---|
| | <p>$\vec{r}(t) = (x(t), y(t), z(t))$ – радиус-вектор положения материальной точки</p> <p>\vec{r}_1 – радиус-вектор материальной точки в момент времени t_1</p> <p>\vec{r}_2 – радиус-вектор материальной точки в момент времени t_2</p> <p>$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ – перемещение материальной точки</p> <p>s – длина траектории (пройденный путь) материальной точки</p> |  |
|--|---|---|

2.1.2 Средняя скорость материальной точки

| | | |
|---|---|--|
| $\vec{v} := \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t)}{\Delta t}$ | <p>\vec{v} [м/с] – средняя скорость за время Δt</p> <p>$\Delta\vec{r}$ [м] – перемещение материальной точки за время Δt</p> <p>Δt [с] – промежуток времени на котором вычисляется средняя скорость</p> | |
|---|---|--|

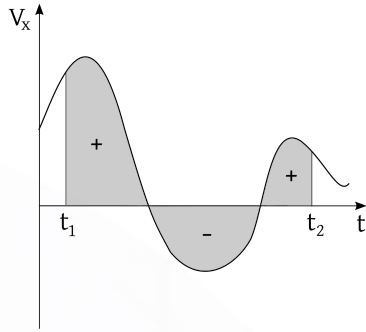
2.1.3 Мгновенная скорость материальной точки

| | | |
|--|---|---|
| $\vec{v}(t) := \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \vec{r}'(t)$ | <p>\vec{v} [м/с] – мгновенная скорость</p> <p>$\Delta\vec{r}$ [м] – перемещение материальной точки за время Δt</p> <p>Δt [с] – промежуток времени на котором вычисляется средняя скорость</p> | <p>Вектор мгновенной скорости является производной радиуса-вектора по времени:</p> <p>$v_x = x'(t)$</p> <p>$v_y = y'(t)$</p> <p>$v_z = z'(t)$</p> <p>Мгновенная скорость направлена по касательной к траектории в каждой её точке.</p> |
|--|---|---|

2.1.4 Преобразование скорости в движущуюся систему отсчета

| | | |
|-------------------------------------|---|---|
| $\vec{V} = \vec{V}' + \vec{V}_{co}$ | <p>\vec{V} [м/с] – скорость тела в лабораторной системе отсчета</p> <p>\vec{V}' [м/с] – скорость тела в движущейся системе отсчета</p> <p>\vec{V}_{co} [м/с] – скорость движущейся системы отсчета относительно лабораторной системы отсчета</p> | <p>Из этой формулы легко выразить \vec{V}' если даны \vec{V} и \vec{V}_{co}.</p> |
|-------------------------------------|---|---|

2.1.5 Связь перемещения с графиком зависимости скорости от времени

| | | |
|---|---|---|
| $\Delta \vec{r} = \int_{t_1}^{t_2} dt \vec{v}(t)$ $\Delta x = \int_{t_1}^{t_2} dt v_x(t)$ <p>Изменение координаты x равно площади под графиком функции $v_x(t)$ с учетом знака.</p> | <p>$\Delta \vec{r}$ [М] – перемещение на интервале времени $[t_1, t_2]$</p> <p>$\vec{v}(t)$ [м/с] – скорость как функция времени t</p> <p>Δx [М] – изменение координаты на интервале времени $[t_1, t_2]$</p> <p>$v_x(t)$ [м/с] – проекция скорости как функция времени t</p> <p>t [с] – время</p> |  |
|---|---|---|

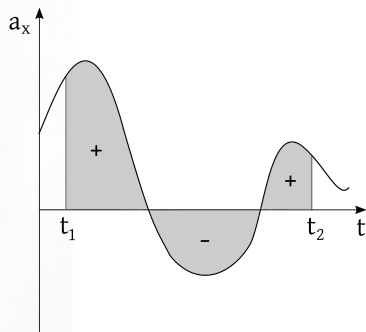
2.1.6 Среднее ускорение материальной точки

| | | |
|--|---|--|
| $\vec{a} := \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)}{\Delta t}$ | <p>\vec{a} [м/с²] – среднее ускорение за время Δt</p> <p>$\Delta \vec{v}$ [м/с] – изменение мгновенной скорости за время Δt</p> <p>Δt [с] – промежуток времени на котором вычисляется среднее ускорение</p> | |
|--|---|--|

2.1.7 Мгновенное ускорение материальной точки

| | | |
|---|---|--|
| $\vec{a}(t) := \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{v}'(t)$ | <p>\vec{a} [м/с²] – мгновенное ускорение</p> <p>$\Delta \vec{v}$ [м/с] – изменение мгновенной скорости за время Δt</p> <p>Δt [с] – промежуток времени на котором вычисляется среднее ускорение</p> | <p>Вектор мгновенного ускорения является производной вектора мгновенной скорости по времени:</p> $a_x = v'_x(t)$ $a_y = v'_y(t)$ $a_z = v'_z(t)$ |
|---|---|--|

2.1.8 Связь изменения скорости с графиком зависимости ускорения от времени

| | | |
|--|---|---|
| $\Delta \vec{v} = \int_{t_1}^{t_2} dt \vec{a}(t)$ $\Delta v_x = \int_{t_1}^{t_2} dt a_x(t)$ <p>Изменение проекции скорости v_x равно площади под графиком функции $a_x(t)$ с учетом знака.</p> | <p>$\Delta \vec{v}$ [м/с] – изменение скорости на интервале времени $[t_1, t_2]$</p> <p>$\vec{a}(t)$ [м/с²] – ускорение как функция времени t</p> <p>Δv_x [м/с] – изменение проекции скорости на интервале времени $[t_1, t_2]$</p> <p>$a_x(t)$ [м/с²] – проекция ускорения как функция времени t</p> <p>t [с] – время</p> |  |
|--|---|---|

2.1.9 Ускорение, скорость, перемещение для равномерного движения

| | | |
|---|--|---|
| $\vec{a}(t) = 0$ $\vec{v}(t) = \vec{v} = const$ $\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}t$ | <p>$\vec{a}(t)$ [м/с²] – ускорение как функция времени</p> <p>$\vec{v}(t)$ [м/с] – скорость как функция времени</p> <p>$\vec{r}(t)$ [М] – радиус-вектор как функция времени</p> <p>t [с] – время</p> <p>\vec{r}_0 [М] – начальный радиус-вектор при $t = 0$</p> | <p>В проекции на ось x:</p> $a_x(t) = 0$ $v_x(t) = v_x = const$ $x(t) = x_0 + v_x t$ |
|---|--|---|

2.1.10 Ускорение, скорость, перемещение для равноускоренного движения

| | | |
|---|---|--|
| $\vec{a}(t) = \vec{a} = \text{const}$ $\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a} t$ $\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2$ | $\vec{a}(t)$ [м/с ²] – ускорение как функция времени $\vec{v}(t)$ [м/с] – скорость как функция времени $\vec{r}(t)$ [м] – радиус-вектор как функция времени t [с] – время \vec{v}_0 [м/с] – начальная скорость при $t = 0$ \vec{r}_0 [м] – начальный радиус-вектор при $t = 0$ | <p>В проекции на ось x:</p> $a_x(t) = a_x = \text{const}$ $v_x(t) = v_{0x} + a_x t$ $x(t) = x_0 + v_{0x} t + \frac{1}{2} a_x t^2$ |
|---|---|--|

2.1.11 Связь между перемещением и средней скоростью для равноускоренного движения

| | | |
|---|---|---|
| $\vec{r}(t) - \vec{r}_0 = \frac{\vec{v}_0 + \vec{v}(t)}{2} t$ | $\vec{r}(t)$ [м] – радиус-вектор как функция времени \vec{r}_0 [м] – начальный радиус-вектор при $t = 0$ \vec{v}_0 [м/с] – начальная скорость при $t = 0$ $\vec{v}(t)$ [м/с] – скорость как функция времени t [с] – время | <p>Средняя скорость равна полусумме начальной и конечной скорости только для равноускоренного движения.</p> |
|---|---|---|

2.1.12 Связь между изменением скорости и перемещением для равноускоренного движения

| | | |
|--|--|---|
| $ \vec{v} ^2 - \vec{v}_0 ^2 = 2(\vec{r} - \vec{r}_0) \cdot \vec{a}$ | \vec{v}_0 [м/с] – скорость в начальный момент времени \vec{v} [м/с] – скорость в некоторый момент времени $(\vec{r} - \vec{r}_0)$ [м] – перемещение в некоторый момент времени \vec{a} [м/с ²] – постоянное ускорение | <p>Если начальная скорость коллинеарна ускорению (траектория тела является прямой линией), то формула упрощается:</p> $ v_x^2 - v_{0x}^2 = 2 x - x_0 a_x $ |
|--|--|---|

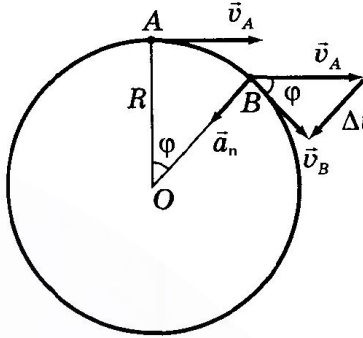
2.1.13 Движение тела, брошенного под углом к горизонту (временные зависимости)

| | | |
|--|---|--|
| $a_x(t) = 0$ $a_y(t) = -g$ $v_x(t) = v_0 \cos(\alpha)$ $v_y(t) = v_0 \sin(\alpha) - g t$ $x(t) = v_0 \cos(\alpha) t$ $y(t) = v_0 \sin(\alpha) t - \frac{1}{2} g t^2$ | a_x, a_y [м/с ²] – проекции ускорения на оси x, y v_x, v_y [м/с] – проекции скорости на оси x, y x, y [м] – проекции радиуса-вектора на оси x, y v_0 [м/с] – модуль начальной скорости тела α [рад] – угол начальной скорости тела относительно оси x $g = 9.81$ [м/с ²] – ускорение свободного падения | |
|--|---|--|

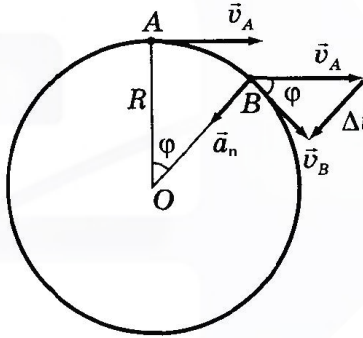
2.1.14 Движение тела, брошенного под углом к горизонту (параметры траектории)

| | | |
|---|--|--|
| $\tau = \frac{v_0}{g} \sin(\alpha)$ $H = \frac{v_0^2}{2g} \sin^2(\alpha)$ $L = \frac{v_0^2}{g} \sin(2\alpha)$ | τ [с] – время подъема тела на максимальную высоту H H [м] – максимальная высота подъема тела L [м] – дальность полета тела v_0 [м/с] – модуль начальной скорости тела α [рад] – угол начальной скорости тела относительно оси x $g = 9.81$ [м/с ²] – ускорение свободного падения Длительность полета тела равна 2τ | |
|---|--|--|

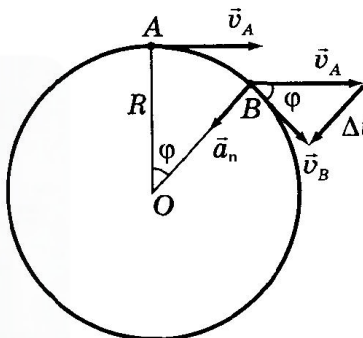
2.1.15 Средняя угловая скорость при движении по окружности (вращении)

| | | |
|---|---|---|
| $\omega := \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{\phi(t + \Delta t) - \phi(t)}{\Delta t}$ | <p>ω [рад/с] – средняя угловая скорость за время Δt $\Delta\phi$ [рад] – изменение угла за время Δt Δt [с] – промежуток времени на котором вычисляется средняя угловая скорость</p> |  |
|---|---|---|

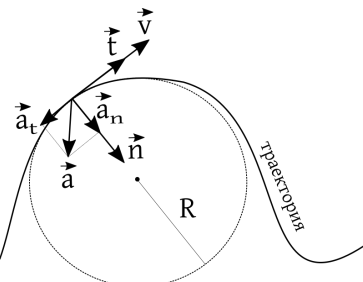
2.1.16 Мгновенная угловая скорость при движении по окружности (вращении)

| | | |
|---|---|--|
| $\omega(t) := \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \phi'(t)$ | <p>ω [рад/с] – мгновенная угловая скорость $\Delta\phi$ [рад] – изменение угла за время Δt Δt [с] – промежуток времени на котором вычисляется средняя угловая скорость</p> |  |
|---|---|--|

2.1.17 Основные соотношения для равномерного движения по окружности

| | | |
|---|---|---|
| $\omega = const$ $\phi(t) = \phi_0 + \omega t$ $v = \omega R$ $a_n = \frac{v^2}{R}$ $a_t = 0$ $T = \frac{2\pi}{\omega}$ $\nu = \frac{1}{T} = \frac{N}{t}$ | <p>ω [рад/с] – угловая скорость (круговая частота) $\phi(t)$ [рад] – угловое положение ϕ_0 [рад] – угловое положение при $t = 0$ t [с] – время v [м/с] – линейная скорость R [м] – радиус окружности a_n [м/с²] – центростремительное ускорение a_t [м/с²] – тангенциальное ускорение T [с] – период вращения ν [с⁻¹] – частота вращения N [] – число оборотов за время t</p> |  |
|---|---|---|

2.1.18 Нормальное и тангенциальное ускорения тела при криволинейном движении

| | | |
|---|--|---|
| $\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n = \dot{v} \vec{t} + \frac{v^2}{R} \vec{n}$ $ \vec{a}_t = \dot{v}$ $ \vec{a}_n = \frac{v^2}{R}$ | <p>\vec{a} [м/с²] – ускорение \vec{a}_t [м/с²] – тангенциальное ускорение \vec{a}_n [м/с²] – нормальное ускорение \vec{t} [] – единичный вектор касательной \vec{n} [] – единичный вектор нормали $v = \vec{v}$ [м/с] – модуль скорости R [м] – радиус кривизны траектории (радиус соприкасающейся окружности)</p> |  |
|---|--|---|

2.2 Динамика

2.2.1 Плотность тела

| | | |
|-----------------------|---|--|
| $\rho := \frac{m}{V}$ | ρ [кг/м ³] – плотность тела m [кг] – масса тела V [м ³] – объем тела | <p>Масса это скалярная физическая величина, являющаяся количественной мерой инерционных и гравитационных свойств тела.</p> <p>Объем это скалярная физическая величина, являющаяся количественной мерой занимаемого телом пространства.</p> |
|-----------------------|---|--|

2.2.2 Принцип суперпозиции действующих сил

| | | |
|---|---|--|
| $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$ | \vec{F} [Н] – равнодействующая сила \vec{F}_1 [Н] – первая сила \vec{F}_2 [Н] – вторая сила ... \vec{F}_n [Н] – n -я сила | <p>Сила это векторная физическая величина, являющаяся мерой воздействия на данное тело других тел или полей.</p> <p>Если на тело действует несколько сил, то результат действия этих сил будет определяться их векторной суммой.</p> |
|---|---|--|

2.2.3 Первый закон Ньютона

| | | |
|--|---|--|
| | <p>Существуют такие системы отсчёта, называемые инерциальными, относительно которых материальная точка, если на неё не действует никакая сила (или действие всех сил взаимно скомпенсировано), находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения.</p> <p>Свойство тел сохранять свою скорость движения при отсутствии суммарной внешней силы называется инертностью.</p> | |
|--|---|--|

2.2.4 Второй закон Ньютона в классической форме

| | | |
|----------------------|--|--|
| $m\vec{a} = \vec{F}$ | m [кг] – масса тела \vec{a} [м/с ²] – ускорение тела \vec{F} [Н] – равнодействующая сила | <p>В инерциальной системе отсчёта ускорение с которым движется тело в данный момент времени прямо пропорционально равнодействующей силе в этот момент времени.</p> |
|----------------------|--|--|

2.2.5 Второй закон Ньютона в импульсной форме

| | | |
|--|--|---|
| $\dot{\vec{p}} := \frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$ | $\dot{\vec{p}}$ [кг м/с ²] – производная импульса тела по времени \vec{F} [Н] – равнодействующая сила | Изменение импульса тела $\Delta\vec{p}$ за промежуток времени Δt можно вычислить как $\Delta\vec{p} = \vec{F}_c \Delta t$, где \vec{F}_c это средняя равнодействующая сила на этом промежутке времени. |
|--|--|---|

2.2.6 Третий закон Ньютона

| | | |
|--------------------------------|--|---|
| $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$ | \vec{F}_{21} [Н] – сила действующая на тело 2 со стороны тела 1 \vec{F}_{12} [Н] – сила действующая на тело 1 со стороны тела 2 | В инерциальной системе отсчёта силы, с которыми два тела действуют друг на друга, равны по модулю и противоположны по направлению и направлены вдоль одной прямой. Этот закон является следствием закона сохранения импульса в замкнутой системе тел. |
|--------------------------------|--|---|

2.2.7 Принцип относительности Галилея

| | | |
|--|---|--|
| | Во всех инерциальных системах отсчёта результат одного и того же механического эксперимента будет одинаковым, т.е. законы механического движения идентичны. | |
|--|---|--|

2.2.8 Закон всемирного тяготения

| | | |
|---------------------------------------|---|---|
| $ \vec{F}_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ | \vec{F}_g [Н] – сила гравитационного притяжения двух материальных точек $G = 6.6743 \cdot 10^{-11}$ [м ³ /(кг с ²)] – гравитационная постоянная m_1 [кг] – масса первой материальной точки m_2 [кг] – масса второй материальной точки r [м] – расстояние между материальными точками | Сила гравитационного притяжения между двумя материальными точками направлена вдоль прямой их соединяющей. Эта формула справедлива и для силы притяжения двух однородных шаров, если в качестве r брать расстояние между их центрами, а также однородного шара и материальной точки. |
|---------------------------------------|---|---|

2.2.9 Сила тяжести и ускорение свободного падения

| | | |
|--|---|---|
| $ \vec{F}_g = m g$ $g = \frac{GM}{(R+h)^2}$ | \vec{F}_g [Н] – сила тяжести действующая на тело вблизи поверхности планеты m [кг] – масса тела g [м/с ²] – модуль ускорения свободного падения $G = 6.6743 \cdot 10^{-11}$ [м ³ /(кг с ²)] – гравитационная постоянная M [кг] – масса планеты R [м] – радиус планеты h [м] – высота тела над поверхностью планеты | <p>Сила тяжести и ускорение свободного падения направлены в центр планеты. Вблизи поверхности Земли ускорение свободного падения по модулю в среднем равно $g = 9.81$ [м/с²].</p> |
|--|---|---|

2.2.10 Вес тела

| | | |
|-----------------------------------|--|---|
| $\vec{P} = m (\vec{g} - \vec{a})$ | \vec{P} [Н] – вес тела m [кг] – масса тела \vec{g} [м/с ²] – ускорение свободного падения \vec{a} [м/с ²] – ускорение системы отсчета в которой тело покоится | <p>Весом тела называется сила с которой тело действует на опору или подвес. Если вес тела равен нулю ($\vec{a} = \vec{g}$), то тело находится в состоянии невесомости.</p> |
|-----------------------------------|--|---|

2.2.11 Скорость движения тела по круговой орбите вокруг планеты

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| $V_o = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$ | V_o [м/с] – орбитальная скорость $G = 6.6743 \cdot 10^{-11}$ [м ³ /(кг с ²)] – гравитационная постоянная M [кг] – масса планеты R [м] – радиус планеты h [м] – высота орбиты тела над поверхностью планеты | |
|-------------------------------|---|--|

2.2.12 Первая космическая скорость

| | | |
|---|---|---|
| $V_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{gR}$ | V_1 [м/с] – первая космическая скорость $G = 6.6743 \cdot 10^{-11}$ [м ³ /(кг с ²)] – гравитационная постоянная M [кг] – масса планеты R [м] – радиус планеты g [м/с ²] – модуль ускорения свободного падения на поверхности планеты | <p>Первая космическая скорость это минимальная скорость, которую нужно сообщить телу на поверхности планеты, чтобы оно стало спутником этой планеты и двигалось по круговой орбите на пренебрежимо малой высоте. Для Земли $V_1 \approx 7.9$ [км/с].</p> |
|---|---|---|

2.2.13 Вторая космическая скорость

| | | |
|---------------------|--|--|
| $V_2 = \sqrt{2}V_1$ | V_2 [м/с] – вторая космическая скорость V_1 [м/с] – первая космическая скорость | <p>Вторая космическая скорость это минимальная скорость, которую нужно сообщить телу на поверхности планеты, чтобы оно преодолело гравитационное притяжение и ушло на бесконечность. Для Земли $V_2 \approx 11.2$ [км/с].</p> |
|---------------------|--|--|

2.2.14 Закон Гука для силы упругости стержня (пружины)

| | | |
|---------------------------|--|--|
| $ \vec{F}_e = k\Delta l$ | \vec{F}_e [Н] – сила упругости k [Н/м] – коэффициент упругости стержня Δl [м] – абсолютное изменение длины стержня | <p>Сила упругости имеет направление в сторону противоположную смещению частиц тела при деформации.</p> <p>Закон Гука справедлив при малых деформациях тела и описывает линейную зависимость силы упругости от деформации тела.</p> |
|---------------------------|--|--|

2.2.15 Коэффициент упругости тонкого стержня

| | | |
|--------------------|---|--|
| $k = \frac{ES}{l}$ | k [Н/м] – коэффициент упругости стержня E [Па] – модуль Юнга материала стержня S [м ²] – площадь поперечного сечения стержня l [м] – длина стержня | |
|--------------------|---|--|

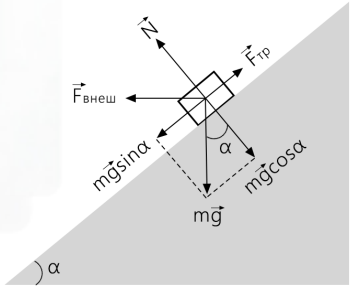
2.2.16 Сила трения покоя

| | | |
|----------------------------------|---|---|
| $\vec{F}_{\text{тр}} = -\vec{F}$ | $\vec{F}_{\text{тр}}$ [Н] – сила трения покоя действующая на тело \vec{F} [Н] – суммарная сила пытающаяся сдвинуть тело вдоль поверхности соприкосновения трущихся тел | <p>Сила трения покоя всегда противоположна внешней силе, пытающейся сдвинуть тело, так что равнодействующая сила на тело в результате равна нулю.</p> |
|----------------------------------|---|---|

2.2.17 Сила трения скольжения

| | | |
|--|---|--|
| $ \vec{F}_{\text{тр}} = \mu \vec{N} $ | $\vec{F}_{\text{тр}}$ [Н] – сила трения скольжения μ [] – коэффициент трения \vec{N} [Н] – сила взаимодействия тел перпендикулярно поверхности их соприкосновения (сила реакция опоры) | <p>Сила трения скольжения направлена вдоль соприкасающихся поверхностей трущихся тел в сторону противоположную их относительному движению.</p> |
|--|---|--|

2.2.18 Брусок на наклонной плоскости: схема действующих сил

| | | |
|---|--|--|
| $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{F}_{\text{внеш}}$ | m [кг] – масса бруска \vec{a} [м/с ²] – ускорение бруска $m\vec{g}$ [Н] – сила тяжести \vec{N} [Н] – сила реакции опоры $\vec{F}_{\text{тр}}$ [Н] – сила трения (покоя или скольжения) $\vec{F}_{\text{внеш}}$ [Н] – внешняя сила (если есть) |  <p>Сила трения изображена в предположении, что брусок движется вниз.</p> |
|---|--|--|

2.2.19 Система блоков и нитей: основные соотношения и используемые приближения

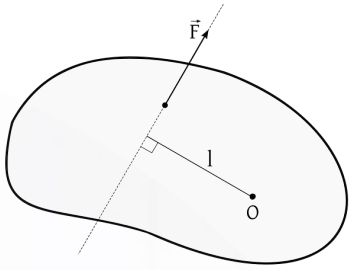
| | | |
|--|--|--|
| $\vec{f}_1 = \vec{F}_1$ $\vec{f}_2 = \vec{f}_1$ $\vec{f}_3 = -\vec{f}_2$ $\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$ $\vec{F}_3 = -\vec{T}_2 = -2\vec{F}_1$ $\vec{T}_1 = -2\vec{F}_1$ $\vec{T}_2 = 2\vec{F}_1$ $\vec{T}_3 = 2\vec{T}_2 = 4\vec{F}_1$ <p>На подвижных блоках мы получаем выигрыш в силе (в 2 раза на каждый блок), и соответствующий этому проигрыш в перемещении блоков (относительно свободного конца нити).</p> | <ol style="list-style-type: none"> <u>Невесомость нити</u>: означает, что сумма сил, приложенных к любой части нити, равна нулю ($\vec{0} = m\vec{a} = \vec{f}_1 + \vec{f}_2 + \dots$). Проецируя это уравнение на направление вдоль нити мы получаем, что если нет силы трения, действующей на нить со стороны блоков, то силы, приложенные к концам нити равны по модулю и противоположны по направлению. Проецируя это уравнение на вертикальное направление мы получаем, что суммарная сила реакции на нить со стороны блока равна по модулю удвоенной силе натяжения нити. <u>Нерастяжимость нити</u>: означает, что тела, соединенные нитью, имеют одинаковые по модулю перемещения, скорости и ускорения. Это не относится к блокам, перемещения, скорости и ускорения которых можно найти из условия равенства работы, производимой различными частями системы (золотое правило механики). <u>Невесомость блока</u>: означает, что сумма всех сил и их моментов, приложенных к блоку, равна нулю. В этом случае суммарная сила давления перекинутой нити на блок равна по модулю силе, приложенной к оси блока. Если выполняется условие №4, то суммарный момент сил трения нити с блоком равен нулю, т.е. трение отсутствует. Так как трение между блоком и нитью отсутствует, то силы, приложенные к концам нити, перекинутой через блок, одинаковы по модулю. <u>Отсутствие трения в блоке (в подшипниках)</u>: означает, что можно пренебречь моментом силы трения в подшипниках и считать, что весь момент силы, действующий на блок (относительно оси блока), создается трением с нитью, что используется в условии №3. | |
|--|--|--|

2.2.20 Давление

| | | |
|------------------------------------|---|---|
| $p := \frac{\Delta F_n}{\Delta S}$ | <p>p [Па] – давление на элемент поверхности ΔF_n [Н] – модуль проекции силы на направление перпендикулярное к элементу поверхности ΔS [м²] – площадь элемента поверхности</p> | <p>Давление это скалярная физическая величина, численно равная силе, действующей на единицу площади поверхности перпендикулярно к этой поверхности.</p> |
|------------------------------------|---|---|

2.3 Статика

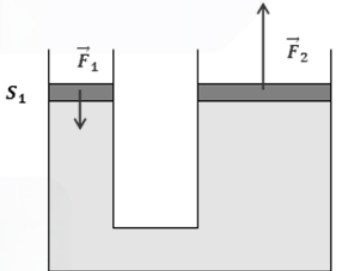
2.3.1 Момент силы относительно оси вращения

| | | |
|---|---|--|
| <p>$M := Fl$</p> <p>$M > 0$ если сила стремится поворачивать тело против часовой стрелки</p> <p>$M < 0$ если сила стремится поворачивать тело по часовой стрелке</p> | <p>M [Н м] – момент силы \vec{F} относительно оси вращения</p> <p>F [Н] – модуль силы \vec{F}</p> <p>l [м] – плечо силы \vec{F} относительно оси вращения (длина перпендикуляра, опущенного на линию действия силы из точки O)</p> |  <p>Ось вращения проходит через точку O перпендикулярно плоскости рисунка.</p> |
|---|---|--|

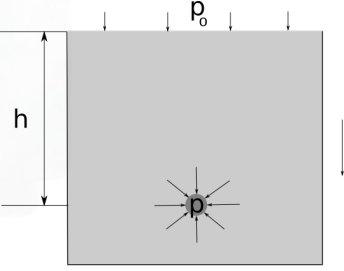
2.3.2 Условия равновесия твердого тела

| | | |
|---|--|---|
| <p>$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$</p> <p>$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$</p> | <p>$F_i$ [Н] – все силы действующие на тело</p> <p>M_i [Н м] – все моменты сил действующие на тело</p> | <p>Условие на суммарный момент сил должно выполняться для любой произвольно выбранной оси вращения.</p> |
|---|--|---|

2.3.3 Закон Паскаля для давления жидкости на примере гидравлического пресса

| | | |
|--|--|---|
| <p>$\frac{F_1}{S_1} = p_1 = p_2 = \frac{F_2}{S_2}$</p> <p>Давление, производимое на жидкость или газ, передается в любую точку среды без изменений во всех направлениях</p> | <p>F_1 [Н] – сила действующая на поршень 1</p> <p>S_1 [м²] – площадь поверхности поршня 1</p> <p>p_1 [Па] – давление в среде создаваемое поршнем 1</p> <p>F_2 [Н] – сила действующая на поршень 2</p> <p>S_2 [м²] – площадь поверхности поршня 2</p> <p>p_2 [Па] – давление среды на поршень 2</p> |  |
|--|--|---|

2.3.4 Гидростатическое давление среды (жидкости или газа)

| | | |
|--|---|---|
| <p>$p = p_0 + \rho gh$</p> <p>Давление создается весом неподвижной среды находящейся под действием силы тяжести</p> | <p>p [Па] – давление внутри среды</p> <p>p_0 [Па] – давление на поверхности среды</p> <p>ρ [кг/м³] – плотность среды</p> <p>g [м/с²] – модуль ускорения свободного падения</p> <p>h [м] – расстояние от поверхности среды (глубина)</p> |  |
|--|---|---|

2.3.5 Закон Архимеда для выталкивающей силы в общем случае

| | | |
|--------------------------|---|--|
| $\vec{F}_A = -\vec{P}_B$ | \vec{F}_A [Н] – сила выталкивающая тело из среды \vec{P}_B [Н] – вес вытесненной телом среды | Выталкивающая сила возникает из-за разности гидростатического давления в разных точках поверхности тела и направлена против действия силы тяжести. |
|--------------------------|---|--|

2.3.6 Закон Архимеда для выталкивающей силы в случае покоя в инерциальной системе отсчета

| | | |
|---------------------------------|---|--|
| $\vec{F}_A = -\rho V_n \vec{g}$ | \vec{F}_A [Н] – сила выталкивающая тело из среды ρ [кг/м ³] – плотность среды V_n [м ³] – объем погруженной в среду части тела (объем вытесненной среды) \vec{g} [м/с ²] – ускорение свободного падения | Выталкивающая сила возникает из-за разности гидростатического давления в разных точках поверхности тела и направлена против действия силы тяжести. |
|---------------------------------|---|--|

2.4 Законы сохранения в механике

2.4.1 Импульс тела (материальной точки)

| | | |
|-----------------------|---|--|
| $\vec{p} := m\vec{v}$ | \vec{p} [кг м/с] – импульс тела m [кг] – масса тела \vec{v} [м/с] – скорость тела | |
|-----------------------|---|--|

2.4.2 Импульс системы тел (материальных точек)

| | | |
|--|--|---|
| $\vec{p} := \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n$ | \vec{p} [кг м/с] – импульс системы тел \vec{p}_1 [кг м/с] – импульс тела 1 \vec{p}_2 [кг м/с] – импульс тела 2 ... \vec{p}_n [кг м/с] – импульс тела n | Импульс системы тел равен векторной сумме импульсов всех тел системы. |
|--|--|---|

2.4.3 Закон изменения импульса системы тел

| | | |
|--|---|---|
| $\frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}_1^e + \vec{F}_2^e + \dots + \vec{F}_n^e$ | $\Delta\vec{p}$ [кг м/с] – изменение импульса системы тел за промежуток времени Δt Δt [с] – промежуток времени \vec{F}_1^e [Н] – внешняя равнодействующая сила на тело 1 \vec{F}_2^e [Н] – внешняя равнодействующая сила на тело 2 ... \vec{F}_n^e [Н] – внешняя равнодействующая сила на тело n | Внешние силы создаются телами не входящими в рассматриваемую систему тел. Следует использовать средние значения внешних сил за промежуток времени Δt . |
|--|---|---|

2.4.4 Закон сохранения импульса для системы тел

| | | |
|-------------------|---|--|
| $\vec{p} = const$ | $\vec{p} \text{ [кг м/с]} - \text{импульс системы тел}$ <p>Этот закон можно применять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Если система тел не взаимодействует с внешними телами (замкнута). 2. Равнодействующая внешних сил равна нулю. 3. Проекция равнодействующей внешних сил равна нулю на некоторое направление, тогда проекция импульса на это направление не изменяется. 4. Для быстрых процессов в системе тел (соударения, взрывы), тогда импульс не успевает измениться несмотря на присутствие внешних сил. | <p>Вследствие третьего закона Ньютона силы взаимодействия между телами входящими в систему не могут изменить суммарный импульс этой системы тел.</p> |
|-------------------|---|--|

2.4.5 Центр масс системы материальных точек (тел): определение

| | | |
|---|--|--|
| $\vec{r}_c = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i}$ | $\vec{r}_c \text{ [м]} - \text{радиус-вектор центра масс}$ $\vec{r}_i \text{ [м]} - \text{радиус-векторы материальных точек (тел)}$ $m_i \text{ [кг]} - \text{массы материальных точек (тел)}$ | <p>Суммирование проводится по всем материальным точкам (телам) входящим в систему.</p> |
|---|--|--|

2.4.6 Центр масс системы материальных точек (тел): закон движения

| | | |
|---------------------------|--|--|
| $M \vec{a}_c = \vec{F}_e$ | $M \text{ [кг]} - \text{полная масса системы}$ $\vec{a}_c \text{ [м/с}^2\text{]} - \text{ускорение центра масс}$ $\vec{F}_e \text{ [Н]} - \text{равнодействующая внешних сил}$ | <p>Движение центра масс системы зависит только от внешних сил, действующих на систему.</p> |
|---------------------------|--|--|

2.4.7 Центр масс системы материальных точек (тел): связь с полным импульсом системы

| | | |
|-------------------------|---|---|
| $\vec{p} = M \vec{v}_c$ | $\vec{p} \text{ [кг м/с]} - \text{полный импульс системы}$ $M \text{ [кг]} - \text{полная масса системы}$ $\vec{v}_c \text{ [м/с]} - \text{скорость центра масс}$ | <p>Формула идентична формуле для импульса материальной точки.</p> |
|-------------------------|---|---|

2.4.8 Абсолютно упругий удар: определение

| | | |
|---------------------------|---|--|
| $K_1 + K_2 = K'_1 + K'_2$ | $K_1 \text{ [Дж]} - \text{кинетическая энергия первого тела до удара}$ $K_2 \text{ [Дж]} - \text{кинетическая энергия второго тела до удара}$ $K'_1 \text{ [Дж]} - \text{кинетическая энергия первого тела после удара}$ $K'_2 \text{ [Дж]} - \text{кинетическая энергия второго тела после удара}$ | <p>При абсолютно упругом ударе не происходит необратимого перехода части кинетической энергии системы во внутреннюю энергию тел.</p> |
|---------------------------|---|--|

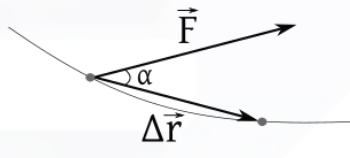
2.4.9 Абсолютно неупругий удар: определение

| | | |
|---|--|---|
| $\vec{v}_1 = \vec{v}_2$ <p>После удара тела слипаются и двигаются с одинаковыми скоростями.</p> | \vec{v}_1 [м/с] – скорость первого тела после удара \vec{v}_2 [м/с] – скорость второго тела после удара | <p>При абсолютно неупругом ударе происходит необратимый переход максимально возможной части кинетической энергии системы во внутреннюю энергию тел.</p> |
|---|--|---|

2.4.10 Движение тела с переменной массой: уравнение Мещерского

| | | |
|--|--|---|
| $m\vec{a} = m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \vec{F} + \vec{v}_{\text{отн}}\frac{\Delta m}{\Delta t}$ | m [кг] – масса тела \vec{a} [м/с ²] – ускорение тела $\Delta\vec{v}$ [м/с] – изменение скорости тела за Δt Δm [кг] – изменение массы тела за Δt $\vec{v}_{\text{отн}}$ [м/с] – скорость вылетающей массы относительно тела \vec{F} [Н] – равнодействующая внешних сил | <p>В правой части второго закона Ньютона добавляется реактивная сила тяги $\vec{v}_{\text{отн}}\frac{\Delta m}{\Delta t}$.</p> |
|--|--|---|

2.4.11 Работа силы на малом перемещении тела в пространстве

| | | |
|--|---|--|
| $\Delta A := \vec{F} \cdot \Delta\vec{r} = \vec{F} \Delta\vec{r} \cos\alpha$ | ΔA [Дж] – элементарная работа силы \vec{F} [Н] – сила действующая на тело $\Delta\vec{r}$ [м] – элементарное перемещение тела α [рад] – угол между силой и перемещением |  <p>На элементарном перемещении сила считается постоянной величиной.</p> |
|--|---|--|

2.4.12 Работа силы на произвольном перемещении тела в пространстве

| | | |
|--|--|--|
| $A = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{F}(\vec{r}) \cdot d\vec{r}$ | A [Дж] – работа силы при перемещении от \vec{r}_1 к \vec{r}_2 \vec{r}_1 [м] – начальная точка кривой \vec{r}_2 [м] – конечная точка кривой \vec{F} [Н] – сила действующая на тело как функция \vec{r} $d\vec{r}$ [м] – дифференциал перемещения тела | <p>Криволинейный интеграл второго рода вычисляется вдоль произвольной кривой по которой перемещается тело.</p> <p>Если сила в любой момент времени перпендикулярна перемещению тела, то её работа вдоль кривой равна нулю.</p> |
|--|--|--|

2.4.13 Работа силы на произвольном перемещении тела вдоль оси координат

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| $A = \int_{x_1}^{x_2} F_x dx$ | A [Дж] – работа силы при перемещении от x_1 к x_2 x_1 [м] – начальная координата тела x_2 [м] – конечная координата тела $F_x(x)$ [Н] – проекция силы на ось x dx [м] – дифференциал координаты | <p>Работа силы равна площади под графиком зависимости проекции силы F_x от координаты x.</p> |
|-------------------------------|---|--|

2.4.14 Мощность силы

| | | |
|--|---|--|
| $P := \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \vec{F} \cdot \vec{v}$ | <p>P [Вт] – мощность силы ΔA [Дж] – работа силы на промежутке Δt Δt [с] – промежуток времени \vec{F} [Н] – сила действующая на тело \vec{v} [м/с] – скорость тела</p> | <p>Если сила перпендикулярна скорости тела, то её мощность равна нулю.</p> |
|--|---|--|

2.4.15 Кинетическая энергия тела при поступательном движении

| | | |
|--|--|---|
| $K := \frac{m \vec{v} ^2}{2} = \frac{ \vec{p} ^2}{2m}$ | <p>K [Дж] – кинетическая энергия тела m [кг] – масса тела \vec{v} [м/с] – скорость тела \vec{p} [кг м/с] – импульс тела</p> | <p>Кинетическая энергия для системы n тел равна сумме кинетических энергий всех тел входящих в систему $K = K_1 + K_2 + \dots + K_n$</p> |
|--|--|---|

2.4.16 Теорема об изменении кинетической энергии тела

| | | |
|---------------------------------|---|--|
| $\Delta K = K_2 - K_1 = A_{12}$ | <p>ΔK [Дж] – изменение кинетической энергии K_1 [Дж] – кинетическая энергия тела в точке 1 K_2 [Дж] – кинетическая энергия тела в точке 2 A_{12} [Дж] – работа всех сил действующих на тело при его перемещении из точки 1 в точку 2</p> | |
|---------------------------------|---|--|

2.4.17 Теорема об изменении потенциальной энергии тела

| | | |
|----------------------------------|---|---|
| $A_{12} = W_1 - W_2 = -\Delta W$ | <p>A_{12} [Дж] – работа силы при перемещении тела из точки 1 в точку 2 W_1 [Дж] – потенциальная энергия тела в точке 1 W_2 [Дж] – потенциальная энергия тела в точке 2 ΔW [Дж] – изменение потенциальной энергии</p> | <p>Потенциальную энергию можно определить если работа силы не зависит от траектории, соединяющей точки 1 и 2. Работа потенциальных сил при перемещении тела по замкнутому контуру равна нулю.</p> |
|----------------------------------|---|---|

2.4.18 Потенциальная энергия тела в поле силы тяжести

| | | |
|-----------|---|---|
| $W = mgh$ | <p>W [Дж] – потенциальная энергия тела m [кг] – масса тела g [м/с²] – модуль ускорения свободного падения h [м] – высота тела над нулевым уровнем</p> | <p>Нулевой уровень потенциальной энергии тела можно выбирать произвольно.</p> |
|-----------|---|---|

2.4.19 Потенциальная энергия упруго деформированного стержня (пружины)

| | | |
|-------------------------------|--|--|
| $W = \frac{k(\Delta l)^2}{2}$ | <p>W [Дж] – потенциальная энергия стержня k [Н/м] – жесткость стержня Δl [м] – абсолютное изменение длины стержня</p> | |
|-------------------------------|--|--|

2.4.20 Механическая энергия системы тел

| | | |
|--------------|--|---|
| $E := K + W$ | E [Дж] – механическая энергия системы тел K [Дж] – кинетическая энергия системы тел W [Дж] – потенциальная энергия системы тел | Механической энергией системы тел называется сумма кинетических энергий всех тел и потенциальной энергии их взаимодействия. |
|--------------|--|---|

2.4.21 Теорема об изменении механической энергии системы тел

| | | |
|---|--|---|
| $\Delta E = \Delta K + \Delta W = A_{\text{непот}}$ | ΔE [Дж] – изменение механической энергии ΔK [Дж] – изменение кинетической энергии ΔW [Дж] – изменение потенциальной энергии $A_{\text{непот}}$ [Дж] – суммарная работа всех непотенциальных сил | Работа непотенциальных сил зависит от траектории перемещения тела и при перемещении тела по произвольному замкнутому контуру не равна нулю. |
|---|--|---|

2.4.22 Теорема о сохранении механической энергии в консервативной системе тел

| | | |
|--------------------|---|---|
| $E = \text{const}$ | E [Дж] – механическая энергия системы тел | Если между телами замкнутой системы действуют только потенциальные силы, то при любых движениях тел механическая энергия системы сохраняется. |
|--------------------|---|---|

2.4.23 Коэффициент полезного действия механизма (КПД)

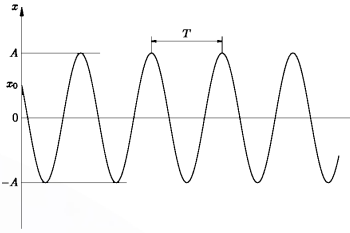
| | | |
|---|--|---|
| $\eta := \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}}$ | η [] – коэффициент полезного действия $A_{\text{п}}$ [Дж] – полезная работа механизма $A_{\text{з}}$ [Дж] – затраченная работа механизма | Чтобы вычислить значение в процентах следует η умножить на 100% . |
|---|--|---|

2.5 Механические колебания и волны

2.5.1 Гармонические колебания: уравнение движения осциллятора

| | | |
|--|--|--|
| $m a_x(t) = -kx(t)$ $a_x(t) = -\frac{k}{m}x(t) = -\omega^2 x(t)$ $\ddot{x}(t) + \omega^2 x(t) = 0$ | $x(t)$ [м] – смещение из положения равновесия $a_x(t)$ [м/с ²] – проекция ускорения на ось x m [кг] – масса осциллятора k [Н/м] – жесткость осциллятора $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ [рад/с] – собственная круговая частота | |
|--|--|--|

2.5.2 Гармонические колебания: координата, скорость, ускорение осциллятора

| | | |
|---|---|---|
| $x(t) = A \sin(\omega t + \phi)$ $v_x(t) = A\omega \cos(\omega t + \phi)$ $a_x(t) = -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi)$ $T = \frac{2\pi}{\omega}$ | $x(t)$ [м] – смещение из положения равновесия $v_x(t)$ [м/с] – проекция скорости на ось x $a_x(t)$ [м/с ²] – проекция ускорения на ось x A [м] – амплитуда колебаний ω [рад/с] – круговая частота колебаний ϕ [рад] – начальная фаза колебаний T [с] – период колебаний |  |
|---|---|---|

2.5.3 Гармонические колебания: максимальные значения кинематических величин

| | | |
|---|---|--|
| $x_{max} = A$ $v_{max} = \omega A$ $a_{max} = \omega^2 A$ | x_{max} [м] – максимум модуля смещения v_{max} [м/с] – максимум модуля скорости a_{max} [м/с ²] – максимум модуля ускорения A [м] – амплитуда колебаний ω [рад/с] – круговая частота колебаний | |
|---|---|--|

2.5.4 Гармонические колебания: закон сохранения механической энергии

| | | |
|--|---|--|
| $E = \frac{mv_x^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = const$ $E = \frac{mv_{max}^2}{2} = \frac{m\omega^2 A^2}{2}$ $E = \frac{kx_{max}^2}{2} = \frac{kA^2}{2}$ | $E(t)$ [Дж] – механическая энергия осциллятора $v_x(t)$ [м/с] – проекция скорости на ось x $x(t)$ [м] – смещение из положения равновесия m [кг] – масса осциллятора k [Н/м] – жесткость осциллятора A [м] – амплитуда колебаний ω [рад/с] – круговая частота колебаний | <p>В процессе колебаний происходит превращение кинетической энергии движущегося груза в потенциальную энергию деформированной пружины и наоборот. При этом их сумма не меняет своего значения и равна механической энергии системы в начальный момент времени.</p> |
|--|---|--|

2.5.5 Период и частота колебаний пружинного маятника

| | | |
|--|---|---|
| $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ $\nu = \frac{1}{T}$ $\omega = \frac{2\pi}{T}$ | T [с] – период колебаний для $x(t)$, $v_x(t)$, $a_x(t)$ m [кг] – масса груза k [Н/м] – жесткость пружины ν [Гц] – частота колебаний ω [рад/с] – круговая частота колебаний | <p>Частота колебаний потенциальной и кинетической энергии в 2 раза больше частоты колебаний кинематических величин.</p> |
|--|---|---|

2.5.6 Период и частота колебаний математического маятника

| | | |
|--|---|---|
| $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ $\nu = \frac{1}{T}$ $\omega = \frac{2\pi}{T}$ | T [с] – период колебаний для $x(t)$, $v_x(t)$, $a_x(t)$ l [м] – длина подвеса (нити) g [м/с ²] – модуль ускорения свободного падения ν [Гц] – частота колебаний ω [рад/с] – круговая частота колебаний | <p>Частота колебаний потенциальной и кинетической энергии в 2 раза больше частоты колебаний кинематических величин.</p> |
|--|---|---|

2.5.7 Длина волны и ее связь с периодом колебаний частиц среды

| | | |
|--------------------------------|---|--|
| $\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$ | λ [м] – длина волны c [м/с] – скорость распространения волны T [с] – период колебаний частиц среды в волне ν [Гц] – частота колебаний частиц среды в волне | Длиной волны называется минимальное расстояние между двумя точками пространства в которых частицы среды колеблются с одинаковой фазой (синхронно). |
|--------------------------------|---|--|

2.5.8 Скорость звука в газообразной среде (идеальном газе)

| | | |
|------------------------------------|--|---|
| $c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}$ | c [м/с] – скорость звука в газе γ [] – показатель адиабаты газа $R = 8.314$ [Дж/(моль К)] – универсальная газовая постоянная T [К] – абсолютная температура μ [кг/моль] – молярная масса | Показатель адиабаты: 5/3 – одноатомный газ 7/5 – двухатомный газ 4/3 – многоатомный газ |
|------------------------------------|--|---|

2.5.9 Скорость звука в твердой среде

| | | |
|---|---|---|
| $c_P = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)\rho}}$ $c_S = \sqrt{\frac{E}{2(1+\nu)\rho}}$ | c_P [м/с] – скорость продольных волн c_S [м/с] – скорость поперечных волн E [Па] – модуль Юнга среды ν [] – коэффициент Пуассона среды ρ [кг/м ³] – плотность среды | Нужно использовать адиабатические модули упругости. |
|---|---|---|



3 | Молекулярная физика и термодинамика

3.1 Молекулярная физика

3.1.1 Количество вещества

| | | |
|---|--|--|
| $\nu := \frac{N}{N_A}$ $\mu := \frac{m}{\nu}$ | ν [моль] – количество вещества N [] – число молекул вещества $N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$ [1/моль] – постоянная Авогадро μ [кг/моль] – молярная масса вещества m [кг] – масса вещества | |
|---|--|--|

3.1.2 Концентрация и плотность вещества

| | | |
|--|--|--|
| $n := \frac{N}{V}$ $\rho := m_0 n = \frac{m}{V}$ | n [1/м ³] – концентрация вещества N [] – число молекул вещества V [м ³] – объем вещества ρ [кг/м ³] – плотность вещества m_0 [кг] – масса молекулы вещества m [кг] – масса вещества | |
|--|--|--|

3.1.3 Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газа

| | | |
|---|--|--|
| $p = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2$ $p = \frac{2}{3} n \bar{E}$ | p [Па] – давление газа m_0 [кг] – масса молекулы газа n [1/м ³] – концентрация газа \bar{v}^2 [м ² /с ²] – средний квадрат скорости молекул \bar{E} [Дж] – средняя кинетическая энергия молекул | |
|---|--|--|

3.1.4 Абсолютная температура

| | | |
|--------------------|---|--|
| $T := t + 273.150$ | T [К] – абсолютная температура t [С] – обычная температура | Чтобы найти абсолютную температуру в градусах Кельвина нужно к обычной температуре в градусах Цельсия прибавить 273.150. |
|--------------------|---|--|

3.1.5 Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа

| | | |
|----------------------------|--|--|
| $\bar{E} = \frac{3}{2} kT$ | \bar{E} [Дж] – средняя кинетическая энергия молекул $k = 1.381 \cdot 10^{-23}$ [Дж/К] – постоянная Больцмана T [К] – абсолютная температура газа | |
|----------------------------|--|--|

3.1.6 Средняя квадратичная скорость молекул газа

| | | |
|---|--|--|
| $\bar{v} := \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$ | \bar{v} [м/с] – средняя квадратичная скорость молекул $\overline{v^2}$ [м ² /с ²] – средний квадрат скорости молекул $R = 8.314$ [Дж/(моль К)] – универсальная газовая постоянная T [К] – абсолютная температура газа μ [кг/моль] – молярная масса газа | |
|---|--|--|

3.1.7 Связь давления газа с его концентрацией и температурой

| | | |
|-----------|--|--|
| $p = nkT$ | p [Па] – давление газа n [1/м ³] – концентрация газа $k = 1.381 \cdot 10^{-23}$ [Дж/К] – постоянная Больцмана T [К] – абсолютная температура газа | |
|-----------|--|--|

3.1.8 Уравнение Менделеева-Клапейрона для состояния идеального газа

| | | |
|--|--|--|
| $pV = \nu RT = \frac{m}{\mu} RT$ $p = \frac{\rho}{\mu} RT$ | p [Па] – давление газа V [м ³] – объем газа T [К] – абсолютная температура газа $R = 8.314$ [Дж/(моль К)] – универсальная газовая постоянная ν [моль] – количество вещества газа m [кг] – масса газа μ [кг/моль] – молярная масса газа ρ [кг/м ³] – плотность газа | |
|--|--|--|

3.1.9 Закон Гей-Люссака для изобарного процесса

| | | |
|---|--|--|
| $p = const$ $\nu = const$ $\frac{V}{T} = const$ | p [Па] – давление газа V [м ³] – объем газа T [К] – абсолютная температура газа ν [моль] – количество вещества газа | |
|---|--|--|

3.1.10 Закон Шарля для изохорного процесса

| | | |
|---|--|--|
| $V = const$ $\nu = const$ $\frac{p}{T} = const$ | p [Па] – давление газа V [м ³] – объем газа T [К] – абсолютная температура газа ν [моль] – количество вещества газа | |
|---|--|--|

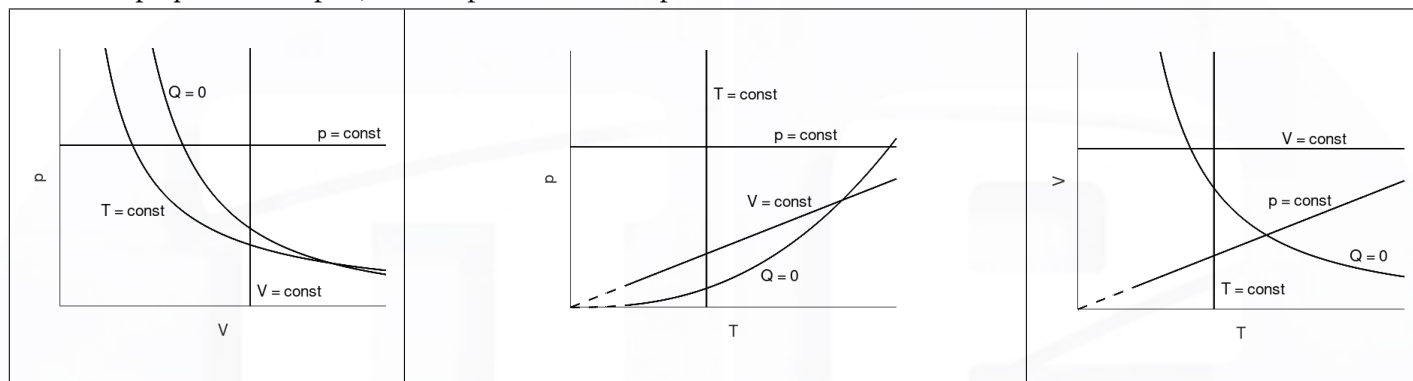
3.1.11 Закон Бойля-Мариотта для изотермического процесса

| | | |
|--|--|--|
| $T = const$ $\nu = const$ $pV = const$ | p [Па] – давление газа V [м ³] – объем газа T [К] – абсолютная температура газа ν [моль] – количество вещества газа | |
|--|--|--|

3.1.12 Закон Пуассона для адиабатического процесса

| | | |
|---|--|---|
| $Q = 0$ $\nu = const$ $pV^\gamma = const$ $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ | Q [Дж] – переданное газу количество теплоты p [Па] – давление газа V [м ³] – объем газа T [К] – абсолютная температура газа ν [моль] – количество вещества газа γ [] – показатель адиабаты газа | Показатель адиабаты: 5/3 – одноатомный газ 7/5 – двухатомный газ 4/3 – многоатомный газ |
|---|--|---|

3.1.13 Графики изопроцессов в различных переменных состояния газа



3.1.14 Закон Дальтона для давления смеси идеальных газов

| | | |
|-------------------------------|--|--|
| $p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$ | p [Па] – давление смеси газов p_1 [Па] – парциальное давление газа 1 p_2 [Па] – парциальное давление газа 2 ... p_n [Па] – парциальное давление газа n | Каждый газ создает свое парциальное давление независимо от наличия других газов. |
|-------------------------------|--|--|

3.1.15 Внутренняя энергия идеального газа

| | | |
|----------------------------------|--|---|
| $U = \frac{i}{2} \nu RT = C_V T$ | U [Дж] – внутренняя энергия газа i [] – число степеней свободы у молекулы газа ν [моль] – количество вещества газа $R = 8.314$ [Дж/(моль К)] – универсальная газовая постоянная T [К] – абсолютная температура газа C_V [Дж/К] – теплоемкость газа при постоянном объеме | Число степеней свободы: $i = 3$ – одноатомный газ $i = 5$ – двухатомный газ $i = 6$ – многоатомный газ |
|----------------------------------|--|---|

3.1.16 Теплоемкости идеального газа в изопроцессах

| | | |
|---|--|---|
| $C := \frac{\delta Q}{\delta T}$ $C_V = \frac{i}{2} \nu R$ $C_P = \frac{i+2}{2} \nu R$ $C_T = \infty$ | <p>C [Дж/К] – теплоемкость газа</p> <p>δQ [Дж] – переданное количество теплоты</p> <p>δT [К] – изменение температуры газа</p> <p>C_V [Дж/К] – теплоемкость при постоянном объеме газа</p> <p>C_P [Дж/К] – теплоемкость при постоянном давлении газа</p> <p>C_T [Дж/К] – теплоемкость при постоянной температуре газа</p> <p>i [] – число степеней свободы у молекулы газа</p> <p>ν [моль] – количество вещества газа</p> <p>$R = 8.314$ [Дж/(моль К)] – универсальная газовая постоянная</p> | <p>Число степеней свободы:</p> <p>$i = 3$ – одноатомный газ</p> <p>$i = 5$ – двухатомный газ</p> <p>$i = 6$ – многоатомный газ</p> <p>Для вычисления удельной молярной теплоемкости нужно теплоемкость газа поделить на количество вещества газа.</p> <p>Для вычисления удельной массовой теплоемкости нужно теплоемкость газа поделить на массу газа.</p> |
|---|--|---|

3.1.17 Абсолютная влажность воздуха

| | | |
|-------------------------------|---|---|
| $f := \frac{m_{\text{п}}}{V}$ | <p>f [г/м³] – абсолютная влажность воздуха</p> <p>$m_{\text{п}}$ [г] – масса водяного пара в объеме воздуха V</p> <p>V [м³] – объем воздуха</p> | <p>Абсолютная влажность воздуха это масса водяного пара содержащегося в единице объема воздуха.</p> |
|-------------------------------|---|---|

3.1.18 Относительная влажность воздуха

| | | |
|---|---|---|
| $\varphi := \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{нп}}} = \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{нп}}}$ <p>Чтобы вычислить значение в процентах следует φ умножить на 100%.</p> | <p>φ [] – относительная влажность воздуха</p> <p>$p_{\text{п}}$ [Па] – давление водяного пара</p> <p>$p_{\text{нп}}$ [Па] – давление насыщенного водяного пара</p> <p>$\rho_{\text{п}}$ [кг/м³] – плотность водяного пара</p> <p>$\rho_{\text{нп}}$ [кг/м³] – плотность насыщенного водяного пара</p> | <p>Для вычисления относительной влажности при данной температуре нужно использовать известную зависимость давления или плотности насыщенного пара от его температуры.</p> |
|---|---|---|

3.2 Термодинамика

3.2.1 Количество теплоты при нагревании / охлаждении тела

| | | |
|---|--|--|
| $Q = C \Delta T = cm \Delta T$ $\Delta T = T_2 - T_1$ | <p>Q [Дж] – количество теплоты</p> <p>C [Дж/К] – теплоемкость тела</p> <p>ΔT [К] – изменение температуры тела</p> <p>c [Дж/(кг К)] – удельная теплоемкость вещества</p> <p>m [кг] – масса тела</p> <p>T_1 [К] – начальная температура тела</p> <p>T_2 [К] – конечная температура тела</p> | <p>$Q > 0$ при нагревании так как теплота поглощается.</p> <p>$Q < 0$ при охлаждении так как теплота выделяется.</p> |
|---|--|--|

3.2.2 Количество теплоты при плавлении / кристаллизации вещества

| | | |
|-----------------|--|---|
| $Q = \lambda m$ | <p>Q [Дж] – количество теплоты</p> <p>λ [Дж/кг] – удельная теплота плавления</p> <p>m [кг] – масса вещества</p> | <p>$Q > 0$ при плавлении так как теплота поглощается.</p> <p>$Q < 0$ при кристаллизации так как теплота выделяется.</p> |
|-----------------|--|---|

3.2.3 Количество теплоты при испарении / конденсации вещества

| | | |
|----------|--|---|
| $Q = rm$ | Q [Дж] – количество теплоты r [Дж/кг] – удельная теплота парообразования m [кг] – масса вещества | $Q > 0$ при испарении так как теплота поглощается. $Q < 0$ при конденсации так как теплота выделяется. |
|----------|--|---|

3.2.4 Количество теплоты выделяющееся при сгорании вещества

| | | |
|----------|---|--|
| $Q = qm$ | Q [Дж] – количество теплоты q [Дж/кг] – удельная теплота сгорания m [кг] – масса вещества | |
|----------|---|--|

3.2.5 Уравнение теплового баланса

| | | |
|-------------------------------|--|---|
| $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0$ | Q_1 [Дж] – количество теплоты переданное телу 1 Q_2 [Дж] – количество теплоты переданное телу 2 ... Q_n [Дж] – количество теплоты переданное телу n | В теплоизолированной системе тел в результате теплообмена между телами у всех тел устанавливается одинаковая температура, при этом выполняется закон сохранения тепловой энергии. |
|-------------------------------|--|---|

3.2.6 Элементарная и полная работа газа в термодинамическом процессе

| | | |
|--|---|--|
| $\Delta A = p\Delta V$ $A = \int_{V_1}^{V_2} p(V)dV$ A – площадь под графиком функции $p(V)$ | ΔA [Дж] – элементарная работа p [Па] – давление газа в процессе (зависит от V) ΔV [м ³] – элементарное изменение объема A [Дж] – полная работа газа в процессе V_1 [м ³] – начальный объем газа в процессе V_2 [м ³] – конечный объем газа в процессе | |
|--|---|--|

3.2.7 Первый закон термодинамики

| | | |
|--|---|--|
| $\Delta U = Q + A'$ $A' = -A$ $Q = \Delta U + A$ | ΔU [Дж] – изменение внутренней энергии тела Q [Дж] – переданное телу количество теплоты A' [Дж] – совершенная над телом работа A [Дж] – совершенная телом работа | $Q > 0$ если тело получает теплоту $Q < 0$ если тело отдает теплоту |
|--|---|--|

3.2.8 Второй закон термодинамики

| | | |
|--|--|--|
| Для любой термодинамической системы существует функция ее состояния, называемая энтропией, такая что ее полный дифференциал пропорционален переданному количеству теплоты: $\delta Q = TdS$ | δQ [Дж] – переданное количество теплоты T [К] – абсолютная температура dS [Дж/К] – дифференциал энтропии S | В изолированной системе энтропия либо остаётся неизменной, либо возрастает, достигая максимума при установлении термодинамического равновесия. |
|--|--|--|

3.2.9 Третий закон термодинамики

| | | |
|--|--|--|
| | Энтропия S любой термодинамической системы при абсолютном нуле температуры $T = 0$ является универсальной постоянной (принимается, что $S = 0$), не зависящей ни от каких переменных параметров системы (давления, объема и т. п.). | |
|--|--|--|

3.2.10 Изобарный процесс: работа газа, количество теплоты, изменение внутренней энергии

| | | |
|--|--|--|
| $A = p(V_2 - V_1)$ $A = \nu R(T_2 - T_1)$ $Q = C_P(T_2 - T_1)$ $\Delta U = C_V(T_2 - T_1)$ | A [Дж] – работа газа в процессе Q [Дж] – переданное газу количество теплоты ΔU [Дж] – изменение внутренней энергии газа p [Па] – давление газа V_1 [м ³] – начальный объем газа V_2 [м ³] – конечный объем газа T_1 [К] – начальная абсолютная температура газа T_2 [К] – конечная абсолютная температура газа ν [моль] – количество вещества газа $R = 8.314$ [Дж/(моль К)] – универсальная газовая постоянная C_P [Дж/К] – теплоемкость газа при постоянном давлении C_V [Дж/К] – теплоемкость газа при постоянном объеме | $Q > 0$ если газ получает теплоту $Q < 0$ если газ отдает теплоту |
|--|--|--|

3.2.11 Изохорный процесс: работа газа, количество теплоты, изменение внутренней энергии

| | | |
|---|--|--|
| $A = 0$ $Q = C_V(T_2 - T_1)$ $\Delta U = Q$ | A [Дж] – работа газа в процессе Q [Дж] – переданное газу количество теплоты ΔU [Дж] – изменение внутренней энергии газа T_1 [К] – начальная абсолютная температура газа T_2 [К] – конечная абсолютная температура газа C_V [Дж/К] – теплоемкость газа при постоянном объеме | $Q > 0$ если газ получает теплоту $Q < 0$ если газ отдает теплоту |
|---|--|--|

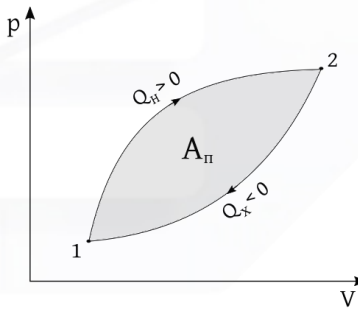
3.2.12 Изотермический процесс: работа газа, количество теплоты, изменение внутренней энергии

| | | |
|--|--|--|
| $A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ $A = \nu RT \ln \frac{p_1}{p_2}$ $Q = A$ $\Delta U = 0$ | A [Дж] – работа газа в процессе Q [Дж] – переданное газу количество теплоты ΔU [Дж] – изменение внутренней энергии газа T [К] – абсолютная температура газа в процессе V_1 [м ³] – начальный объем газа V_2 [м ³] – конечный объем газа p_1 [м ³] – начальное давление газа p_2 [м ³] – конечное давление газа ν [моль] – количество вещества газа $R = 8.314$ [Дж/(моль К)] – универсальная газовая постоянная | $Q > 0$ если газ получает теплоту $Q < 0$ если газ отдает теплоту |
|--|--|--|

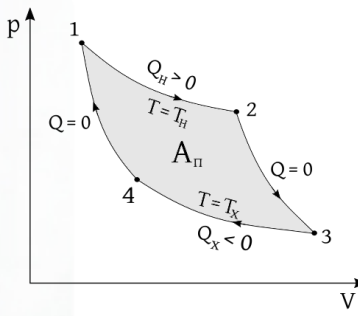
3.2.13 Адиабатический процесс: работа газа, количество теплоты, изменение внутренней энергии

| | | |
|--|---|--|
| $A = C_V (T_1 - T_2)$ $A = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma - 1}$ $A = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right)$ $Q = 0$ $\Delta U = -A$ | <p>A [Дж] – работа газа в процессе</p> <p>Q [Дж] – переданное газу количество теплоты</p> <p>ΔU [Дж] – изменение внутренней энергии газа</p> <p>p_1 [мПа] – начальное давление газа</p> <p>p_2 [мПа] – конечное давление газа</p> <p>V_1 [м³] – начальный объем газа</p> <p>V_2 [м³] – конечный объем газа</p> <p>T_1 [К] – начальная абсолютная температура газа</p> <p>T_2 [К] – конечная абсолютная температура газа</p> <p>C_V [Дж/К] – теплоемкость газа при постоянном объеме</p> <p>γ [] – показатель адиабаты газа</p> | |
|--|---|--|

3.2.14 Коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины

| | | |
|--|---|--|
| $\eta := \frac{A_{\text{п}}}{Q_{\text{н}}} = \frac{Q_{\text{н}} - Q_{\text{х}} }{Q_{\text{н}}}$ <p>Чтобы вычислить значение в процентах следует η умножить на 100%.</p> | <p>η [] – коэффициент полезного действия машины</p> <p>$A_{\text{п}}$ [Дж] – полезная работа тепловой машины</p> <p>$Q_{\text{н}}$ [Дж] – количество теплоты переданное от нагревателя рабочему телу машины $Q_{\text{н}} > 0$</p> <p>$Q_{\text{х}}$ [Дж] – количество теплоты переданное от холодильника рабочему телу машины $Q_{\text{х}} < 0$</p> |  |
|--|---|--|

3.2.15 Коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины Карно (цикл Карно)

| | | |
|---|---|---|
| $\eta = \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{х}}}{T_{\text{н}}}$ <p>Чтобы вычислить значение в процентах следует η умножить на 100%.</p> | <p>η [] – коэффициент полезного действия машины</p> <p>$T_{\text{х}}$ [К] – абсолютная температура холодильника</p> <p>$T_{\text{н}}$ [К] – абсолютная температура нагревателя</p> |  |
|---|---|---|

3.2.16 Холодильный коэффициент холодильной машины

| | | |
|---|--|--|
| $\alpha = \frac{Q_{\text{х}}}{A'} = \frac{ Q_{\text{н}} - A'}{A'}$ <p>Чтобы вычислить значение в процентах следует α умножить на 100%.</p> | <p>α [] – коэффициент холодильной машины</p> <p>$Q_{\text{х}}$ [Дж] – количество теплоты переданное от холодильника рабочему телу машины $Q_{\text{х}} > 0$</p> <p>$Q_{\text{н}}$ [Дж] – количество теплоты переданное от нагревателя рабочему телу машины $Q_{\text{н}} < 0$</p> <p>A' [Дж] – работа совершенная над рабочим телом холодильника</p> | <p>Цикл работы холодильной машины можно получить из цикла работы тепловой машины если осуществлять его в обратном направлении.</p> |
|---|--|--|

3.2.17 Отопительный коэффициент теплового насоса

| | | |
|---|--|--|
| $\beta = \frac{ Q_n }{A'} = \frac{Q_x + A'}{A'}$ <p>Чтобы вычислить значение в процентах следует β умножить на 100%.</p> | <p>β [] – отопительный коэффициент теплового насоса</p> <p>Q_x [Дж] – количество теплоты переданное от холодильника рабочему телу насоса $Q_x > 0$</p> <p>Q_n [Дж] – количество теплоты переданное от нагревателя рабочему телу насоса $Q_n < 0$</p> <p>A' [Дж] – работа совершенная над рабочим телом теплового насоса</p> | <p>Цикл работы теплового насоса можно получить из цикла работы тепловой машины если осуществлять его в обратном направлении.</p> |
|---|--|--|

4 | Электродинамика

4.1 Электрическое поле

4.1.1 Элементарный электрический заряд

| | | |
|--------------|---|--|
| $q = \pm Ne$ | q [Кл] – электрический заряд тела N [] – число элементарных электрических зарядов $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ [Кл] – элементарный электрический заряд | Наблюдаемый в любом эксперименте электрический заряд тела всегда кратен элементарному электрическому заряду. |
|--------------|---|--|

4.1.2 Закон сохранения электрического заряда

| | | |
|-----------------------------------|--|---|
| $q_1 + q_2 + \dots + q_n = const$ | q_1 [Кл] – электрический заряд тела 1 q_2 [Кл] – электрический заряд тела 2 ... q_n [Кл] – электрический заряд тела n | Алгебраическая сумма зарядов в электрически замкнутой системе тел сохраняется при любых взаимодействиях между телами. |
|-----------------------------------|--|---|

4.1.3 Закон Кулона для силы взаимодействия точечных электрических зарядов

| | | |
|---|--|--|
| $ \vec{F}_e = \frac{1}{\epsilon} k \frac{ q_1 q_2 }{ \vec{r} ^2}$ | \vec{F}_e [Н] – сила взаимодействия между точечными электрическими зарядами $k = 8.988 \cdot 10^9$ [Н м ² /Кл ²] – постоянная Кулоновского взаимодействия q_1 [Кл] – величина точечного заряда 1 q_2 [Кл] – величина точечного заряда 2 $ \vec{r} $ [м] – расстояние между точечными зарядами ϵ [] – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума $\epsilon = 1$) | Сила взаимодействия направлена вдоль прямой линии соединяющей заряды. Заряды одного знака отталкиваются, а заряды разных знаков притягиваются. Коэффициент $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, где $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$ [Ф/м] – электрическая постоянная. |
|---|--|--|

4.1.4 Сила действующая на электрический заряд в электрическом поле

| | | |
|------------------------|---|---|
| $\vec{F}_e = q\vec{E}$ | \vec{F}_e [Н] – сила действующая на электрический заряд q [Кл] – величина электрического заряда \vec{E} [В/м] – напряженность электрического поля | Сила направлена вдоль поля если $q > 0$. Сила направлена против поля если $q < 0$. |
|------------------------|---|---|

4.1.5 Линейная плотность электрического заряда

| | | |
|--|--|--|
| $\lambda := \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta l}$ | <p>λ [Кл/м] – линейная плотность электрического заряда</p> <p>Δq [Кл] – электрический заряд на элементарном элементе кривой</p> <p>Δl [м] – длина элементарного элемента кривой</p> | |
|--|--|--|

4.1.6 Поверхностная плотность электрического заряда

| | | |
|---|--|--|
| $\sigma := \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta S}$ | <p>σ [Кл/м²] – поверхностная плотность электрического заряда</p> <p>Δq [Кл] – электрический заряд на элементарном элементе поверхности</p> <p>ΔS [м²] – площадь элементарного элемента поверхности</p> | |
|---|--|--|

4.1.7 Пространственная плотность электрического заряда

| | | |
|---|--|--|
| $\rho := \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta V}$ | <p>ρ [Кл/м³] – пространственная плотность электрического заряда</p> <p>Δq [Кл] – электрический заряд в элементарном элементе пространства</p> <p>ΔV [м³] – объем элементарного элемента пространства</p> | |
|---|--|--|

4.1.8 Потенциальная энергия взаимодействия двух точечных электрических зарядов

| | | |
|--|---|--|
| $W = \frac{1}{\epsilon} k \frac{q_1 q_2}{ \vec{r} }$ | <p>W [Дж] – потенциальная энергия взаимодействия</p> <p>$k = 8.988 \cdot 10^9$ [Н м²/Кл²] – постоянная Кулоновского взаимодействия</p> <p>q_1 [Кл] – величина точечного заряда 1</p> <p>q_2 [Кл] – величина точечного заряда 2</p> <p>\vec{r} [м] – расстояние между точечными зарядами</p> <p>ϵ [] – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума $\epsilon = 1$)</p> | |
|--|---|--|

4.1.9 Связь разности потенциалов с работой электрического поля по перемещению заряда

| | | |
|--|--|--|
| $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q}$ | <p>φ_1 [В] – потенциал электрического поля в точке 1</p> <p>φ_2 [В] – потенциал электрического поля в точке 2</p> <p>A [Дж] – работа электрического поля при перемещении заряда q из точки 1 в точку 2</p> <p>q [Кл] – величина электрического заряда</p> | <p>Работа электрического поля не зависит от траектории перемещения заряда q от точки 1 к точке 2.</p> |
|--|--|--|

4.1.10 Напряжение электрического поля

| | | |
|-----------------------------|--|--|
| $U = \varphi_1 - \varphi_2$ | <p>U [В] – напряжение электрического поля</p> <p>φ_1 [В] – потенциал электрического поля в точке 1</p> <p>φ_2 [В] – потенциал электрического поля в точке 2</p> | |
|-----------------------------|--|--|

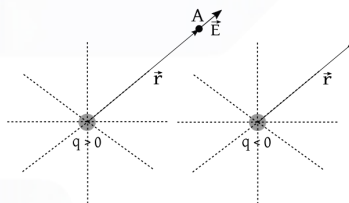
4.1.11 Принцип суперпозиции электрических полей

| | | |
|---|--|--|
| $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$ $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$ | \vec{E} [В/м], φ [В] – напряженность и потенциал электрического поля \vec{E}_1 [В/м], φ_1 [В] – напряженность и потенциал электрического поля заряда 1 \vec{E}_2 [В/м], φ_2 [В] – напряженность и потенциал электрического поля заряда 2 ... \vec{E}_n [В/м], φ_n [В] – напряженность и потенциал электрического поля заряда n | Электрическое поле, создаваемого в данной точке пространства некоторой системой зарядов, есть сумма электрических полей, создаваемых в данной точке пространства каждым зарядом в отдельности. |
|---|--|--|

4.1.12 Связь напряженности и потенциала электрического поля

| | | |
|--|---|--|
| $E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}$ $E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}$ $E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}$ | φ [В] – потенциал электрического поля как функция координат (x, y, z) E_x [В/м] – x компонента напряженности электрического поля E_y [В/м] – y компонента напряженности электрического поля E_z [В/м] – z компонента напряженности электрического поля | В однородном электрическом поле коллинеарном оси x : $E_x = -\frac{\varphi(x_2) - \varphi(x_1)}{x_2 - x_1},$ где $\varphi(x_1)$ и $\varphi(x_2)$ – потенциалы электрического поля в точках с координатами x_1 и x_2 . |
|--|---|--|

4.1.13 Напряженность электрического поля точечного электрического заряда

| | | |
|---|--|---|
| $\vec{E} = \frac{1}{\epsilon} k \frac{q}{ \vec{r} ^2} \frac{\vec{r}}{ \vec{r} }$ $ \vec{E} = \frac{1}{\epsilon} k \frac{ q }{ \vec{r} ^2}$ | \vec{E} [В/м] – напряженность электрического поля $k = 8.988 \cdot 10^9$ [Н м ² /Кл ²] – постоянная Кулоновского взаимодействия q [Кл] – величина точечного электрического заряда \vec{r} [м] – радиус-вектор точки наблюдения ϵ [] – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума $\epsilon = 1$) |  |
|---|--|---|

4.1.14 Потенциал электрического поля точечного электрического заряда

| | | |
|--|--|---|
| $\varphi = \frac{1}{\epsilon} k \frac{q}{ \vec{r} }$ | φ [В] – потенциал электрического поля $k = 8.988 \cdot 10^9$ [Н м ² /Кл ²] – постоянная Кулоновского взаимодействия q [Кл] – величина точечного электрического заряда \vec{r} [м] – радиус-вектор точки наблюдения ϵ [] – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума $\epsilon = 1$) | Начало координат находится в точке расположения точечного электрического заряда. Потенциал электрического поля на бесконечном расстоянии от заряда принят равным нулю. |
|--|--|---|

4.1.15 Напряженность электрического поля заряженной сферы

| | | |
|---|--|---|
| $\vec{E} = \frac{1}{\varepsilon} k \frac{q}{ \vec{r} ^2} \frac{\vec{r}}{ \vec{r} }, \quad \vec{r} \geq R$ $\vec{E} = 0, \quad \vec{r} < R$ $ \vec{E} = \frac{1}{\varepsilon} k \frac{ q }{ \vec{r} ^2}, \quad \vec{r} \geq R$ $ \vec{E} = 0, \quad \vec{r} < R$ | \vec{E} [В/м] – напряженность электрического поля $k = 8.988 \cdot 10^9$ [Н м ² /Кл ²] – постоянная Кулоновского взаимодействия q [Кл] – величина электрического заряда сферы \vec{r} [м] – радиус-вектор точки наблюдения R [м] – радиус сферы ε [] – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума $\varepsilon = 1$) | Начало координат находится в геометрическом центре сферы. |
|---|--|---|

4.1.16 Потенциал электрического поля заряженной сферы

| | | |
|--|--|---|
| $\varphi = \frac{1}{\varepsilon} k \frac{q}{ \vec{r} }, \quad \vec{r} \geq R$ $\varphi = \frac{1}{\varepsilon} k \frac{q}{R}, \quad \vec{r} < R$ | φ [В] – потенциал электрического поля $k = 8.988 \cdot 10^9$ [Н м ² /Кл ²] – постоянная Кулоновского взаимодействия q [Кл] – величина электрического заряда сферы \vec{r} [м] – радиус-вектор точки наблюдения R [м] – радиус сферы ε [] – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума $\varepsilon = 1$) | Начало координат находится в геометрическом центре сферы. Потенциал электрического поля на бесконечном расстоянии от сферы принят равным нулю. |
|--|--|---|

4.1.17 Напряженность однородного электрического поля заряженной плоскости

| | | |
|---|--|--|
| $\vec{E} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \frac{z}{ z } \vec{e}_z$ $ \vec{E} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{ \sigma }{2\varepsilon_0}$ | \vec{E} [В/м] – напряженность электрического поля σ [Кл/м ²] – поверхностная плотность электрического заряда $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$ [Ф/м] – электрическая постоянная \vec{e}_z [] – единичный вектор вдоль вертикальной оси z ε [] – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума $\varepsilon = 1$) | |
|---|--|--|

4.1.18 Потенциал однородного электрического поля заряженной плоскости

| | | |
|--|--|--|
| $\varphi = -\frac{1}{\varepsilon} \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} z $ | φ [В] – потенциал электрического поля σ [Кл/м ²] – поверхностная плотность электрического заряда $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$ [Ф/м] – электрическая постоянная z [м] – координата вдоль вертикальной оси z ε [] – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума $\varepsilon = 1$) | Потенциал электрического поля всех точек плоскости принят равным нулю. |
|--|--|--|

4.1.19 Напряженность и потенциал электрического поля в проводнике

| | | |
|--|---|--|
| <p>Внутри проводника:</p> $\vec{E} = 0$ $\varphi = const$ <p>На поверхности проводника:</p> $\vec{E} \perp \text{поверхности}$ $\varphi = const$ | $\vec{E} \text{ [В/м]} - \text{напряженность электрического поля}$ $\varphi \text{ [В]} - \text{потенциал электрического поля}$ | |
|--|---|--|

4.1.20 Электрическая емкость уединенного проводника

| | | |
|--------------------------|--|---|
| $C := \frac{q}{\varphi}$ | $C \text{ [Ф]} - \text{электрическая емкость проводника}$ $q \text{ [Кл]} - \text{электрический заряд проводника}$ $\varphi \text{ [В]} - \text{электрический потенциал проводника}$ <p>Потенциал электрического поля в бесконечно удаленных от проводника точках принимается равным нулю.</p> | <p>Емкость проводника зависит от геометрической формы и размеров проводника, а также от диэлектрической проницаемости окружающей среды.</p> |
|--------------------------|--|---|

4.1.21 Электрическая емкость проводящей сферы

| | | |
|---|--|--|
| $C = \frac{1}{k} \epsilon R$ $C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R$ | $C \text{ [Ф]} - \text{электрическая емкость сферы}$ $k = 8.988 \cdot 10^9 \text{ [Н м}^2\text{/Кл}^2\text{]} - \text{постоянная Кулоновского взаимодействия}$ $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ [Ф/м]} - \text{электрическая постоянная}$ $R \text{ [м]} - \text{радиус сферы}$ $\epsilon \text{ []} - \text{относительная диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума } \epsilon = 1)$ | |
|---|--|--|

4.1.22 Электрическая емкость проводящего круглого диска

| | | |
|-----------------------------|---|--|
| $C = 8\epsilon_0\epsilon R$ | $C \text{ [Ф]} - \text{электрическая емкость круглого диска}$ $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ [Ф/м]} - \text{электрическая постоянная}$ $R \text{ [м]} - \text{радиус диска}$ $\epsilon \text{ []} - \text{относительная диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума } \epsilon = 1)$ | |
|-----------------------------|---|--|

4.1.23 Электрическая емкость конденсатора

| | | |
|--------------------|--|---|
| $C := \frac{q}{U}$ | $C \text{ [Ф]} - \text{электрическая емкость конденсатора}$ $q \text{ [Кл]} - \text{электрический заряд проводников}$ $U \text{ [В]} - \text{разность потенциалов между проводниками}$ | <p>Конденсатор состоит из двух проводников несущих одинаковые по модулю заряды противоположного знака.</p> <p>Емкость конденсатора зависит от геометрической формы и размеров проводников, а также от диэлектрической проницаемости среды между проводниками.</p> |
|--------------------|--|---|

4.1.24 Напряженность электрического поля внутри плоского конденсатора

| | | |
|---|--|---|
| $ \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{ q }{\epsilon S}$ | \vec{E} [В/м] – напряженность электрического поля $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$ [Ф/м] – электрическая постоянная q [Кл] – электрический заряд любой пластины S [м ²] – площадь поверхности пластины ϵ [] – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума $\epsilon = 1$) | Электрическое поле между пластинами конденсатора однородно и направлено от положительно заряженной пластины к отрицательно заряженной перпендикулярно их поверхности. |
|---|--|---|

4.1.25 Электрическая емкость плоского конденсатора

| | | |
|---------------------------------------|---|--|
| $C = \epsilon_0 \epsilon \frac{S}{d}$ | C [Ф] – электрическая емкость конденсатора $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$ [Ф/м] – электрическая постоянная S [м ²] – площадь поверхности пластины d [м] – расстояние между пластинами ϵ [] – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума $\epsilon = 1$) | |
|---------------------------------------|---|--|

4.1.26 Электрическая емкость цилиндрического конденсатора

| | | |
|--|---|--|
| $C = 2\pi\epsilon_0 \epsilon \frac{l}{\ln(R_2/R_1)}$ | C [Ф] – электрическая емкость конденсатора $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$ [Ф/м] – электрическая постоянная l [м] – длина коаксиальных цилиндров R_1 [м] – радиус внутреннего цилиндра R_2 [м] – радиус внешнего цилиндра ϵ [] – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума $\epsilon = 1$) | |
|--|---|--|

4.1.27 Электрическая емкость сферического конденсатора

| | | |
|---|---|--|
| $C = 4\pi\epsilon_0 \epsilon \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}$ | C [Ф] – электрическая емкость конденсатора $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$ [Ф/м] – электрическая постоянная R_1 [м] – радиус внутренней сферы R_2 [м] – радиус внешней сферы ϵ [] – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума $\epsilon = 1$) | |
|---|---|--|

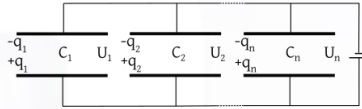
4.1.28 Электрическая энергия заряженного конденсатора

| | | |
|--|--|--|
| $W = \frac{q^2}{2C}$ $W = \frac{CU^2}{2}$ $W = \frac{qU}{2}$ | W [Дж] – электрическая энергия конденсатора q [Кл] – электрический заряд на любой обкладке U [В] – разность потенциалов между обкладками C [Ф] – электрическая емкость конденсатора | Формулы справедливы для произвольного конденсатора или уединенного проводника. |
|--|--|--|

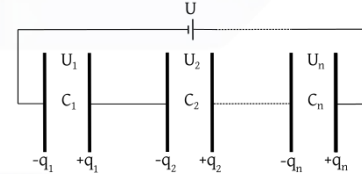
4.1.29 Объемная плотность энергии электрического поля

| | | |
|---|---|--|
| $w = \epsilon_0 \epsilon \frac{ \vec{E} ^2}{2}$ | <p>w [Дж/м³] – объемная плотность энергии электрического поля</p> <p>$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$ [Ф/м] – электрическая постоянная</p> <p>\vec{E} [В/м] – напряженность электрического поля</p> <p>ϵ [] – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума $\epsilon = 1$)</p> | |
|---|---|--|

4.1.30 Параллельное соединение конденсаторов

| | | |
|---|--|---|
| $q = q_1 + q_2 + \dots + q_n$ $U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$ $C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$ | <p>q [Кл], U [В], C [Ф] – заряд, напряжение, емкость у эквивалентного конденсатора</p> <p>q_1 [Кл], U_1 [В], C_1 [Ф] – заряд, напряжение, емкость у конденсатора 1</p> <p>q_2 [Кл], U_2 [В], C_2 [Ф] – заряд, напряжение, емкость у конденсатора 2</p> <p>...</p> <p>q_n [Кл], U_n [В], C_n [Ф] – заряд, напряжение, емкость у конденсатора n</p> |  |
|---|--|---|

4.1.31 Последовательное соединение конденсаторов

| | | |
|---|--|---|
| $q = q_1 = q_2 = \dots = q_n$ $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$ | <p>q [Кл], U [В], C [Ф] – заряд, напряжение, емкость у эквивалентного конденсатора</p> <p>q_1 [Кл], U_1 [В], C_1 [Ф] – заряд, напряжение, емкость у конденсатора 1</p> <p>q_2 [Кл], U_2 [В], C_2 [Ф] – заряд, напряжение, емкость у конденсатора 2</p> <p>...</p> <p>q_n [Кл], U_n [В], C_n [Ф] – заряд, напряжение, емкость у конденсатора n</p> |  |
|---|--|---|

4.2 Постоянный электрический ток

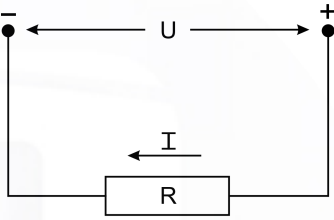
4.2.1 Сила электрического тока

| | | |
|--|---|--|
| $I := \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$ | <p>I [А] – сила электрического тока</p> <p>Δq [Кл] – электрический заряд протекший через поперечное сечение проводника за время Δt</p> <p>Δt [с] – промежуток времени на котором вычисляется средняя сила электрического тока</p> | <p>Сила тока не имеет никакого отношения к обычной механической силе. Более правильно эту величину называть интенсивностью тока.</p> |
|--|---|--|

4.2.2 Плотность электрического тока

| | | |
|------------------------------|--|--|
| $j := \frac{I}{S}$ $j = env$ | j [А/м ²] – плотность электрического тока I [А] – сила электрического тока S [м ²] – поперечное сечение проводника e [Кл] – электрический заряд носителя тока n [1/м ³] – концентрация носителей тока v [м/с] – скорость носителей тока | |
|------------------------------|--|--|

4.2.3 Закон Ома для участка электрической цепи

| | | |
|-------------------|---|---|
| $I = \frac{U}{R}$ | I [А] – сила электрического тока на участке U [В] – напряжение между концами участка R [Ом] – электрическое сопротивление участка |  |
|-------------------|---|---|

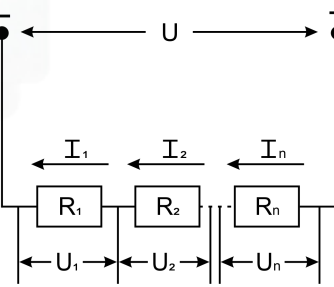
4.2.4 Электрическое сопротивление цилиндрического однородного проводника

| | | |
|------------------------|--|--|
| $R = \rho \frac{l}{S}$ | R [Ом] – электрическое сопротивление проводника ρ [Ом мм ² /м] – удельное электрическое сопротивление проводника l [м] – длина проводника S [мм ²] – площадь поперечного сечения проводника | |
|------------------------|--|--|

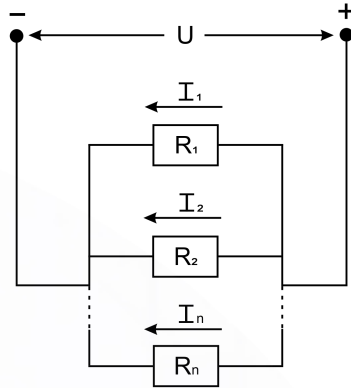
4.2.5 Зависимость электрического сопротивления проводника от температуры

| | | |
|--------------------------|---|--|
| $R = R_0 (1 + \alpha t)$ | R [Ом] – электрическое сопротивление проводника R_0 [Ом] – электрическое сопротивление проводника при нулевой температуре α [1/С] – температурный коэффициент электрического сопротивления t [С] – температура проводника | |
|--------------------------|---|--|

4.2.6 Последовательное соединение проводников в электрической цепи

| | | |
|---|--|---|
| $I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$ $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ | I [А], U [В], R [Ом] – сила тока, напряжение, сопротивление у эквивалентной цепи I_1, I_2, \dots, I_n [А] – сила тока через участки цепи U_1, U_2, \dots, U_n [В] – напряжение на участках цепи R_1, R_2, \dots, R_n [Ом] – сопротивление участков цепи |  |
|---|--|---|

4.2.7 Параллельное соединение проводников в электрической цепи

| | | |
|---|---|---|
| $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ $U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$ $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$ | <p>I [А], U [В], R [Ом] – сила тока, напряжение, сопротивление у эквивалентной цепи</p> <p>I_1, I_2, \dots, I_n [А] – сила тока через участки цепи</p> <p>U_1, U_2, \dots, U_n [В] – напряжение на участках цепи</p> <p>R_1, R_2, \dots, R_n [Ом] – сопротивление участков цепи</p> |  |
|---|---|---|

4.2.8 Работа электрического тока на участке цепи

| | | |
|--|---|--|
| $A = IUt$ <p>Если выполняется закон Ома:</p> $A = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$ | <p>A [Дж] – работа электрического тока за время t</p> <p>I [А] – сила электрического тока на участке цепи</p> <p>U [В] – напряжение между концами участка цепи</p> <p>R [Ом] – сопротивление участка цепи</p> <p>t [с] – время протекания электрического тока</p> | <p>Работу на участке цепи совершает электрическое поле, вызывающее движение носителей тока по этому участку.</p> <p>Электрическое поле создается в источнике при помощи действия сторонних сил обеспечивающих разделение зарядов на клеммах источника.</p> |
|--|---|--|

4.2.9 Мощность электрического тока на участке цепи

| | | |
|--|--|---|
| $P := \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt}$ $P = IU$ <p>Если выполняется закон Ома:</p> $P = I^2 R = \frac{U^2}{R}$ | <p>P [Вт] – мощность электрического тока</p> <p>ΔA [Дж] – работа электрического тока за время Δt</p> <p>Δt [с] – промежуток времени на котором вычисляется средняя мощность электрического тока</p> <p>I [А] – сила электрического тока на участке цепи</p> <p>U [В] – напряжение между концами участка цепи</p> <p>R [Ом] – сопротивление участка цепи</p> | <p>Мощность электрического тока это работа совершаемая током в единицу времени.</p> |
|--|--|---|

4.2.10 Закон Джоуля–Ленца для количества теплоты выделяющейся при протекании тока

| | | |
|--|--|---|
| $Q = I^2 R t$ <p>Если выполняется закон Ома:</p> $Q = IUt = \frac{U^2}{R} t$ | <p>Q [Дж] – количество теплоты выделяющееся на участке цепи</p> <p>I [А] – сила электрического тока на участке цепи</p> <p>R [Ом] – сопротивление участка цепи</p> <p>t [с] – время протекания тока через участок цепи</p> | <p>Количество теплоты выделяющееся на участке цепи равно работе электрического тока только в том случае если этот ток не совершает никакой другой работы.</p> |
|--|--|---|

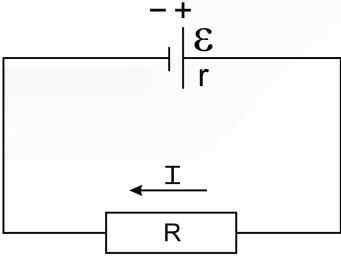
4.2.11 Электродвижущая сила источника электричества (ЭДС)

| | | |
|--|--|--|
| $\mathcal{E} := \frac{A_{\text{стор}}}{q}$ | <p>\mathcal{E} [В] – электродвижущая сила источника $A_{\text{стор}}$ [Дж] – работа по перемещению заряда q внутри источника между его клеммами q [Кл] – заряд перемещенный внутри источника</p> | <p>Электродвижущая сила не имеет никакого отношения к обычной механической силе. Сторонние силы внутри источника обеспечивают разделение электрических зарядов на его клеммах и тем самым создают электрическое поле в цепи.</p> |
|--|--|--|

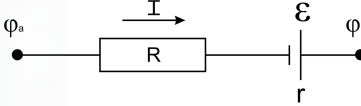
4.2.12 Мощность источника электричества

| | | |
|---|---|--|
| $P_{\mathcal{E}} := \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A_{\text{стор}}}{\Delta t} = \frac{dA_{\text{стор}}}{dt}$ $P_{\mathcal{E}} = I\mathcal{E}$ | <p>$P_{\mathcal{E}}$ [Вт] – мощность источника электричества $\Delta A_{\text{стор}}$ [Дж] – работа сторонних сил за время Δt Δt [с] – промежуток времени на котором вычисляется средняя мощность источника I [А] – сила тока протекающего через источник \mathcal{E} [В] – ЭДС источника</p> | |
|---|---|--|

4.2.13 Закон Ома для полной (замкнутой) электрической цепи

| | | |
|---------------------------------|---|--|
| $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ | <p>I [А] – сила электрического тока в цепи \mathcal{E} [В] – ЭДС источника R [Ом] – внешнее сопротивление цепи r [Ом] – внутреннее сопротивление источника</p> |  |
|---------------------------------|---|--|

4.2.14 Закон Ома для неоднородного участка электрической цепи

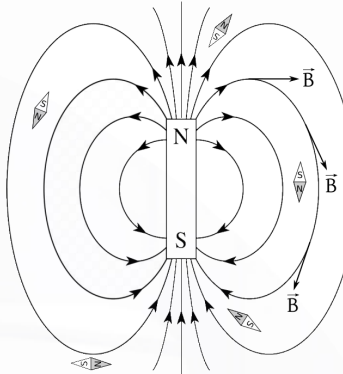
| | | |
|--|--|---|
| $\varphi_a - \varphi_b + \mathcal{E} = I(R + r)$ | <p>φ_a [В] – электрический потенциал в точке a φ_b [В] – электрический потенциал в точке b \mathcal{E} [В] – ЭДС источника I [А] – сила электрического тока на участке цепи R [Ом] – внешнее сопротивление участка цепи r [Ом] – внутреннее сопротивление источника</p> |  |
|--|--|---|

4.2.15 Закон Фарадея для электролиза

| | | |
|-------------------------|--|---|
| $m = \frac{\mu}{ZF} It$ | <p>m [кг] – масса осажденного на электроде вещества μ [кг/моль] – молярная масса вещества Z [–] – валентность ионов вещества $F = 96485.332$ [Кл/моль] – постоянная Фарадея I [А] – сила электрического тока через электролит t [с] – время прохождения электрического тока</p> | <p>Электролиз это физико-химический процесс, который возникает при прохождении электрического тока через раствор электролита, в результате чего на электродах выделяются составные части (ионы) растворённых веществ.</p> |
|-------------------------|--|---|

4.3 Магнитное поле

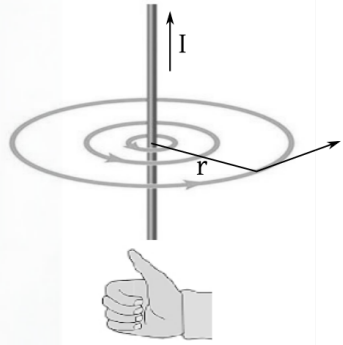
4.3.1 Индукция магнитного поля

| | | |
|--|--|---|
| | <p>Индукция магнитного поля это векторная физическая величина, характеризующая силовое действие магнитного поля на движущиеся заряженные частицы и на обладающие магнитным моментом тела.</p> <p>Направление вектора \vec{B} совпадает с направлением от южного полюса к северному полюсу магнитной стрелки, свободно устанавливающейся в магнитном поле.</p> <p>Магнитные силовые линии это кривые у которых касательная в каждой точке кривой параллельна вектору магнитной индукции в этой точке пространства.</p> |  |
|--|--|---|

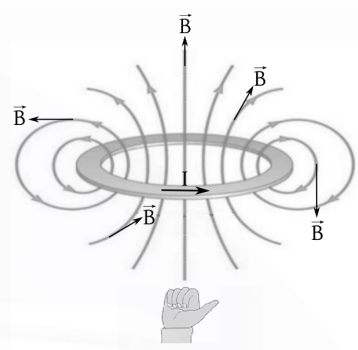
4.3.2 Принцип суперпозиции магнитных полей

| | | |
|---|--|---|
| $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$ | <p>\vec{B} [Тл] – индукция магнитного поля</p> <p>\vec{B}_1 [Тл] – индукция магнитного поля источника 1</p> <p>\vec{B}_2 [Тл] – индукция магнитного поля источника 2</p> <p>...</p> <p>\vec{B}_n [Тл] – индукция магнитного поля источника n</p> | <p>Магнитное поле, создаваемого в данной точке пространства некоторой системой источников, есть сумма магнитных полей, создаваемых в данной точке пространства каждым источником в отдельности.</p> |
|---|--|---|

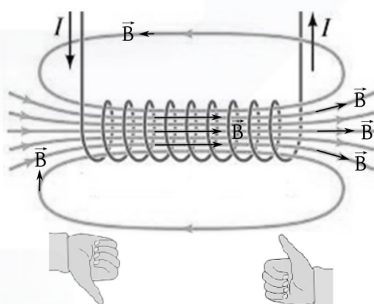
4.3.3 Магнитное поле прямого электрического тока

| | | |
|--|--|---|
| $ \vec{B} = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r}$ | <p>\vec{B} [Тл] – индукция магнитного поля</p> <p>I [А] – сила электрического тока в проводнике</p> <p>r [м] – расстояние от проводника</p> <p>$\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6}$ [Гн/м] – магнитная постоянная</p> <p>μ [] – магнитная проницаемость среды (для вакуума $\mu = 1$)</p> <p>Магнитные силовые линии являются концентрическими окружностями, касательная к которым в каждой точке параллельна вектору магнитной индукции в этой точке пространства.</p> <p>Окончательное направление магнитного поля определяется по правилу правой руки: если большой палец направить вдоль тока, то остальные пальцы покажут направление магнитной индукции.</p> |  |
|--|--|---|

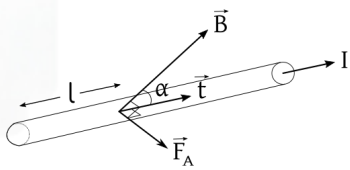
4.3.4 Магнитное поле кольцевого электрического тока

| | | |
|--|--|---|
| $ \vec{B} = \frac{\mu_0 \mu I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}$ <p>Выражение справедливо в точках, расположенных на вертикальной оси проходящей через центр кольца</p> | <p>\vec{B} [Тл] – индукция магнитного поля I [А] – сила электрического тока в кольце R [м] – радиус кольца z [м] – расстояние до плоскости кольца $\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6}$ [Гн/м] – магнитная постоянная μ [] – магнитная проницаемость среды (для вакуума $\mu = 1$)</p> <p>Вектор магнитной индукции в каждой точке пространства параллелен касательной к магнитной силовой линии проходящей через эту точку пространства.</p> <p>Окончательное направление магнитного поля определяется по правилу правой руки: если большой палец направить вдоль тока, то остальные пальцы покажут направление магнитной индукции внутри плоскости кольца.</p> |  |
|--|--|---|

4.3.5 Магнитное поле магнитной катушки (соленоида)

| | | |
|---|---|---|
| $ \vec{B} = \mu_0 \mu I n$ $ \vec{B} = \mu_0 \mu I \frac{N}{L}$ <p>Выражение справедливо в точках, расположенных внутри бесконечно длинного соленоида</p> | <p>\vec{B} [Тл] – индукция магнитного поля I [А] – сила электрического тока в соленоиде n [1/м] – число витков на единицу длины N [] – число витков в соленоиде L [м] – длина соленоида $\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6}$ [Гн/м] – магнитная постоянная μ [] – магнитная проницаемость среды (для вакуума $\mu = 1$)</p> <p>Магнитное поле внутри бесконечно длинного соленоида однородно и направлено вдоль его оси.</p> <p>Окончательное направление магнитного поля определяется по правилу правой руки: если большой палец направить вдоль тока, то остальные пальцы покажут направление магнитной индукции внутри соленоида.</p> |  |
|---|---|---|

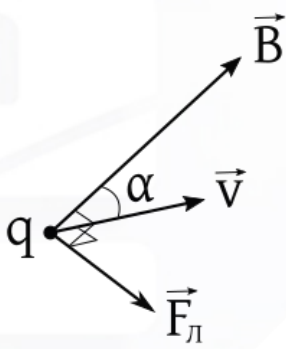
4.3.6 Сила действующая на проводник с током находящийся в магнитном поле (сила Ампера)

| | | |
|--|---|--|
| $\vec{F}_A = I l \vec{t} \times \vec{B}$ $F_A = I l B \sin \alpha$ | <p>\vec{F}_A [Н] – сила Ампера действующая на проводник I [А] – сила электрического тока в проводнике l [м] – длина проводника \vec{t} [] – единичный вектор касательной к проводнику (в направлении течения тока) \vec{B} [Тл] – магнитная индукция внешнего поля α [рад] – угол между векторами \vec{t} и \vec{B}</p> |  <p>Направление силы Ампера определяется правилом левой руки.</p> |
|--|---|--|

4.3.7 Правило левой руки для определения направления силы Ампера

| | | |
|--|--|--|
| | <p>Если расположить левую руку так, чтобы линии магнитной индукции \vec{B} входили в ладонь, а вытянутые пальцы были направлены вдоль направления течения электрического тока I, то отведенный большой палец укажет направление силы Ампера \vec{F}_A, действующей на проводник.</p> <p>Сила Ампера перпендикулярна плоскости, образуемой направлением течения электрического тока \vec{I} и магнитной индукцией \vec{B}.</p> | |
|--|--|--|

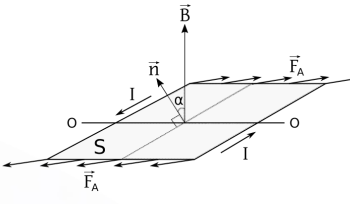
4.3.8 Сила действующая на движущийся электрический заряд в магнитном поле (сила Лоренца)

| | | |
|--|--|--|
| $\vec{F}_L = q \vec{v} \times \vec{B}$ $F_L = q vB \sin \alpha$ | <p>\vec{F}_L [Н] – сила Лоренца действующая на заряд q [Кл] – величина электрического заряда \vec{v} [м/с] – скорость электрического заряда \vec{B} [Тл] – магнитная индукция внешнего поля α [рад] – угол между векторами \vec{v} и \vec{B}</p> |  <p>Направление силы Лоренца определяется правилом левой руки.</p> |
|--|--|--|

4.3.9 Правило левой руки для определения направления силы Лоренца

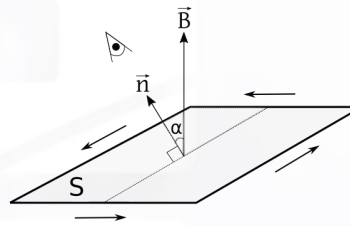
| | | |
|--|--|--|
| | <p>Для положительного заряда: Если расположить левую руку так, чтобы линии индукции \vec{B} входили в ладонь, а вытянутые пальцы были направлены вдоль скорости заряда \vec{v}, то отведенный большой палец укажет направление силы Лоренца \vec{F}_L, действующей на заряд.</p> <p>Для отрицательного заряда: Применить то же самое правило и затем поменять направление полученной силы на противоположное.</p> <p>Сила Лоренца перпендикулярна плоскости, образуемой скоростью заряда \vec{v} и магнитной индукцией \vec{B}.</p> | <p>Так как сила Лоренца всегда перпендикулярна скорости заряженной частицы, то она не совершает над ней механической работы, а значит не может изменить ее кинетическую энергию.</p> |
|--|--|--|

4.3.10 Момент сил действующий на рамку с электрическим током в магнитном поле

| | | |
|---|--|---|
| $M = \vec{B} IS \sin \alpha$ $M_{max} = \vec{B} IS$ | <p>M [Н м] – момент сил действующий на рамку (относительно оси OO)</p> <p>\vec{B} [Тл] – магнитная индукция внешнего поля</p> <p>\vec{n} [] – единичный вектор нормали к рамке</p> <p>I [А] – сила электрического тока в рамке</p> <p>S [м²] – площадь рамки</p> <p>α [рад] – угол между векторами \vec{n} и \vec{B}</p> |  |
|---|--|---|

4.4 Электромагнитная индукция

4.4.1 Поток вектора магнитной индукции (магнитный поток)

| | | |
|--|--|--|
| $\Phi := S \vec{B} \cdot \vec{n}$ $\Phi = S B_n = S B \cos \alpha$ | <p>Φ [Вб] – магнитный поток через площадку</p> <p>S [м²] – площадь площадки</p> <p>\vec{B} [Тл] – вектор магнитной индукции</p> <p>\vec{n} [] – единичный вектор нормали к площадке</p> <p>α [рад] – угол между векторами \vec{n} и \vec{B}</p> |  <p>Показано положительное направление обхода контура ограничивающего площадку.</p> |
|--|--|--|

4.4.2 Закон электромагнитной индукции Фарадея

| | | |
|---|--|---|
| $\mathcal{E}_i = - \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{d\Phi}{dt}$ | <p>\mathcal{E}_i [В] – ЭДС индукции в проводящем контуре</p> <p>$\Delta \Phi$ [Вб] – изменение магнитного потока через площадку ограниченную контуром за время Δt</p> <p>Δt [с] – промежуток времени на котором вычисляется средняя ЭДС индукции</p> | <p>Если смотреть со стороны вектора нормали к площадке, то направление обхода контура против часовой стрелки называется положительным.</p> <p>Если в результате вычислений ЭДС индукции положительно, то индукционный ток течет в положительном направлении обхода контура, и наоборот.</p> |
|---|--|---|

4.4.3 Правило Ленца для направления индукционного электрического тока

| | | |
|--|---|--|
| | <p>Индукционный электрический ток, возникающий в замкнутом контуре, направлен так, что его собственный магнитный поток через площадку, ограниченную контуром, стремится компенсировать изменение внешнего потока, которое вызывает данный индукционный ток.</p> <p>Другими словами, индукционный ток направлен так, чтобы противодействовать причине, его вызывающей.</p> | |
|--|---|--|

4.4.4 ЭДС индукции в прямом проводнике движущемся в однородном магнитном поле

| | | |
|---|---|--|
| $ \mathcal{E}_i = l \vec{v} \vec{B} \sin\alpha$ | \mathcal{E}_i [В] – ЭДС индукции в проводнике l [м] – длина проводника \vec{v} [м/с] – скорость проводника \vec{B} [Тл] – индукция магнитного поля α [рад] – угол между вектором \vec{v} и \vec{B} | Формула справедлива при поперечном движении проводника когда $\vec{v} \perp \vec{l}$. ЭДС индукции создается силой Лоренца действующей на свободные заряды в проводнике. Направление ЭДС можно определить по правилу левой руки. |
|---|---|--|

4.4.5 Индуктивность проводящего замкнутого контура

| | | |
|-----------------------|--|--|
| $L := \frac{\Phi}{I}$ | L [Гн] – индуктивность контура Φ [Вб] – магнитный поток через площадку ограниченную контуром I [А] – сила электрического тока в контуре | Электрический ток в контуре создает собственный магнитный поток через площадку ограниченную этим контуром. |
|-----------------------|--|--|

4.4.6 Индуктивность магнитной катушки (соленоида)

| | | |
|------------------------|--|--|
| $L = N \frac{\Phi}{I}$ | L [Гн] – индуктивность соленоида N [] – количество витков у соленоида Φ [Вб] – магнитный поток через виток соленоида I [А] – сила электрического тока в соленоиде | В каждом витке соленоида возникает одинаковая ЭДС. |
|------------------------|--|--|

4.4.7 ЭДС самоиндукции проводящего замкнутого контура

| | | |
|--|---|---|
| $\mathcal{E}_{si} = -L \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta I}{\Delta t} = -L \frac{dI}{dt}$ | \mathcal{E}_{si} [В] – ЭДС самоиндукции в контуре L [Гн] – индуктивность контура ΔI [А] – изменение тока в контуре за время Δt Δt [с] – промежуток времени на котором вычисляется средняя ЭДС самоиндукции | При возрастании тока в контуре ЭДС самоиндукции препятствует этому возрастанию (индукционный ток направлен против основного тока). При убывании тока в контуре ЭДС самоиндукции препятствует этому убыванию (индукционный ток сонаправлен с основным током). |
|--|---|---|

4.4.8 Энергия магнитного поля проводящего замкнутого контура

| | | |
|----------------------|--|--|
| $W = \frac{LI^2}{2}$ | W [Дж] – энергия магнитного поля L [Гн] – индуктивность контура I [А] – сила электрического тока в контуре | |
|----------------------|--|--|

4.5 Электромагнитные колебания и волны

4.5.1 Идеальный колебательный контур: заряд и сила тока как функции времени

| | | |
|---|--|--|
| $q(t) = q_{max} \sin(\omega t + \varphi_0)$ $I(t) = I_{max} \cos(\omega t + \varphi_0)$ $I_{max} = \omega q_{max}$ $\omega = 2\pi\nu$ | $q(t)$ [Кл] – заряд на положительной обкладке конденсатора $I(t)$ [А] – сила тока через катушку индуктивности t [с] – время с момента начала колебаний q_{max} [Кл] – амплитуда колебаний заряда I_{max} [А] – амплитуда колебаний тока ω [рад/с] – круговая частота колебаний ν [Гц] – частота колебаний φ_0 [рад] – начальная фаза колебаний | |
|---|--|--|

4.5.2 Идеальный колебательный контур: период свободных колебаний (формула Томсона)

| | | |
|--|---|---|
| $T = 2\pi\sqrt{LC}$ $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ | L [Гн] – индуктивность катушки C [Ф] – ёмкость конденсатора T [с] – период колебаний ω [рад/с] – круговая частота колебаний ν [Гц] – частота колебаний | В колебательном контуре колеблются заряд на обкладках конденсатора и сила тока через катушку индуктивности. |
|--|---|---|

4.5.3 Идеальный колебательный контур: закон сохранения электромагнитной энергии

| | | |
|---|--|---|
| $\frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} = const$ $const = \frac{q_{max}^2}{2C}$ $const = \frac{LI_{max}^2}{2}$ | q [Кл] – заряд на положительной обкладке конденсатора I [А] – сила тока через катушку индуктивности C [Ф] – ёмкость конденсатора L [Гн] – индуктивность катушки q_{max} [Кл] – амплитуда колебаний заряда I_{max} [А] – амплитуда колебаний силы тока | Для нахождения напряжения на конденсаторе используйте: $U = \frac{q}{C}$ |
|---|--|---|

4.5.4 Условие квазистационарности в цепи переменного электрического тока

| | | |
|------------|--|---|
| $l \ll cT$ | l [м] – длина электрической цепи T [с] – период колебаний переменного тока $c \approx 3 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света | При выполнении условия квазистационарности можно считать, что сила тока мгновенно принимает одно и то же значение во всей цепи. |
|------------|--|---|

4.5.5 Вынужденные электромагнитные колебания: резистор в цепи переменного тока

| | | |
|---|--|--|
| $u(t) = U \sin(\omega t)$ $i(t) = \frac{u(t)}{R}$ $i(t) = I \sin(\omega t)$ $I = \frac{U}{R}$ | $u(t)$ [В] – напряжение на резисторе в момент времени t $i(t)$ [А] – сила тока через резистор в момент времени t U [В] – амплитуда колебаний напряжения I [А] – амплитуда колебаний силы тока ω [рад/с] – круговая частота колебаний R [Ом] – активное сопротивление резистора | Сила тока и напряжение на резисторе колеблются в одной фазе. |
|---|--|--|

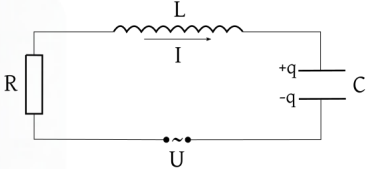
4.5.6 Вынужденные электромагнитные колебания: конденсатор в цепи переменного тока

| | | |
|---|--|--|
| $u(t) = U \sin(\omega t)$ $i(t) = q'(t) = (Cu(t))'$ $i(t) = I \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$ $I = \omega CU$ $X_C = \frac{U}{I} = \frac{1}{\omega C}$ | $u(t)$ [В] – напряжение на конденсаторе в момент времени t $i(t)$ [А] – сила тока через конденсатор в момент времени t U [В] – амплитуда колебаний напряжения I [А] – амплитуда колебаний силы тока ω [рад/с] – круговая частота колебаний C [Ф] – ёмкость конденсатора X_C [Ом] – ёмкостное сопротивление конденсатора | Сила тока через конденсатор опережает напряжение на обкладках на $\pi/2$. |
|---|--|--|

4.5.7 Вынужденные электромагнитные колебания: катушка в цепи переменного тока

| | | |
|---|---|--|
| $u(t) = U \sin(\omega t)$ $u(t) = -\mathcal{E}_{si} = L i'(t)$ $i(t) = I \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ $I = \frac{U}{\omega L}$ $X_L = \frac{U}{I} = \omega L$ | $u(t)$ [В] – напряжение на катушке в момент времени t $i(t)$ [А] – сила тока через катушку в момент времени t U [В] – амплитуда колебаний напряжения I [А] – амплитуда колебаний силы тока ω [рад/с] – круговая частота колебаний \mathcal{E}_{si} [В] – ЭДС самоиндукции в катушке L [Гн] – индуктивность катушки X_L [Ом] – индуктивное сопротивление катушки | Сила тока через катушку отстает от напряжения на $\pi/2$. |
|---|---|--|

4.5.8 Вынужденные электромагнитные колебания: RLC-цепочка

| | | |
|--|---|---|
| $u(t) = U \sin(\omega t)$ $i(t) = I \sin(\omega t - \varphi)$ $I = \frac{U}{X}$ $\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$ $X = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ $X_L = \omega L$ $X_C = \frac{1}{\omega C}$ | $u(t)$ [В] – напряжение на концах цепи в момент времени t $i(t)$ [А] – сила тока в цепи в момент времени t U [В] – амплитуда колебаний напряжения I [А] – амплитуда колебаний силы тока φ [рад] – фаза, на которую ток отстает от напряжения ω [рад/с] – круговая частота колебаний R [Ом] – активное сопротивление резистора L [Гн] – индуктивность катушки C [Ф] – ёмкость конденсатора X [Ом] – полное сопротивление цепи X_L [Ом] – индуктивное сопротивление катушки X_C [Ом] – ёмкостное сопротивление конденсатора |  $u(t) = u_R(t) + u_L(t) + u_C(t)$ $I(t) = I_R(t) = I_L(t) = I_C(t)$ |
|--|---|---|

4.5.9 Вынужденные электромагнитные колебания: резонанс в RLC-цепочке

| | | |
|--|--|--|
| $I(\omega) = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$ $I_{res} = I(\omega_{res}) = \frac{U}{R}$ $\omega_{res} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ | <p>I [А] – амплитуда колебаний силы тока U [В] – амплитуда колебаний напряжения R [Ом] – активное сопротивление резистора X_L [Ом] – индуктивное сопротивление катушки X_C [Ом] – ёмкостное сопротивление конденсатора L [Гн] – индуктивность катушки C [Ф] – ёмкость конденсатора ω [рад/с] – круговая частота колебаний I_{res} [А] – резонансная амплитуда тока ω_{res} [рад/с] – резонансная круговая частота</p> | <p>Резонансная частота вынужденных колебаний совпадает с частотой свободных колебаний в идеальном колебательном контуре.</p> |
|--|--|--|

4.5.10 Мощность переменного электрического тока

| | | |
|--------------------|---|--|
| $p(t) = i(t) u(t)$ | <p>$p(t)$ [Вт] – мощность в момент времени t $i(t)$ [А] – сила тока в момент времени t $u(t)$ [В] – напряжение в момент времени t</p> | <p>Сдвиг фаз между током и напряжением приводит к тому, что мгновенная мощность на участке цепи может быть как положительной, так и отрицательной.</p> |
|--------------------|---|--|

4.5.11 Мощность переменного электрического тока через резистор

| | | |
|---|--|--|
| $p(t) = IU \sin^2(\omega t)$ $\bar{p} = \frac{IU}{2} = I_d U_d$ $I_d := \frac{I}{\sqrt{2}}$ $U_d := \frac{U}{\sqrt{2}}$ | <p>$p(t)$ [Вт] – мощность в момент времени t \bar{p} [Вт] – средняя мощность за период колебаний I [А] – амплитуда колебаний силы тока U [В] – амплитуда колебаний напряжения ω [рад/с] – круговая частота колебаний I_d [А] – действующее значение силы тока U_d [В] – действующее значение напряжения</p> | |
|---|--|--|

4.5.12 Мощность переменного электрического тока через конденсатор

| | | |
|---|---|--|
| $p(t) = \frac{IU}{2} \sin(2\omega t)$ $\bar{p} = 0$ | <p>$p(t)$ [Вт] – мощность в момент времени t \bar{p} [Вт] – средняя мощность за период колебаний I [А] – амплитуда колебаний силы тока U [В] – амплитуда колебаний напряжения ω [рад/с] – круговая частота колебаний</p> | |
|---|---|--|

4.5.13 Мощность переменного электрического тока через катушку

| | | |
|--|---|--|
| $p(t) = -\frac{IU}{2} \sin(2\omega t)$ $\bar{p} = 0$ | <p>$p(t)$ [Вт] – мощность в момент времени t \bar{p} [Вт] – средняя мощность за период колебаний I [А] – амплитуда колебаний силы тока U [В] – амплитуда колебаний напряжения ω [рад/с] – круговая частота колебаний</p> | |
|--|---|--|

4.5.14 Мощность переменного электрического тока на произвольном участке цепи

| | | |
|--|--|--|
| $u(t) = U \sin(\omega t)$ $i(t) = I \sin(\omega t - \varphi)$ $p(t) = IU \sin(\omega t) \sin(\omega t - \varphi)$ $\bar{p} = \frac{IU}{2} \cos \varphi = I_d U_d \cos \varphi$ $I_d := \frac{I}{\sqrt{2}}$ $U_d := \frac{U}{\sqrt{2}}$ | $u(t)$ [В] – напряжение в момент времени t $i(t)$ [А] – сила тока в момент времени t $p(t)$ [Вт] – мощность в момент времени t \bar{p} [Вт] – средняя мощность за период колебаний U [В] – амплитуда колебаний напряжения I [А] – амплитуда колебаний силы тока ω [рад/с] – круговая частота колебаний φ [рад] – фаза, на которую ток отстает от напряжения I_d [А] – действующее значение силы тока U_d [В] – действующее значение напряжения | |
|--|--|--|

4.5.15 Генератор переменного электрического тока

| | | |
|--|--|--|
| $\Phi(t) = S \vec{B} \cos(\omega t)$ $\mathcal{E}(t) = N S \vec{B} \omega \sin(\omega t)$ $i(t) = \frac{N S \vec{B} \omega}{R} \sin(\omega t)$ | $\Phi(t)$ [Вб] – магнитный поток через рамку в момент времени t $\mathcal{E}(t)$ [В] – ЭДС индукции в рамке в момент времени t $i(t)$ [А] – сила индукционного тока в рамке в момент времени t \vec{B} [Тл] – индукция внешнего магнитного поля ω [рад/с] – круговая частота вращения рамки S [м ²] – площадь ограниченная рамкой N [] – число витков в рамке R [Ом] – электрическое сопротивление цепи | <p>Электромеханический генератор переменного тока представляет собой рамку, состоящую из N витков, которая вращается во внешнем однородном магнитном поле \vec{B} с угловой скоростью ω. В результате действия силы Лоренца на движущиеся свободные заряды в рамке возникает переменный индукционный ток. Механическая энергия вращения рамки преобразуется в энергию электрического поля которое распространяется по проводам и совершает работу в электрических цепях потребителей электроэнергии.</p> |
|--|--|--|

4.5.16 Электрический трансформатор на холостом ходу (без нагрузки)

| | | |
|---|--|--|
| $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$ <p>$k > 1$ – понижающий трансформатор</p> <p>$k < 1$ – повышающий трансформатор</p> | U_1 [В] – входное напряжение (подается на первичную обмотку) U_2 [В] – выходное напряжение (снимается со вторичной обмотки) N_1 [] – количество витков в первичной обмотке N_2 [] – количество витков во вторичной обмотке k [] – коэффициент трансформации | <p>Трансформатор – устройство для повышения или понижения напряжения. Состоит из двух обмоток, навитых на один замкнутый стальной сердечник.</p> |
|---|--|--|

4.5.17 Коэффициент полезного действия электрического трансформатора (с нагрузкой)

| | | |
|--|---|--|
| $\eta = \frac{\bar{p}_2}{\bar{p}_1} = \frac{U_2 I_2 \cos \varphi_2}{U_1 I_1 \cos \varphi_1}$ | η [] – КПД электрического трансформатора \bar{p}_1 [Вт] – средняя за период колебаний потребляемая мощность (в первичной обмотке) \bar{p}_2 [Вт] – средняя за период колебаний отдаваемая мощность (во вторичной обмотке) U_1, U_2 [В] – входное и выходное напряжение I_1, I_2 [А] – входная и выходная сила тока φ_1, φ_2 [рад] – сдвиг фаз между током и напряжением в первичной и вторичной обмотках | |
|--|---|--|

4.5.18 Электрический трансформатор в режиме номинальной нагрузки

| | | |
|--|--|--|
| $\eta \approx 1$ $\varphi_1 \approx \varphi_2 \approx 0$ $\bar{p}_2 \approx U_2 I_2 \approx U_1 I_1 \approx \bar{p}_1$ $\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \approx k$ | η [] – КПД электрического трансформатора φ_1, φ_2 [рад] – сдвиг фаз между током и напряжением в первичной и вторичной обмотках \bar{p}_1 [Вт] – средняя за период колебаний потребляемая мощность (в первичной обмотке) \bar{p}_2 [Вт] – средняя за период колебаний отдаваемая мощность (во вторичной обмотке) U_1, U_2 [В] – входное и выходное напряжение I_1, I_2 [А] – входная и выходная сила тока k [] – коэффициент трансформации | При номинальной нагрузке КПД электрического трансформатора близок к единице. |
|--|--|--|

4.5.19 Электромагнитные волны: свойство поперечности

| | | |
|---|---|---|
| $\vec{E} \perp \vec{B}$ $\vec{E} \perp \vec{v}$ $\vec{B} \perp \vec{v}$ | \vec{E} [В/м] – напряженность электрического поля в электромагнитной волне \vec{B} [Тл] – индукция магнитного поля в электромагнитной волне \vec{v} [м/с] – скорость распространения электромагнитной волны | Свойство поперечности выполняется в каждой точке пространства где и в каждый момент времени когда существует волна. |
|---|---|---|

4.5.20 Электромагнитные волны: длина, частота, фазовая скорость

| | | |
|---|---|--|
| $\lambda = v T = \frac{v}{\nu}$ $v = \frac{c}{n}$ | λ [м] – длина волны v [м/с] – фазовая скорость волны T [с] – период колебаний поля в волне ν [Гц] – частота колебаний поля в волне n [] – абсолютный показатель преломления среды $c = 2.998 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света в вакууме | При переходе волны из одной среды в другую ее частота остается неизменной. |
|---|---|--|

4.5.21 Электромагнитные волны: частота волны и частота источника/приёмника

| | | |
|--|---|---|
| $\nu_{\text{волны}} = \nu_{\text{контур}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ | $\nu_{\text{волны}}$ [Гц] – частота излучаемой/принимаемой электромагнитной волны $\nu_{\text{контур}}$ [Гц] – частота колебаний силы электрического тока в контуре L [Гн] – индуктивность контура C [Ф] – емкость контура | Источником/приёмником электромагнитных волн является открытый колебательный контур. |
|--|---|---|

4.5.22 Электромагнитные волны: плотность потока энергии плоской волны

| | | |
|------------------------------|--|-------------------|
| $I := \frac{W}{St}$ $I = wv$ | <p>I [Вт/м²] – плотность потока энергии (энергия переносимая через перпендикулярную скорости волны единичную площадку в единицу времени)</p> <p>W [Дж] – энергия переносимая через перпендикулярную скорости волны площадку S за время t</p> <p>S [м²] – площадь поперечной площадки</p> <p>t [с] – промежуток времени</p> <p>w [Дж/м³] – объемная плотность энергии электромагнитного поля в волне</p> <p>v [м/с] – фазовая скорость волны</p> <p>n [] – абсолютный показатель преломления среды</p> <p>$c = 2.998 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света в вакууме</p> | $v = \frac{c}{n}$ |
|------------------------------|--|-------------------|

4.5.23 Электромагнитные волны: интенсивность излучения точечного источника

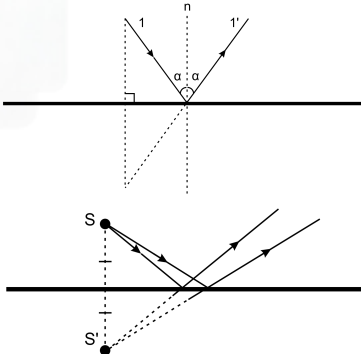
| | | |
|--------------------------|---|--|
| $I = \frac{P}{4\pi r^2}$ | <p>I [Вт/м²] – интенсивность излучения (плотность потока энергии)</p> <p>P [Вт] – мощность излучения источника</p> <p>r [м] – расстояния от источника</p> | <p>Вся энергия, излучаемая точечным источником в единицу времени, равномерно распределяется по поверхности сферы радиуса r.</p> |
|--------------------------|---|--|

4.5.24 Электромагнитные волны: шкала длин волн

| | | |
|--|---|---|
| | <p>$\lambda > 1$ [мм] – радиоволны</p> <p>780 [нм] $< \lambda < 1$ [мм] – инфракрасное излучение</p> <p>380 [нм] $< \lambda < 780$ [нм] – видимый свет</p> <p>10 [нм] $< \lambda < 380$ [нм] – ультрафиолет</p> <p>10 [пм] $< \lambda < 10$ [нм] – рентгеновское излучение</p> <p>$\lambda < 10$ [пм] – гамма-излучение</p> | <p>Способность электромагнитного излучения повреждать живые клетки растёт по мере уменьшения длины волны.</p> |
|--|---|---|

4.6 Геометрическая оптика

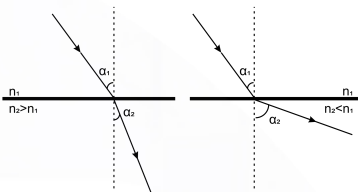
4.6.1 Закон отражения света от поверхности раздела двух сред

| | | |
|--|--|---|
| <p>1. Падающий луч, отраженный луч, и нормаль к поверхности раздела двух сред лежат в одной плоскости</p> <p>2. Угол падения равен углу отражения: $\alpha' = \alpha$</p> | <p>α [рад] – угол между падающим лучом и нормалью к поверхности раздела</p> <p>α' [рад] – угол между отраженным лучом и нормалью к поверхности раздела</p> |  |
|--|--|---|

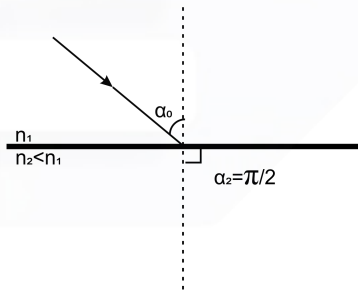
4.6.2 Абсолютный показатель преломления света в среде

| | | |
|--------------------|--|--|
| $n := \frac{c}{v}$ | n [] – абсолютный показатель преломления среды $c = 2.998 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света в вакууме v [м/с] – фазовая скорость света в среде | |
|--------------------|--|--|

4.6.3 Закон преломления света на поверхности раздела двух сред (закон Снеллиуса)

| | | |
|---|---|--|
| $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$ $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = n_{\text{отн}}$ | α_1 [рад] – угол между падающим лучом и нормалью к поверхности раздела α_2 [рад] – угол между преломленным лучом и нормалью к поверхности раздела n_1, n_2 [] – абсолютный показатель преломления в средах 1 и 2 v_1, v_2 [м/с] – скорость света в средах 1 и 2 $n_{\text{отн}}$ [] – относительный показатель преломления (второй среды относительно первой) |  <p>Луч переходит из среды с показателем преломления n_1 в среду с показателем преломления n_2.</p> |
|---|---|--|

4.6.4 Предельный угол полного внутреннего отражения

| | | |
|---|---|--|
| $\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} \quad (n_2 < n_1)$ | α_0 [рад] – предельный угол полного внутреннего отражения n_1, n_2 [] – абсолютный показатель преломления в средах 1 и 2 |  <p>Если угол падения $\alpha_1 \geq \alpha_0$, то луч света не преломляется, а скользит вдоль поверхности раздела двух сред.</p> |
|---|---|--|

4.6.5 Соотношение частот и длин волн при переходе света через границу раздела двух сред

| | | |
|--|--|--|
| $\nu_1 = \nu_2$ $n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2$ | ν_1, ν_2 [Гц] – частота волны в средах 1 и 2 λ_1, λ_2 [м] – длина волны в средах 1 и 2 n_1, n_2 [] – абсолютный показатель преломления в средах 1 и 2 | |
|--|--|--|

4.6.6 Оптическая сила тонкой линзой

| | | |
|-------------------|---|--|
| $D = \frac{1}{F}$ | D [дптр] – оптическая сила линзы F [м] – фокусное расстояние линзы | |
|-------------------|---|--|

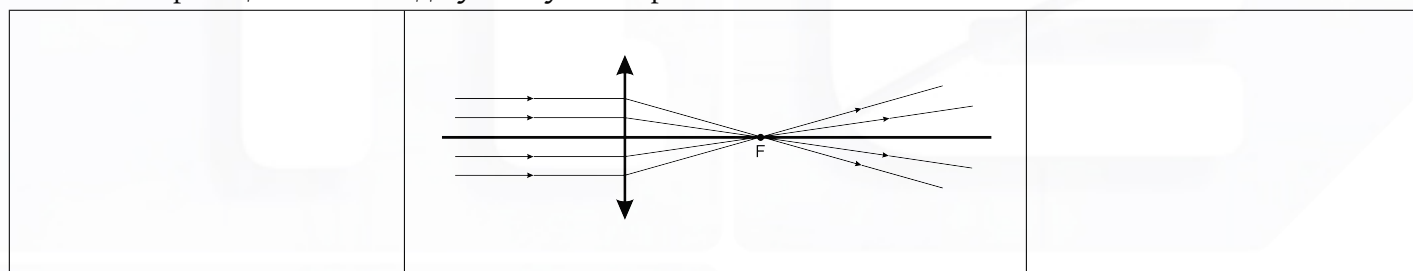
4.6.7 Формула тонкой линзы

| | | |
|---|--|---|
| $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ | <p>d [м] – расстояние от линзы до предмета f [м] – расстояние от линзы до изображения F [м] – фокусное расстояние линзы</p> | <p>Выбор знаков у величин: $d > 0$ – во всех случаях (+) $f > 0$ – действительное (+) $f < 0$ – мнимое (-) $F > 0$ – собирающая (+) $F < 0$ – рассеивающая (-)</p> |
|---|--|---|

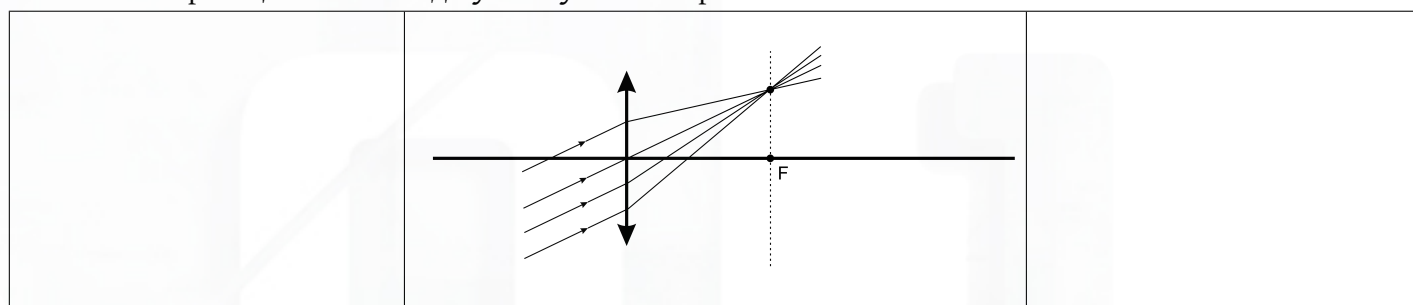
4.6.8 Увеличение тонкой линзой

| | | |
|---------------------------------------|---|--|
| $\Gamma = \frac{h'}{h} = \frac{f}{d}$ | <p>Γ [] – увеличение линзы h [м] – размер предмета h' [м] – размер изображения d [м] – расстояние от линзы до предмета f [м] – расстояние от линзы до изображения</p> | |
|---------------------------------------|---|--|

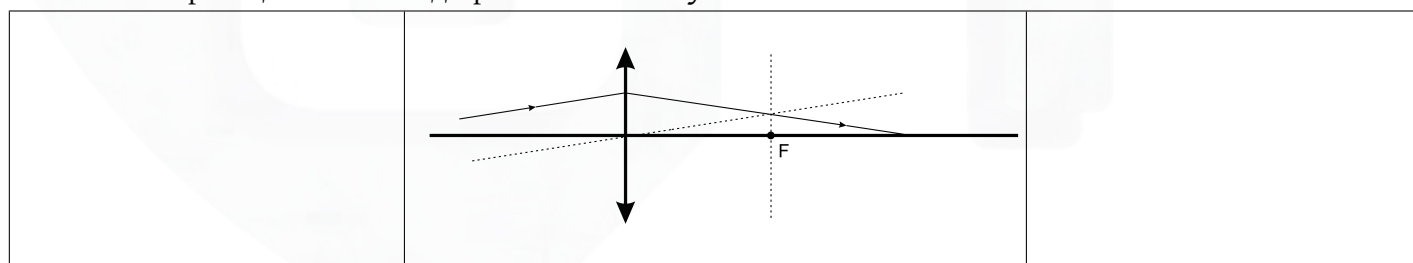
4.6.9 Собирающая линза: ход пучка лучей параллельного главной оптической оси



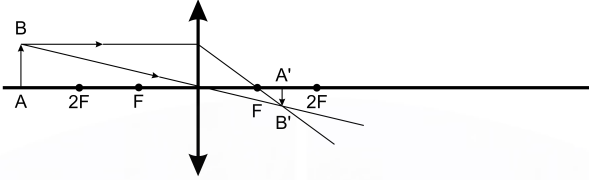
4.6.10 Собирающая линза: ход пучка лучей непараллельного главной оптической оси



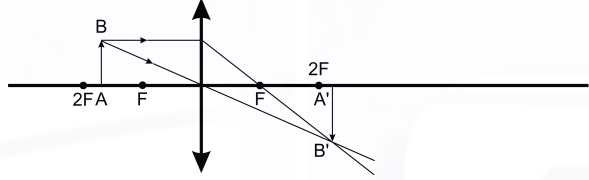
4.6.11 Собирающая линза: ход произвольного луча



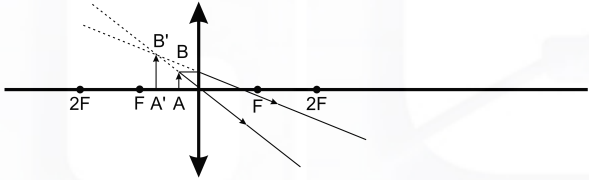
4.6.12 Собирающая линза: построение изображения в случае фотоаппарата

| | | |
|----------|--|---|
| $d > 2F$ |  | Изображение: действительное перевернутое уменьшенное |
|----------|--|---|

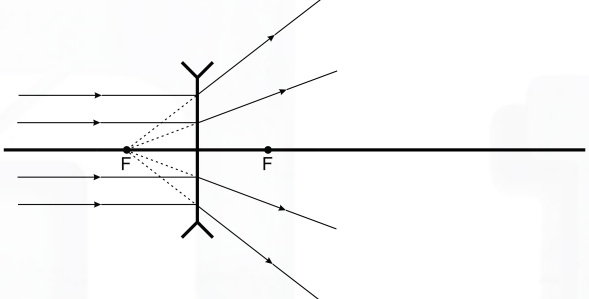
4.6.13 Собирающая линза: построение изображения в случае проектора

| | | |
|--------------|--|---|
| $F < d < 2F$ |  | Изображение: действительное перевернутое увеличенное |
|--------------|--|---|

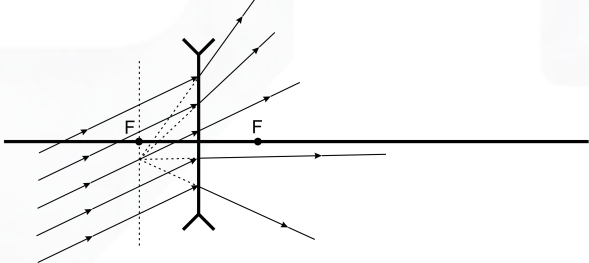
4.6.14 Собирающая линза: построение изображения в случае лупы

| | | |
|---------|---|---|
| $d < F$ |  | Изображение: мнимое прямое увеличенное |
|---------|---|---|

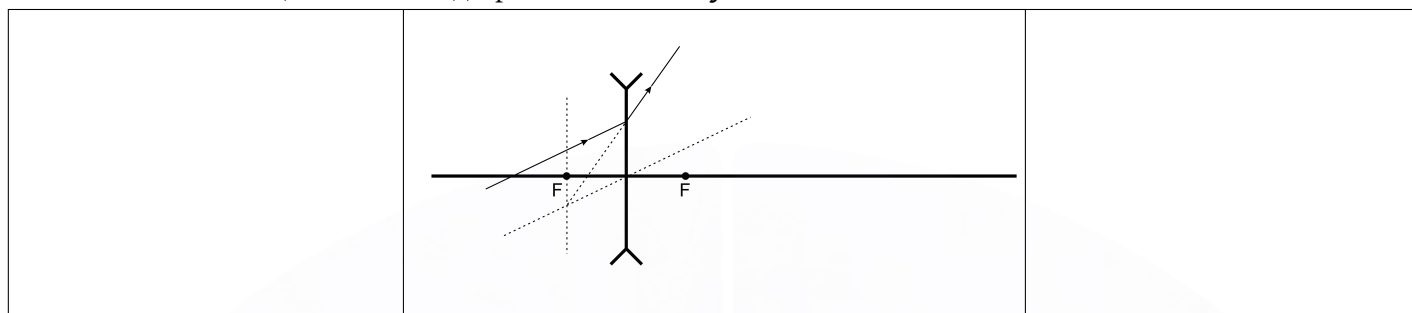
4.6.15 Рассеивающая линза: ход пучка лучей параллельного главной оптической оси

| | | |
|--|--|--|
| |  | |
|--|--|--|

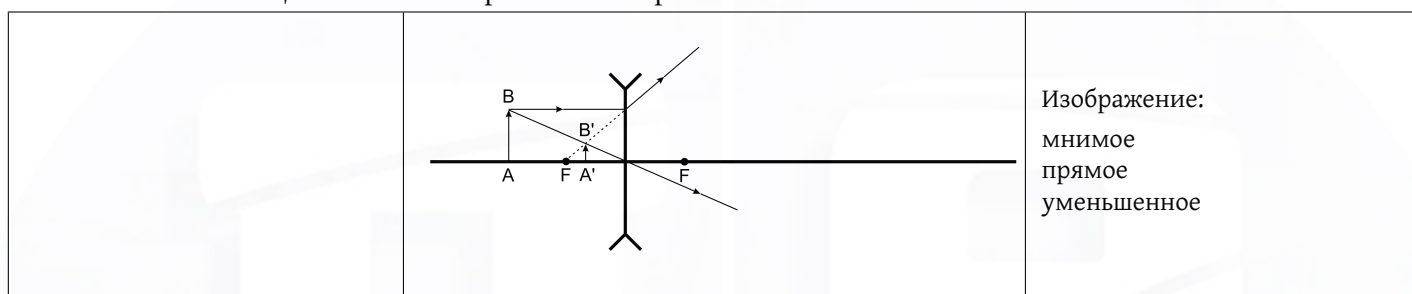
4.6.16 Рассеивающая линза: ход пучка лучей непараллельного главной оптической оси

| | | |
|--|--|--|
| |  | |
|--|--|--|

4.6.17 Рассеивающая линза: ход произвольного луча



4.6.18 Рассеивающая линза: построение изображения



Изображение:
мнимое
прямое
уменьшенное

4.7 Волновая оптика

4.7.1 Условия максимумов и минимумов при интерференции волн

| | | |
|---|---|---|
| $\Delta = (2k) \frac{\lambda}{2} = k\lambda \quad \text{maximum}$ | Δ [м] – разность хода двух когерентных волн $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ [] – порядок максимума/минимума освещенности в интерференционной картине | <p>Волны называются когерентными, если их частоты одинаковы, а разность фаз колебаний в их источниках остается постоянной во времени.</p> |
| $\Delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad \text{minimum}$ | λ [м] – длина волны двух когерентных волн S_1P [м] – расстояния от когерентного источника 1 до точки наблюдения P S_2P [м] – расстояния от когерентного источника 2 до точки наблюдения P | |
| $\Delta = S_1P - S_2P$ | | |

4.7.2 Основные соотношения в интерференционном опыте Юнга

| | | |
|--|---|---|
| $x_k = k \frac{\lambda L}{d}$ $\Delta x = \frac{\lambda L}{d}$ $L \gg d$ | x_k [м] – расстояние от центра интерференционной картины до максимума порядка k $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ [] – порядок максимума λ [м] – длина волны источника L [м] – расстояние от экрана со щелями до экрана наблюдения интерференции d [м] – расстояние между щелями Δx [м] – расстояние между соседними максимумами (минимумами) освещенности | <p>Щели на экране являются когерентными источниками S_1 и S_2 создающими интерференционную картину.</p> |
|--|---|---|

4.7.3 Интерференционные кольца Ньютона

| | | |
|--|--|--|
| $r_k^C = \sqrt{\left(k - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda R}{n}}$ $r_k^T = \sqrt{k \frac{\lambda R}{n}}$ | r_k^C [м] – радиусы светлых колец r_k^T [м] – радиусы темных колец $k = 1, 2, \dots$ [] – порядковый номер кольца λ [м] – длина волны падающего света в вакууме R [м] – радиус кривизны линзы n [] – показатель преломления среды между линзой и пластинкой | <p>При отражении от оптически более плотной среды ($n_2 > n_1$) происходит сдвиг фазы отраженной волны относительно падающей на $\lambda/2$. При отражении волны от оптически менее плотной среды ($n_2 < n_1$) такого сдвига фазы не происходит.</p> |
|--|--|--|

4.7.4 Основные соотношения для дифракционной решетки

| | | |
|---|---|--|
| $d \sin \varphi_k = k \lambda$ $d = \frac{L}{N}$ $k_{max} \leq \frac{d}{\lambda}$ | d [м] – расстояние между штрихами решетки λ [м] – длина падающей волны φ_k [рад] – угол наблюдения максимума порядка k $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ [] – порядок максимума L [м] – длина решетки N [] – количество штрихов на решетке k_{max} [] – наблюдаемое количество максимумов | <p>Формула справедлива только при нормальном падении света на дифракционную решетку.</p> |
|---|---|--|

5 | Специальная теория относительности

5.0.1 Инвариантность скорости света в вакууме

| | | |
|-------------|---|--------------------------------|
| $c = const$ | $c = 299\,792\,458$ [м/с] – скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета | $c \approx 3 \cdot 10^8$ [м/с] |
|-------------|---|--------------------------------|

5.0.2 Принцип относительности Эйнштейна

| | | |
|--|--|---|
| | Фундаментальный физический принцип, согласно которому все физические процессы в инерциальных системах отсчета протекают одинаково, независимо от того, неподвижна ли система или она находится в состоянии равномерного и прямолинейного движения. | Частным случаем принципа относительности Эйнштейна является принцип относительности Галилея, который утверждает то же самое, но только для законов классической механики. |
|--|--|---|

5.0.3 Полная энергия свободной частицы

| | | |
|---|--|--|
| $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{ \vec{v} ^2}{c^2}}}$ | E [Дж] – полная энергия свободной частицы m [кг] – масса частицы \vec{v} [м/с] – скорость частицы $c = 2.998 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света в вакууме | Полная энергия частицы равна сумме энергии покоя и кинетической энергии. |
|---|--|--|

5.0.4 Энергия покоя свободной частицы

| | | |
|--------------|---|--|
| $E_0 = mc^2$ | E_0 [Дж] – энергия покоя свободной частицы m [кг] – масса частицы $c = 2.998 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света в вакууме | |
|--------------|---|--|

5.0.5 Импульс частицы

| | | |
|---|---|--|
| $\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{ \vec{v} ^2}{c^2}}}$ | \vec{p} [кг м/с] – импульс частицы m [кг] – масса частицы \vec{v} [м/с] – скорость частицы $c = 2.998 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света в вакууме | |
|---|---|--|

5.0.6 Связь энергии и импульса свободной частицы

| | | |
|--|---|--|
| $E^2 - \vec{p} ^2 c^2 = m^2 c^4$ $\vec{p} = \frac{E}{c^2} \vec{v}$ | E [Дж] – энергия частицы \vec{p} [кг м/с] – импульс частицы \vec{v} [м/с] – скорость частицы m [кг] – масса частицы $c = 2.998 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света в вакууме | |
|--|---|--|

6 | Квантовая физика

6.1 Корпускулярно-волновой дуализм

6.1.1 Гипотеза Планка о квантах

| | | |
|------------|--|---|
| $E = h\nu$ | <p>E [Дж] – энергия кванта ν [Гц] – частота излучения $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ [Дж с] – постоянная Планка</p> | <p>При тепловом излучении энергия испускается и поглощается не непрерывно, а отдельными порциями (квантами). Каждая такая порция-квант имеет энергию, пропорциональную частоте излучения.</p> |
|------------|--|---|

6.1.2 Энергия фотона

| | | |
|--|--|--|
| $E = h\nu$ $E = \frac{hc}{\lambda}$ $E = \vec{p} c$ | <p>E [Дж] – энергия фотона ν [Гц] – частота излучения λ [м] – длина волны излучения \vec{p} [кг м/с] – импульс фотона $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ [Дж с] – постоянная Планка $c = 2.998 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света в вакууме</p> | <p>Фотон – фундаментальная частица, квант электромагнитного излучения. Не имеет массы и электрического заряда. Способен существовать только двигаясь со скоростью света.</p> |
|--|--|--|

6.1.3 Импульс фотона

| | | |
|--|--|--|
| $ \vec{p} = \frac{h}{\lambda}$ $ \vec{p} = \frac{E}{c}$ $ \vec{p} = \frac{h\nu}{c}$ | <p>\vec{p} [кг м/с] – импульс фотона λ [м] – длина волны излучения E [Дж] – энергия фотона ν [Гц] – частота излучения $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ [Дж с] – постоянная Планка $c = 2.998 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света в вакууме</p> | |
|--|--|--|

6.1.4 Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

| | | |
|--|---|---|
| $h\nu = A_{\text{вых}} + K_{\text{max}}$ $h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{1}{2}m_e v_{\text{max}}^2$ $h\nu = A_{\text{вых}} + eU_{\text{зап}}$ | <p>ν [Гц] – частота падающего излучения</p> <p>$A_{\text{вых}}$ [Дж] – работа выхода электрона из металла</p> <p>K_{max} [Дж] – максимально возможная кинетическая энергия фотоэлектрона</p> <p>v_{max} [м/с] – максимально возможная скорость фотоэлектрона</p> <p>$U_{\text{зап}}$ [В] – запирающее напряжение</p> <p>$h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ [Дж с] – постоянная Планка</p> <p>$e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ [Кл] – модуль заряда электрона</p> <p>$m_e = 9.109 \cdot 10^{-31}$ [кг] – масса электрона</p> | <p>1 эВ – это энергия, которую приобретает электрон, проходя разность потенциалов в 1 вольт.</p> <p>1 эВ = $1.602 \cdot 10^{-19}$ Дж</p> <p>1 Дж = $6.242 \cdot 10^{18}$ эВ</p> |
|--|---|---|

6.1.5 Красная граница фотоэффекта

| | | |
|--|---|---|
| $h\nu_{\text{кр}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} = A_{\text{вых}}$ | <p>$\nu_{\text{кр}}$ [Гц] – наименьшая частота волны, при которой наблюдается фотоэффект</p> <p>$\lambda_{\text{кр}}$ [м] – наибольшая длина волны, при которой наблюдается фотоэффект</p> <p>$A_{\text{вых}}$ [Дж] – работа выхода электрона из металла</p> <p>$h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ [Дж с] – постоянная Планка</p> <p>$c = 2.998 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света в вакууме</p> | <p>Если частота излучения меньше красной границы $\nu < \nu_{\text{кр}}$, то фотоэффект не наблюдается.</p> |
|--|---|---|

6.1.6 Длина волны де Бройля движущейся частицы

| | | |
|---------------------------------|--|--|
| $\lambda = \frac{h}{ \vec{p} }$ | <p>λ [м] – длина волны де Бройля частицы</p> <p>\vec{p} [кг м/с] – импульс частицы</p> <p>$h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ [Дж с] – постоянная Планка</p> | <p>В нерелятивистском пределе:</p> $\frac{ \vec{p} ^2}{2m} = K = \frac{m \vec{v} ^2}{2}$ |
|---------------------------------|--|--|

6.1.7 Частота волны де Бройля движущейся частицы

| | | |
|---------------------|--|--|
| $\nu = \frac{E}{h}$ | <p>ν [Гц] – частота волны де Бройля частицы</p> <p>E [Дж] – полная энергия частицы</p> <p>$h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ [Дж с] – постоянная Планка</p> | <p>Следует использовать полную энергию частицы, включающую массу ее покоя.</p> |
|---------------------|--|--|

6.1.8 Давление света

| | | |
|--|--|--|
| $p = h\nu n (1 + r)$ $p = \frac{I}{c} (1 + r)$ | <p>p [Па] – давление света на поверхность</p> <p>ν [Гц] – частота падающего света</p> <p>n [1/м³] – концентрация фотонов</p> <p>I [Вт/м²] – интенсивность падающего света</p> <p>r [–] – коэффициент отражения света от поверхности</p> <p>$h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ [Дж с] – постоянная Планка</p> <p>$c = 2.998 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света в вакууме</p> | <p>$r = 1$ – для полностью отражающей поверхности</p> <p>$r = 0$ – для полностью поглощающей поверхности</p> |
|--|--|--|

6.2 Физика атома

6.2.1 Постулаты Бора

| | | |
|---|---|--|
| <p>n, m – номера стационарных состояний (целые числа)</p> <p>$\hbar = \frac{h}{2\pi}$ – приведенная постоянная Планка</p> <p>mvR – момент импульса электрона</p> | <p>1. Атом может находиться только в особых стационарных состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия E_n. Находясь в стационарном состоянии атом не излучает электромагнитные волны.</p> <p>2. При переходе атома из одного стационарного состояния в другое испускается или поглощается квант энергии $h\nu = E_n - E_m$.</p> <p>3. Момент импульса электрона на атомной орбите может принимать лишь дискретный набор значений, кратных приведенной постоянной Планка $mvR = n\hbar$.</p> | <p>Из этих постулатов можно вывести уровни энергии E_n и радиусы R_n стационарных орбит электронов, а также формулы, описывающие линейчатый спектр атома водорода.</p> |
|---|---|--|

6.2.2 Уровни энергии электрона в атоме водорода

| | | |
|--|--|---|
| <p>$E_n = -\frac{k^2 m_e e^4}{2\hbar^2 n^2}$</p> <p>$E_n = -\frac{13.623 \text{ эВ}}{n^2}$</p> <p>$n = 1, 2, 3 \dots$</p> | <p>$E_n$ [Дж] – энергия электрона</p> <p>n [] – номер стационарного состояния атома</p> <p>$k = 8.988 \cdot 10^9$ [Н м²/Кл²] – постоянная Кулоновского взаимодействия</p> <p>$m_e = 9.109 \cdot 10^{-31}$ [кг] – масса электрона</p> <p>$e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ [Кл] – модуль заряда электрона</p> <p>$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.055 \cdot 10^{-34}$ [Дж с] – приведенная постоянная Планка</p> | <p>Первая формула дает энергию уровней E_n в Джоулях.</p> <p>Вторая формула дает энергию уровней E_n в электронвольтах.</p> |
|--|--|---|

6.2.3 Радиусы орбит электрона в атоме водорода

| | | |
|--|---|---|
| <p>$R_n = \frac{\hbar^2 n^2}{k m_e e^2}$</p> <p>$R_n = 5.292 \cdot 10^{-11} n^2$</p> <p>$n = 1, 2, 3 \dots$</p> | <p>$R_n$ [м] – радиус орбиты электрона</p> <p>n [] – номер стационарного состояния атома</p> <p>$k = 8.988 \cdot 10^9$ [Н м²/Кл²] – постоянная Кулоновского взаимодействия</p> <p>$m_e = 9.109 \cdot 10^{-31}$ [кг] – масса электрона</p> <p>$e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ [Кл] – модуль заряда электрона</p> <p>$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.055 \cdot 10^{-34}$ [Дж с] – приведенная постоянная Планка</p> | <p>Радиус орбиты первого стационарного состояния называется Боровским радиусом.</p> |
|--|---|---|

6.2.4 Длины волн спектральных линий атома водорода

| | | |
|---|--|--|
| <p>$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$</p> <p>$m, n$ – целые числа</p> | <p>λ [м] – длина волны спектральной линии</p> <p>m, n [] – номера стационарных состояний атома</p> <p>$R = 1.097 \cdot 10^7$ [1/м] – постоянная Ридберга</p> | <p>Атом излучает фотон при переходе из состояния m в состояние n ($m > n$).</p> <p>Атом поглощает фотон при переходе из состояния n в состояние m ($m > n$).</p> |
|---|--|--|

6.3 Физика атомного ядра

6.3.1 Нуклонная модель ядра

| | | |
|------------------------|--|---|
| ${}^A_Z X$ $N = A - Z$ | X – ядро химического элемента A [] – количество нуклонов (массовое число) Z [] – количество протонов (зарядовое число) N [] – количество нейтронов | Ядра с одинаковым количеством протонов, но разным количеством нейтронов называются изотопами. |
|------------------------|--|---|

6.3.2 Дефект массы ядра

| | | |
|---|--|--|
| $\Delta m = Zm_{\text{п}} + Nm_{\text{н}} - m_{\text{я}}$ | Δm [...] – дефект массы ядра ${}^A_Z X$ Z [] – количество протонов N [] – количество нейтронов $m_{\text{п}} = 1.672622 \cdot 10^{-27}$ [кг] = 1.007276 [а.е.м.] = 938.272 [МэВ/ c^2] – масса протона $m_{\text{н}} = 1.674927 \cdot 10^{-27}$ [кг] = 1.008665 [а.е.м.] = 939.565 [МэВ/ c^2] – масса нейтрона $m_{\text{я}}$ [...] – масса ядра | В ядерной физике массу удобно выражать в а.е.м. или МэВ/ c^2 : 1 [а.е.м.] = $\frac{1}{12} m_{12}^C$ 1 [а.е.м.] = 1.66054 · 10^{-27} [кг] 1 [а.е.м.] = 931.494 [МэВ/ c^2] |
|---|--|--|

6.3.3 Энергия связи ядра в Джоулях

| | | |
|--|--|--|
| | $E_{\text{св}} = \Delta mc^2$ $E_{\text{св}} = (Zm_{\text{п}} + Nm_{\text{н}} - m_{\text{я}})c^2$ $E_{\text{св}} = (Zm_{\text{п}} + Nm_{\text{н}} + Zm_{\text{э}} - m_{\text{а}})c^2$ $E_{\text{св}}$ [Дж] – энергия связи ядра ${}^A_Z X$ Δm [кг] – дефект массы ядра Z [] – количество протонов в ядре N [] – количество нейтронов в ядре $m_{\text{п}} = 1.672622 \cdot 10^{-27}$ [кг] – масса протона $m_{\text{н}} = 1.674927 \cdot 10^{-27}$ [кг] – масса нейтрона $m_{\text{э}} = 9.109384 \cdot 10^{-31}$ [кг] – масса электрона $m_{\text{я}}$ [кг] – масса ядра $m_{\text{а}}$ [кг] – масса атома $c = 2.998 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света в вакууме | |
|--|--|--|

6.3.4 Энергия связи ядра в МэВ

| | | |
|--|--|--|
| | $E_{\text{св}} = \Delta m \cdot 931.494$ $E_{\text{св}} = (Zm_{\text{п}} + Nm_{\text{н}} - m_{\text{я}}) \cdot 931.494$ $E_{\text{св}} = (Zm_{\text{п}} + Nm_{\text{н}} + Zm_{\text{э}} - m_{\text{а}}) \cdot 931.494$ <p> $E_{\text{св}}$ [МэВ] – энергия связи ядра A_ZX Δm [а.е.м.] – дефект массы ядра Z [] – количество протонов в ядре N [] – количество нейтронов в ядре $m_{\text{п}} = 1.007276$ [а.е.м.] – масса протона $m_{\text{н}} = 1.008665$ [а.е.м.] – масса нейтрона $m_{\text{э}} = 5.485799 \cdot 10^{-4}$ [а.е.м.] – масса электрона $m_{\text{я}}$ [а.е.м.] – масса ядра $m_{\text{а}}$ [а.е.м.] – масса атома </p> | |
|--|--|--|

6.3.5 Удельная энергия связи ядра

| | | |
|--------------------------------------|---|--|
| $\epsilon = \frac{E_{\text{св}}}{A}$ | $E_{\text{св}}$ [МэВ] или [Дж] – энергия связи ядра A_ZX A [] – количество нуклонов в ядре ϵ [МэВ] или [Дж] – удельная энергия связи | |
|--------------------------------------|---|--|

6.3.6 Основные радиоактивные превращения атомных ядер

| | | |
|---|--|--|
| α распад: ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He$ β^- распад: ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e + \bar{\nu}_e$ β^+ распад: ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_{+1}e + \nu_e$ γ распад: ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_ZX + \gamma$ n распад: ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-1}_Z X + {}^1_0n$ | X, Y – ядра химических элементов A [] – количество нуклонов в ядре Z [] – количество протонов в ядре α -распад – испускание ядер гелия 4_2He β^- -распад – испускание электронов ${}^0_{-1}e$ или позитронов ${}^0_{+1}e$ γ -распад – испускание фотонов γ n -распад – испускание нейтронов 1_0n $\bar{\nu}_e$ – электронное антинейтрино ν_e – электронное нейтрино | В ядерных реакциях выполняются фундаментальные законы сохранения энергии, импульса, электрического заряда, массового числа и др. |
|---|--|--|

6.3.7 Закон радиоактивного распада

| | | |
|--|---|---|
| $N(t) = N_0 2^{-t/T}$ $N'(t) = N_0 - N(t)$ | $N(t)$ [] – число нераспавшихся радиоактивных ядер в момент времени t N_0 [] – число нераспавшихся радиоактивных ядер в момент времени $t = 0$ $N'(t)$ [] – число распавшихся радиоактивных ядер в момент времени t t [с] – текущее время T [с] – период полураспада | Период полураспада это промежуток времени за который распадается половина радиоактивных ядер. |
|--|---|---|

6.3.8 Масса радиоактивного вещества

| | | |
|-----------------------|--|---|
| $m(t) = m_0 2^{-t/T}$ | $m(t)$ [кг] – масса радиоактивного вещества в момент времени t m_0 [кг] – масса радиоактивного вещества в момент времени $t = 0$ t [с] – текущее время T [с] – период полураспада | Период полураспада это промежуток времени за который распадается половина радиоактивных ядер. |
|-----------------------|--|---|

6.3.9 Активность радиоактивного вещества

| | | |
|---|--|---|
| $A(t) = \frac{d(N_0 - N(t))}{dt}$ $A(t) = N_0 \frac{\ln 2}{T} 2^{-t/T}$ | $A(t)$ [1/с] – активность в момент времени t $N(t)$ [] – число нераспавшихся радиоактивных ядер в момент времени t N_0 [] – число нераспавшихся радиоактивных ядер в момент времени $t = 0$ t [с] – текущее время T [с] – период полураспада | Активность радиоактивного вещества это количество радиоактивных распадов в единицу времени. |
|---|--|---|

6.3.10 Уравнение ядерной реакции

| | | |
|---------------------------|---|--|
| $A + B \rightarrow X + Y$ | A, B – ядра химических элементов или элементарные частицы до взаимодействия X, Y – ядра химических элементов или элементарные частицы после взаимодействия | В ядерных реакциях выполняются фундаментальные законы сохранения энергии, импульса, электрического заряда, массового числа и др. |
|---------------------------|---|--|

6.3.11 Закон сохранения энергии для ядерной реакции

| | | |
|-------------------------|---|---|
| $E_A + E_B = E_X + E_Y$ | E_A, E_B [МэВ] или [Дж] – полные энергии ядер/частиц до взаимодействия E_X, E_Y [МэВ] или [Дж] – полные энергии ядер/частиц после взаимодействия | Полная энергия частицы: $E = mc^2 + K$ mc^2 – энергия покоя K – кинетическая энергия |
|-------------------------|---|---|

6.3.12 Энергетический выход ядерной реакции

| | | |
|--|--|--|
| $Q = (K_X + K_Y) - (K_A + K_B)$ $Q = (m_A + m_B - m_X - m_Y)c^2$ | Q [МэВ] или [Дж] – выделяемая/поглощаемая энергия K_A, K_B [МэВ] или [Дж] – кинетические энергии ядер/частиц до взаимодействия K_X, K_Y [МэВ] или [Дж] – кинетические энергии ядер/частиц после взаимодействия m_A, m_B [кг] – массы ядер/частиц до взаимодействия m_X, m_Y [кг] – массы ядер/частиц после взаимодействия $c = 2.998 \cdot 10^8$ [м/с] – скорость света в вакууме | $Q > 0$ – энергия выделяется $Q < 0$ – энергия поглощается $1 \text{ эВ} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ $1 \text{ Дж} = 6.242 \cdot 10^{18} \text{ эВ}$ |
|--|--|--|

6.3.13 Реакция деления ядра урана

| | | |
|--|---|--|
| ${}_{92}^{235}\text{U}$ – изотоп урана 235 ${}^1_0\text{n}$ – нейтрон ${}_{56}^{144}\text{Ba}$ – изотоп бария 144 ${}_{36}^{89}\text{Kr}$ – изотоп криптона 89 | ${}_{92}^{235}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}_{56}^{144}\text{Ba} + {}_{36}^{89}\text{Kr} + 3{}^1_0\text{n} + 200 \text{ [МэВ]}$ | <p>Наиболее вероятный канал распада ядра урана 235.</p> <p>При делении ядер энергия выделяется в виде кинетической энергии продуктов деления.</p> |
|--|---|--|

6.3.14 Коэффициент размножения нейтронов

| | | |
|---------------------------|--|--|
| $k = \frac{N_i}{N_{i-1}}$ | k [] – коэффициент размножения нейтронов N_i [] – число нейтронов в текущем поколении N_{i-1} [] – число нейтронов в предыдущем поколении | <p>Число нейтронов берется во всём объеме размножающей нейтронной среды (активной зоны ядерного реактора).</p> |
|---------------------------|--|--|

6.3.15 Реакция слияния легких ядер (термоядерный синтез)

| | | |
|--|--|--|
| ${}^2_1\text{H}$ – ядро дейтерия ${}^3_1\text{H}$ – ядро трития ${}^4_2\text{He}$ – ядро гелия ${}^1_0\text{n}$ – нейтрон γ – гамма-квант | ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + \gamma + 17.6 \text{ [МэВ]}$ | |
|--|--|--|



7 | Вспомогательные материалы

7.1 Приставки к единицам измерения

7.1.1 Повышающие и понижающие приставки к единицам измерения

| | |
|-----------------------|------------------------|
| 10^1 – дека (да) | 10^{-1} – деци (д) |
| 10^2 – гекто (г) | 10^{-2} – санти (с) |
| 10^3 – кило (к) | 10^{-3} – милли (м) |
| 10^6 – мега (М) | 10^{-6} – микро (мк) |
| 10^9 – гига (Г) | 10^{-9} – нано (н) |
| 10^{12} – тера (Т) | 10^{-12} – пико (п) |
| 10^{15} – пета (П) | 10^{-15} – фемто (ф) |
| 10^{18} – экса (Э) | 10^{-18} – атто (а) |
| 10^{21} – зетта (З) | 10^{-21} – зепто (з) |
| 10^{24} – иотта (И) | 10^{-24} – иокто (и) |