**Волжский филиал Марийского Государственного технического университета**

Автор: к.т.н. Ю.А.Борисов

**Физика.**

Курс лекций, I семестр, 34 часа

I. Механика

II.Молекулярная физика и термодинамика

|  |  |
| --- | --- |
| **Оглавление**  Лекция 1 . Введение. Место физики в системе наук о природе. Эксперимент и теория в физических исследованиях. Физические модели. Пространство и время как формы существования движущейся материи. | 5 |
| I. Механика  1. Кинематика материальной точки  1.1. Относительность движения. Системы отсчета. Координатная и векторная формы описания движения материальной точки. Перемещение, скорость, ускорение. Тангенциальное и нормальное ускорения. Кинематика движения по криволинейной траектории. Движение по окружности. Угловая скорость и угловое ускорение и их связь с линейными характеристиками движения. | 6  6 |
| Лекция 2. 1.2. Кинематика материальной точки в движущейся системе координат. Преобразования Галилея. Классический закон сложения скоростей  2. Динамика материальной точки.  2.1. Взаимодействие материальных тел. Системы отсчета. Законы Ньютона. Принцип относительности Галилея.  2.2. Фундаментальные взаимодействия в природе. Силы в классической механике. Закон всемирного тяготения. Свойства сил тяжести, упругости, трения**.** | 9  10  10  12 |
| Лекция 3. 2.3. Движение материальной точки в неинерциальной системе отсчета. Силы инерции. Неинерциальность системы координат, связанной с Землей, ее проявление в геофизических явлениях.  3. Законы сохранения в механике.  3.1. Понятие замкнутой системы. Импульс материальной точки, системы материальных точек. Закон сохранения и изменения импульса. Центр масс системы материальных точек и закон его движения. Реактивное движение. | 13  15  15 |
| Лекция 4. 3.2. Работа силы. Кинетическая энергия материальной точки. Потенциальные и непотенциальные силы в механике. Потенциальная энергия системы взаимодействующих тел. Закон сохранения и превращения энергии в механике.  3.3. Момент импульса материальной точки и системы материальных точек. Момент силы. Закон сохранения и изменения момента импульса. Движение точки в центральном поле.\* Законы Кеплера. | 16  17 |
| Лекция 5. 3.4. Движение твердого тела. Динамика вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси. Момент инерции твердых тел разной формы. Теорема Штейнера. Главные оси инерции. Гироскопический эффект.\* Кинетическая энергия вращающегося тела. Плоское движение твердого тела. | 19 |
| Лекция 6. 4. Колебательное движение. Уравнение свободных колебаний модельных систем (груз на пружине, математический и физический маятники). Применение модели гармонического осциллятора к колебаниям молекул.\* Сложение колебаний. Затухающие колебания, их характеристики. Вынужденные колебания, явление резонанса. Понятие о колебаниях систем со многими степенями свободы. Нормальные колебания. Спектр колебаний, понятие о разложении Фурье.\* | 22 |
| Лекция 7. 5. Волны в упругих средах. Волновое уравнение. Уравнение монохроматической бегущей волны, основные характеристики волн. Продольные и поперечные волны, поляризация волн. Принцип суперпозиции волн. Явление интерференции. Поток плотности энергии, связанный с бегущей волной. Стоячие волны. Эффект Доплера. | 26 |
| Лекция 8. 6. Элементы гидро- и аэродинамики. Движение идеальной жидкости, поле скоростей, линии и трубки тока. Уравнение Бернулли. Течение  вязкой жидкости, формула Пуазейля. Ламинарные и турбулентные потоки.  Число Рейнольдса. | 29 |
| Лекция 9. 7. Законы механики в движущихся системах отсчета. Обобщенный принцип относительности. Основные постулаты специальной теории относительности (СТО) Эйнштейна. Преобразования Лоренца. Релятивистский закон сложения скоростей. Импульс и энергия точки в релятивистской механике. Энергия покоя. Закон сохранения полной энергии.  II. Молекулярная физика и термодинамика.  1. Основные представления молекулярно – кинетической теории. | 31  33  33 |
| Лекция 10. 1.1. Предмет и методы молекулярной физики. Статический и термодинамический подходы. Случайные величины и их описание. Плотность вероятности. Средние значения, флуктуации. Термодинамические параметры. Равновесные состояния и процессы.  1.2. Идеальный газ, как модельная термодинамическая система. Основное уравнение молекулярно – кинетической теории идеального газа. Уравнение Менделеева-Клапейрона. Распределение молекул по скоростям (распределение Максвелла) и в поле потенциальных сил (распределение Больцмана). Барометрическая формула. Атмосфера Земли и других планет. | 33  34 |
| Лекция 11.1.3. Явление переноса: диффузия, внутреннее трение и теплопроводность. | 37 |
| Лекция 12. 2. Основы термодинамики.  2.1. Внутренняя энергия идеального газа. Работа термодинамической системы. Количество теплоты. Теплоемкость. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы. | 38  38 |
| Лекция 13.2.2. Первый закон термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Циклические процессы. Цикл Карно. Коэффициент полезного действия тепловых машин. Второй закон термодинамики.  2.3. Энтропия и ее статистическая интерпретация. Возрастание энтропии при неравновесных процессах. Границы применимости второго закона термодинамики. Представление о термодинамике открытых систем.  3. Реальные газы, жидкости и пары. | 41  42  43 |
| Лекция 14. 3.1 Силы молекулярного взаимодействия. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Переход газообразного состояния в жидкое. Критические параметры. Эффект Джоуля-Томсона. Сжижение газов. | 43 |
| Лекция 15. 3.2. Испарение и кипение жидкостей. Насыщенный пар. Точка росы. Поверхностное натяжение жидкости. Капиллярные явления. Представление о структуре жидкостей, ближнем порядке.  3.3. Твердые тела. Ближний и дальний порядок в расположении атомов. Кристаллические решетки. Фазовые переходы между агрегатными состояниями вещества. Фазовые переходы I иII рода. | 45  47 |
| Литература  III.Приложение: формулы. | 50  52 |

**Лекция 1. Введение (1час).**

**Место физики в системе наук о природе. Эксперимент и теория в физических исследованиях. Физические модели. Пространство и время как формы существования движущейся материи.**

**Место физики в системе наук о природе**. Возникновение физики в системе наук о природе связано с любознательностью, стремлением увидеть общее в разрозненных проявлениях и признаках природы, понять причины, порождающие их, а также желание предсказать их возникновение.

Физика – это наука, занимающаяся изучением простейших и вместе с тем наиболее общих свойств окружающего нас материального мира.

Знания, полученные физикой, нужны не только ученому и инженеру, но и рабочим промышленности и сельского хозяйства. Физика составляет фундамент главнейших направлений техники. Строительная техника, гидротехника, теплотехника, электротехника и энергетика, радиоэлектроника, светотехника, огромная часть военной техники выросли на основе физики. Были созданы устройства, которых никогда не было в природе: изобретено радио, телевидение, сотовая связь, компьютеры, построены громадные электрические машины, освобождена внутренняя энергия, человек вышел в космическое пространство.

В настоящее время физика очень тесно связана с астрономией, геологией, химией, биологией и другими естественными науками. Она многое объясняет в этих науках, представляет им мощные методы исследований. Физика неразрывно связана с математикой.

**Эксперимент и теория в физических исследованиях.** Физика – наука экспериментальная. Суть любого эксперимента состоит в наблюдении явления и получении данных, его характеризующих. Результаты исследований формируются в виде определенных закономерностей. Физический закон – описание соотношений в природе, проявляющихся при определенных условиях в эксперименте. На основе установленных и проверенных опытом законов создаются теории. Теория предсказывает новые явления. Они вновь проходят экспериментальную проверку и возможно , подтверждают теорию, и, возможно противоречат ей. Тогда теория или опровергается, или получает новое развитие. Как, например, классическая механика и теория относительности. Часто перед открытием явления или закона выдвигается гипотеза как предположение о существовании связи между известными и вновь объясняем явлением, свойством, закономерностью.

**Физические модели.** Изучение сложных природных явлений в полном объеме часто невозможно без введения упрощающих предположений. В этом случае законы служат в качестве приближения к реальной картине явления. Такие приближения называются модельными.

Модель в физике – упрощенная версия физической системы (процесса), сохраняющая ее(его) главные черты.

Примеры: материальная точка, свободное падение тел, трехмерное однородное и изотропное пространство, абсолютно твердое тело, идеальный газ и т. п.

Границы применимости физической теории определяются пределами применимости используемой модели. Любая теория является описанием некоторой модели физической системы, некоторым приближением к реальности.

**Пространство и время как форма существования движущейся материи.** Физическое пространство и время характеризуют три основные типа симметрии: однородность пространства, изотропность пространства и однородность времени.

Однородность пространства означеет эквивалентность (или равноправие) всех точек физического пространства, т.е. параллельный сдвиг физической системы в любом направлении не влияет на характер протекающих в ней процессов.

Изотропность пространства означает эквивалентность всех направлений в пространстве и симметрию системы относительно ее произвольного поворота, который не влияет на процессы, протекающие в системе.

Однородность времени отражает симметрию по отношению к сдвигу времени, не влияющему на характер процессов в физической системе, т.е. эквивалентность всех моментов времени.

Фундаментальные законы сохранения в физике отражают симметрию, содержащуюся в физических явлениях, и она блестяще подтвердилась и может быть сформулирована следующим образом: каждому типу симметрии пространства и времени соответствует закон сохранения определенной физической величины. Возможно и обратное утверждение.

Пространство и время связаны друг с другом и образуют пространственно – временной континиум (единство), в котором существует материя. Материя всегда находится в движении. Материя – это то, что находится вокруг нас и, действуя на органы чувств, вызывает ощущение. Материя также регистрируется приборами. Материя существует в виде 1) вещества и 2) поля.

**I. Механика.**

**1. Кинематика материальной точки.**

**1.1. (1час) Относительность движения. Системы отсчета. Координатная и векторная формы описания движения материальной точки. Перемещение, скорость, ускорение. Тангенциальное и нормальное ускорения. Кинематика движения по криволинейной траектории. Движение по окружности. Угловая скорость и угловое ускорение и их связь с линейными характеристиками движения.**

**Относительность движения. Системы отсчета. Координатная и векторная формы описания движения.**

Механика – раздел физики, который изучает закономерности движения и причины, вызывающие это движение. Механическое движение – это изменение с течением времени взаимного расположения тел или их частей.

Механика Галилея и Ньютона называется классической механикой. Законы движения макроскопических тел со скоростями, сравнимыми со скоростью света (с) изучаются релятивистской механикой, основанной на специальной теории относительности, разработанной А.Эйнштейном. Движение элементарных частиц описывается квантовой механикой.

Механика делится на три раздела: 1) кинематику, 2) динамику, 3) статику.

В механике для описанная движения тел используется модель – материальная точка – тело обладающее массой, размерами которого можно пренебречь.

Произвольное макроскопическое тело или систему тел можно (мысленно) разбить на малые взаимодействующие между собой части, каждая из которых рассматривается как материальная точка. Тогда изучение движения произвольной системы тел сводится к изучению системы материальных точек.

**Абсолютно твердым** называется тело, которое ни при каких условиях не может быть деформировано.

**Поступательным движением** называется движение, при котором любвя прямая, жестко связанная с движущимся телом, остается параллельной своему первоначальному положению.

**Вращательное движение** – это движение, при котором все точки тела движутся по окружности.

Для описания движения материальных точек используются системы отсчета.

**Системой отсчета** называется система координат, тело отсчета и связанный с ними прибор для измерения времени (часы).

Декартова система координат может быть

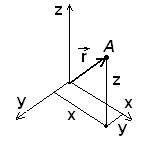
1)однокоординатной

(по линии движения) 

2)двухкоординатной

(движение на плоскости) 

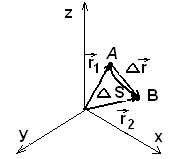
3)трехкоординатной

(движение в пространстве) 

Движение точки определяется изменением ее координат с течением времени: (1) x = x(t), y = y(t), z = z(t) – координатная форма;

(2)  - векторная форма.

Число координат называется число степеней свободы.

Система отсчета, движущаяся равномерно и 

прямолинейно называется инерциальной.

**Перемещение, скорость, ускорение.**

ΔS – длина пути (длина траектории);

 - перемещение – вектор, соединяющий начальное и конечное положение материальной точки.

Вектором средней скорости  называется отношение приращения радиуса – вектора точки к промежутку времени Δt: 

 (1)

Направление скорости совпадает с направлением перемещения. При неограниченном уменьшении Δt средняя скорость стремится к своему предельному значению, которое называется мгновенной скоростью:

, или (2)

 (3)

Модуль мгновенной скорости равен первой производной пути по времени. Вектор скорости можно разложить на составляющие по осям координат.

При неравномерном движении используют среднюю скорость.

При равномерном движении мгновенная скорость постоянна.

**Ускорение** – производная скорости по времени:

 (4)

**Тангенциальное и нормальное ускорение.**

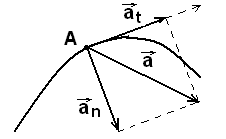


Рис.1

  - полное ускорение (5)  - центростремительное ускорение (6)

тангенциальное ускорение характеризует (7)

быстроту изменения линейной скорости материальной точки.

**Кинематика движения по криволинейной траектории.**

Для описания движения по криволинейной траектории она разбивается на участки, состоящие из сопряженных друг с другом окружностей, и таким образом движение по криволинейной траектории сводится к движению по окружности.

**Движение по окружности. Угловая скорость и угловое ускорение и их связь с линейными характеристиками движения.**

Пусть некоторая точка движется по окружности радиуса R. Ее положение через промежуток времени Δt задается углом Δφ.  и  направлены перпендикулярно плоскости окружности, определяется по правилу правого винта (*V* и ). Векторы  и  являются псевдовекторами и не имеют точки приложения.

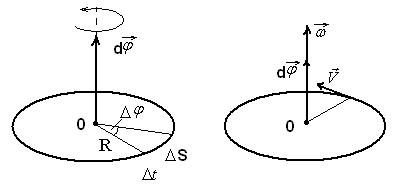


Рис.2

**Угловой скоростью** называется величина, определяемая первой производной угла поворота тела по времени:

 (8)

**Линейная скорость** связана с угловой:

 (9) или в векторной форме . (10)

При равномерном вращении:

, (11) где Т – период обращения, [Т] =с,

ν – частота обращения, 

**Cвязь частоты** и **циклической частоты:**

ω = 2πν. (12)

**Угловое ускорение:**

 (13) направлено по оси вращения, .

**Тангенциальная** составляющая ускорения:

 (14)



 (15)

**Нормальная** составляющая ускорения:

 (16)

**Лекция 2.** **1.2. (0,5 часа) Кинематика материальной точки в движущейся системе координат. Преобразования Галилея. Классический закон сложения скоростей**

В Ньютоновской механике при переходе от одной инерциальной системы  к другой , причем система  движется относительно *k* поступательно со скоростью U (постоянной), пользуются преобразованиями Галилея. Если сходственные оси координат инерциальных систем отсчета *k* и  проведены попарно параллельно друг другу и если в начальный момент времени (t = 0) начала координат совпадают, то преобразования Галилея примут вид:

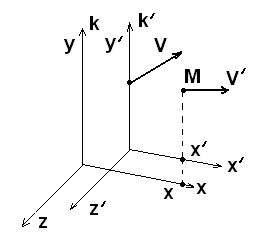
****

Рис.3

Координаты: Скорости

Если  движется вдоль положительного направления оси x, то:

это классический закон сложения скоростей.

**2. Динамика материальной точки.**

**2.1. (1 час) Взаимодействие материальных тел. Инерциальные и неинерциальные системы координат. Законы Ньютона. Масса. Сила. Уравнение движения. Роль начальных условий.**

**Инерциальные системы отсчета** – определение см. ранее. Все другие системы отсчета называются **неинерциальными.** Например, системы отсчета, движущиеся с ускорением. Конкретно – падающие свободно тела (самолет, лифт). В неинерциальных системах отсчета не выполняются все законы механики, например, закон инерции – первый закон Ньютона.

При взаимодействии тел возникают силы и меняется характер движения тел. Подобные процессы движения тел описываются тремя законами Ньютона.

**Первый закон Ньютона:** всякая материальная точка (тело) сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока воздействия со стороны других тел не заставят ее изменить это состояние.

Стремление тела сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения называется инертностью. Поэтому первый закон Ньютона называется также законом инерции. Первый закон Ньютона выполняется только в инерциальных системах отсчета. Примеры: система отсчета, связанная с Солнцем (в идеале). Центр системы находится в Солнце, а оси направлены к звездам и на большом удалении от Солнца, чтобы его притяжением пренебречь. Система отсчета, связанная с Землей на ее плоскости строго говоря неинерциальная, т.к. Земля вращается вокруг своей оси и вокруг Солнца, эти эффекты незначительны и при решении многих задач ими можно пренебречь.

**Масса тел** – физическая величина, являющаяся одной из характеристик материи, определяющая ее инерционные (инертная масса) и гравитационные (гравитационная масса) свойства. Доказано, что эти массы одинаковы.

**Сила** – это векторная величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело со стороны других тел или полей, в результате которого тело приобретает ускорение или изменяет свою форму и размеры.

**Второй закон Ньютона:** ускорение приобретаемое материальной точкой (телом), пропорционально вызывающей его силе, совпадает с ней по направлению и обратно пропорционально массе материально точки (тела). В «СИ» коэффициент пропорциональности k = 1. Тогда

 (17) или  (18)

Учитывая, что m = cоnst, то ее можно внести под знак дифференциала:  Величина  - импульс тела, тогда

, (19) это также второй закон Ньютона. Его также называют уравнением движения. Единица силы (ньютон). Если действует несколько сил, то они геометрически (векторно) складываются:

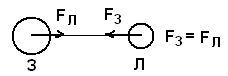
 (20)

Силы и ускорения можно разлагать на составляющие.

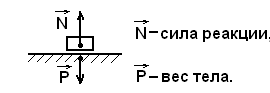
При начальных условиях, равных нулю, кинематические уравнения значительно упрощаются.

**Третий закон Ньютона:** для двух взаимодействующих тел сила действия равна силе противодействия, они приложены к разным телам и имеют одинаковую природу. Примеры:

1)Взаимодействие Земля – Луна, обе – гравитационные силы,



2)Взаимодействие тела и опоры, обе – силы упругости,



3)(ядро – электрон), электрические силы, и т.п.

**Принцип относительности Галилея.**

Все механические явления природы в любо инерциальной системе протекают одинаково, или: уравнения динамики при переходе от одной инерциальной системы к другой формулируются одинаково. Галилей первым обратил внимание на то, что никакими механическими опытами, проведенными в данной инерциальной системе отсчета, нельзя установить покоится она или движется равномерно и прямолинейно.

**2.2. (0,5 часа) Фундаментальные взаимодействия в природе. Силы в классической механике. Закон всемирного тяготения. Свойства сил тяжести, упругости, трения.**

В природе существует четыре типа фундаментальных взаимодействий: гравитационные, электромагнитные, сильные (ядерные) и слабые. Слабые взаимодействия обуславливают превращения элементарных частиц, проявляются на расстояниях менее см. Сильные взаимодействия проявляются на расстоянии см внутри ядер между нуклонами.

**Закон всемирного тяготения:**

 (21)

*G* =  – гравитационная постоянная.

Кевендиш (1978г.).

*F* – гравитационная сила. Вес тела - сила с которой тело, притягиваясь к Земле, давит на опору или натягивает нить подвеса. Эта сила приложена к опоре. Сила тяжести – сила с которой тело притягивается к Земле по закону всемирного тяготения.

**Закон Гука. Сила упругости:**

 (22) где  - сила упругости,

*k* – жесткость пружины, ,

 - cмещение точки при деформации пружины (тела).

**Сила трения**:

 (23) где μ – коэффициент трения, безразмерная величина,

*N* – сила реакции опоры, Н.

**Лекция 3.** **2.3. (0,5 ЧАСА) Движение материальной точки в неинерциальной системе отсчета. Силы инерции. Неинерциальность системы координат, связанной с Землей, ее проявление в геофизических явлениях.**

В неинерциальных системах отсчета законы Ньютона, в том виде как в инерциальных системах отсчета, не выполняются. Вводится дополнительная сила, называемая силой инерции.

Напомним, что неинерциальными называются системы отсчета, движущихся относительно инерциальной системы с ускорением.

Если учесть силы инерции, то второй закон Ньютона будет справедлив для любой системы отсчета: произведение массы тела на ускорение в рассматриваемой системе отсчета равно сумме всех сил, действующих на данное тело (включая и силы инерции). Так, если на тело действует сила *F = ma* и сила инерции, то в инерциальной системе отсчета их сумма будет равна :

. (24)

Нужно учитывать случаи проявления этих сил: 1) силы инерции при ускоренном поступательном движении системы отсчета (например, в ускоренно движущемся лифте); 2) силы инерции, действующие на тело во вращающейся системе отсчета (например, круг на детской площадке); 3) силы инерции, действующие на тело, движущееся во вращающейся системе отсчета (вода в реке, движущаяся по поверхности Земли). Рассмотрим эти случаи.

**1. Силы инерции при ускоренном поступательном движении системы отсчета.**

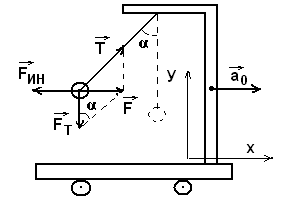


Рис.4

Результирующая сила (из  и ), равная обеспечивает ускорение шарика а; .

Для того, чтобы в движущейся с  системе отсчета шарик находился в покое, нужно ввести силу инерции : 

Проявление сил инерции: отклонение пассажира при трогании и остановке автобуса, возникновение перегрузок при запуске и торможении космических кораблей.

**2. Силы инерции, действующие на тело, покоящееся во вращающейся системе отсчета.**

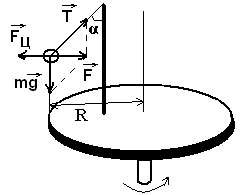


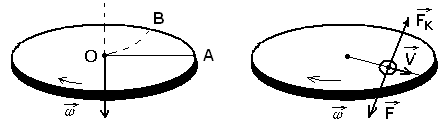
Рис.5

Относительно системы отсчета, связанной с вращающимся диском, шарик покоится, что возможно, если сила  уравновешивается равной и противоположно направленной ей силой  (центробежной), которая является не чем иным как силой инерции. Центробежная сила для вращающегося диска (вращающейся системы отсчета) равна:

 (25)

Примеры: транспорт на повороте, летчики при выполнении фигур высшего пилотажа. Использование: насосы, сепараторы и др.

**3. Силы инерции, действующие на тело, движущееся во вращающейся системе отсчета.**



а) б)

Рис.6

Если шарик движется по вращающемуся диску (а), то траектория будет ОВ. Это возможно, если на шарик действует сила , перпендикулярная скорости, это сила Кориолиса. Чтобы тело двигалось по прямой (б) надо, чтобы на него действовала сила , уравновешивающая , т.е. . Сила Кориолиса равна

 (26)

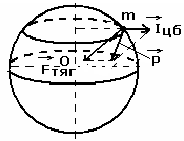
Вектор  перпендикулярен  и .

Примеры: течение рек на юг – подмывается правый берег, на север – левый.

С учетом рассмотренного, основной закон динамики для неинерциальных систем отсчета будет:

 (27)

**Неинерциальность системы отсчета, связанной с Землей, ее проявление в геофизических явлениях.**



К понятию силы тяжести

Рис.7

На материальную точку в системе отсчета, связанной с Землей влияет вращение Земли вокруг своей оси и действие гравитационных сил со стороны Солнца, Луны и других планет солнечной системы. Уравнение движения материальной точки в системе отсчета, связанной с Землей:

 (28)

**Силой тяжести тела** называется сила  (см.рис.7), приложенная к телу, и равная геометрической сумме  и :

, (29) т.е. . (30)

Центробежная сила настолько мала, что даже на экваторе сила тяжести Р отличается от силы тяготения всего лишь на0,35% . Сила тяжести уменьшается с высотой.

**3. Законы сохранения в механике.**

**3.1. (1 час) Понятие замкнутой системы. Импульс материальной точки, системы материальных точек. Закон сохранения и изменения импульса. Центр масс системы материальных точек и закон его движения. Реактивное движение.**

Совокупность материальных точек (тел), рассматриваемых как единое целое, называется механической системой.

Силы взаимодействия между материальными точками механической системы называются внутренними. Силы с которыми внешние тела действуют на материальные точки, называются внешними.

Замкнутой называется система тел, на которую не действуют внешние силы (или изолированная система),

При отсутствии внешних сил, т.е. для замкнутой системы выполняется закон сохранения импульса:

 (31) где  - импульс системы,

 и  соответственно масса и скорость i-той материальной точки.

Это фундаментальный закон природы.

Если на тела системы действуют внешние силы, то: изменение импульса системы равно импульсу внешних сил:

 (32)

 - импульс одной материальной точки;

 - импульс системы материальных точек.

**Центром масс** (или центром инерции) системы материальных точек называется воображаемая точка С, радиус вектор которой равен:

, (33) где  и  - соответственно масса и радиус вектор *i*-й материальной точки,

n – число материальных точек,

- масса системы.

Импульс системы можно записать: , где  - скорость центра масс. Закон движения центра масс:

 (34)

**Реактивное движение** – это движение тела за счет выброса газа, жидкости или твердых тел. Пример: движение ракеты. Теория разработана Циолковским К.Э. Циолковским получена на основе закона сохранения импульса формула для (*V*) скорости ракеты переменной массы:

, (35) где *U* – скорость истечения газов,

 и  - начальная и конечная массы ракеты.

**Лекция 4. 3.2. (1 час) Работа силы. Кинетическая энергия материальной точки. Потенциальные и непотенциальные силы в механике. Потенциальная энергия системы взаимодействующих тел. Закон сохранения и превращения энергии в механике.**

**Энергия** – способность тела совершить работу. Работа и энергия измеряются в одних единицах – Дж.

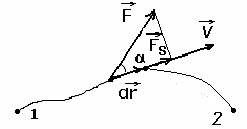


Рис.8

Элементарной работой силы  на перемещении  называется скалярная величина

 (36)

 - элементарный путь.

Работа силы на участке от 1 до2 равна алгебраической сумме элементарных работ на отдельных бесконечно малых участках пути. Эта сумма приводит к интегралу:

 (37)

Если тело движется прямолинейно, *F*= const, α=const, то получим:

 (38) где *S* – пройденный путь. Из формулы следуют случаи: 1) α< *A*>0; 2) α>, то*A*<0; 3) α=, то *А*=0; 4) *F*=0, *A*=0; 5) *S*=0, *A*=0; *А* – скалярная величина.

 - скалярная величина. (39)

**Кинетическая энергия –** энергия движущегося тела, из  (40)

Для механической системы:

 (41)

Пусть взаимодействия тел осуществляется с помощью силовых полей (гравитационные силы, упругие, электрические и др.). Для таких полей работа поля не зависит от формы траектории, а работа по замкнутой траектории равна нулю. Такие поля называются потенциальными, силы, действующие в них – консервативными. Диссинативные силы – их работа зависит от формы траектории.

Тела, находящиеся в потенциальном поле, обладают потенциальной энергией. Работа поля осуществляется за счет убыли потенциальной энергии: , или в полном виде:  Для консервативных сил:

 , (42) здесь оператор Гамильтона, или «набла» - оператор: 

Для гравитационного поля: П=mgH; упруго деформированного тела: П=

Полная механическая энергия: Е=Т+П.

**Закон сохранения полной механической энергии:**

В системе тел, между которыми действуют консервативные силы, полная механическая энергия сохраняется, т.е. не изменяется со временем: Т+П=Е=const. Энергия может лишь превращаться из одного вида в другой.

**3.3. (1 час) Момент импульса материальной точки и системы материальных точек. Момент силы. Закон сохранения и изменения момента импульса. Движение точки в центральном поле.Законы Кеплера.**

**Момент силы и момент импульса.**

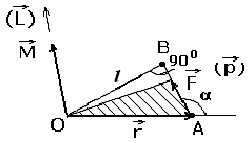
****

Рис.9

**Моментом силы** () относительно неподвижной точки О (полюса) называется векторная величина , равная векторному произведению радиуса – вектора , проведенного из точки О в точку А приложения силы (рис.9), на вектор силы :

. (43)

Модуль момента силы:

, ; *l* – плечо силы. (43)

Если сил много, то

 (44) результирующий момент равен геометрической (векторной) сумме моментов.

**Моментом импульса** (моментом качества движения) материальной точки относительно неподвижной точки О (полюса) называется вектор , равный векторному произведению радиуса – вектора , проведенного из полюса О в место нахождения материальной точки на вектор  ее импульса:

 (45) где *m* и  - масса и скорость материальной точки. Модуль момента импульса материальной точки:

 (46)

Момент импульса твердого тела можно получить, разбив твердое тело на n частиц, тогда:

 - (47) момент импульса твердого тела относительно неподвижной оси.  и  - связаны:

 - (48) это еще одна форма уравнения динамики вращательного движения твердого тела. Имеет место также векторное равенство.

В замкнутой системе момент внешних сил  и , откуда . Это выражение представляет собой **закон сохранения момента импульса:** момент импульса замкнутой системы сохраняется, т.е. не изменяется с течением времени.

**Движение точки в центральном поле. Законы Кеплера.**

Примером центральных полей являются: поле заряженного шара или точечного электрического заряда, гравитационное поле шара или материальной точки. При этом во всех точках поля векторы напряженности направлены вдоль прямых, пересекающихся в одной точке, неподвижной по отношению к какой либо инерциальной системе отсчета. Рассмотрим движение точки в центральном поле:

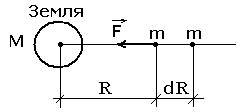


Рис.10

На расстоянии R (рис.10) на него действует сила . При перемещении тела на расстояние dR cовершается работа Знак «-» появился из-за противоположного направления силы и перемещения. Если тело перемещать от R1 до R2, то

. (49)

Из этой формулы видно, что работа в поле тяготения не зависит от траектории перемещения, а определяется лишь начальным и конечным положениями тела, т.е. силы тяготения являются консервативными, а поле тяготения – потенциальным. Работа совершаемая консервативными силами равна изменению потенциальной энергии системы, взятому со знаком «-», т.е.

 (50)

Потенциальную энергию при  принимают за 0, тогда  Величина

 называется потенциалом поля тяготения в данной точке. (51) φ – скалярная величина. Потенциал тела массой М в произвольной точке равен:

 (52) отсюда следует, что эквипотенциальная поверхность вокруг точки массой М (или шара) является шаровой или сферической. Напряженность поля  Через работу силы можно показать, что  или

 (53) или *g=gradφ*, т.е *g* направлено в сторону убывания потенциала, т.е. к тяготеющей массе. Космические скорости (для Земли):

 - в направлении вращения Земли против Солнца.

**Законы Кеплера:**

1. Каждая из планет движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.

2. Радиус – вектор планеты за равные промежутки времени описывает одинаковые площади.

3. Квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы больших полуосей их орбит.

Лекция 5. **3.4. (1 час) Движение твердого тела. Динамика вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси. Момент инерции твердых тел разной формы. Теорема Штейнера. Главные оси инерции. Гироскопический эффект.\* Кинетическая энергия вращающегося тела. Плоское движение твердого тела.**

При описании вращательного движения твердых тел используется понятие момента инерции. Момент инерции тела – это мера инертности твердых тел при вращательном движении. Его роль такая же, что и при поступательном движении. Моментом инерции системы (тела) относительно данной оси называется физическая величина, равная сумме произведений масс n материальных точек на квадраты их расстояний до рассматриваемой оси:

 (54)

В случае равномерного распределения масс эта сумма сводится к интегралу  Интегрирование производится по всему телу. Величина r в этом случае есть положение точки в координатах x, y, z. Момент инерции есть величина аддитивная: момент инерции тела относительно некоторой оси равен сумме моментов инерции частей тела относительно той же оси.

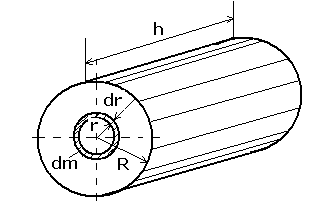


Рис.11

В качестве примера найдем момент инерции однородного сплошного цилиндра высотой h и радиусом R относительно его геометрической оси. Разобьем цилиндр на отдельные концентрические кольца бесконечно малой толщины *dr* c внутренним радиусом *r* и внешним (*r+dr*). Момент инерции каждого кольца . Объем кольца  то  и  тогда момент инерции сплошного цилиндра будет:, здесь , тогда (55)

Примеры моментов инерции тел:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тело | Положение оси вращения | Момент инерции |
| Полый тонкостенный цилиндр радиусом R | Ось симметрии |  |
| Сплошной цилиндр или диск радиусом R | Ось симметрии |  |
| Прямой тонкий стержень длиной | Ось перпендикулярна стержню и проходит через его середину |  |
| Прямой тонкий стержень длиной | Ось перпендикулярна стержню и проходит через его конец |  |
| Шар радиусом R | Ось проходит через центр шара |  |

Если известен момент инерции тела относительно оси, проходящий через его центр масс, то момент инерции относительно любой другой параллельной оси определяется теоремой Штейнера: момент инерции тела *J* относительно произвольной оси равен моменту его инерции  проходящей через центр масс С тела, сложенному с произведением массы m тела на квадрат расстояния а между осями:

 (56)

В любом теле существует три взаимно перпендикулярные оси, проходящие через центр масс тела, которые могут служить свободными осями – они называются главными осями инерции тела. Вращение вокруг этих осей является наиболее устойчивым.

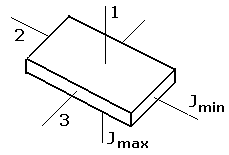


Рис.12

Так, если подбросить тело, имеющее форму параллелепипеда, то оно, падая, будет устойчиво вращаться вокруг осей 1 или 2 (см.рис. 12).

Свойство свободных осей сохранять свое положение в пространстве широко применяется в технике. Наиболее интересны в этом плане гироскопы – массивные однородные тела, вращающиеся с большой угловой скоростью около своей оси симметрии, являющейся свободной осью.

Интересен гироскоп, вращающийся на кардановом подвесе. Благодаря этому ось гироскопа может принять любое положение в пространстве. Если такой гироскоп в виде дискообразного массивного тела привести во вращение с помощью намотанной на диск веревочки, а затем поворачивать его подставку в пространстве, то ось гироскопа сохраняет свое положение в пространстве. Гироскопический эффект: если на ось подействовать парой сил в одной плоскости, то повернется ось в перпендикулярной плоскости. Если сила кратковременная, то и поворот оси кратковременный. Если одна точка оси закреплена (например, волчок вращается на полу) тот ось начинает вращаться в поле силы тяжести Земли – прецессировать. Это явление носит название Ларморовая прецессия.

Кинетическая энергия вращающегося твердого тела выражается формулой:

 (57) где  - момент инерции, аналогичный при поступательном движении массы тела: 

При плоском движении тела, например цилиндра, скатывающегося с наклонной плоскости без скольжения, энергия движения складывается из энергии (1) поступательного движения и энергии вращения (2):

 (58) здесь первое слагаемое – (1), второе слагаемое – (2).

Лекция 6.  **4. (2 – 3 часа) Колебательное движение. Уравнение свободных колебаний модельных систем (груз на пружине, математический и физический маятники. Применение модели гармонического осциллятора к колебаниям молекул.\* Сложение колебаний. Затухающие колебания, их характеристики. Вынужденные колебания, явление резонанса. Понятие о колебаниях систем со многими степенями свободы. Нормальные колебания. Спектр колебаний, понятие о разложении Фурье.\***

**Колебательное движение.** Колебательными называются процессы, которые характеризуются определенной повторяемостью во времени. Физическая природа колебаний может быть разной, поэтому различают колебания механические, электромагнитные и др.

Колебательные процессы различной природы описываются одинаковыми характеристиками и одинаковыми уравнениями. Свободными (или собственными) называются колебания, если они совершаются за счет первоначально сообщенной энергии при последующем отсутствии внешних воздействий на колебательную систему. Простейшим типом колебаний являются гармонические колебания – колебания, при которых колеблющаяся величина меняется со временем по закону синуса (или косинуса). Рассмотрение гармонических колебаний важно по двум причинам: 1) колебания, часто встречающиеся в природе и технике близки к гармоническим; 2) различные периодические процессы можно представить как наложение гармонических колебаний. Гармонические колебания описываются уравнением типа:

 (59) где *S* –величина, совершающая гармонические колебания,

*А* – амплитуда колебаний,

 - круговая (циклическая) частота,

аргумент косинуса  - фаза колебаний, рад.

φ – начальная фаза,

 где *Т* – период колебаний, с,  - частота колебаний, 

Дифференциальное уравнение гармонических колебаний:

 (60) решением этого уравнения является уравнение (59).

Механические гармонические колебания:

 (61)

Кинетическая энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания:

 (62)

Потенциальная энергия:

 (63)

Полная энергия:

 (64) Полная энергия в процессе колебаний остается постоянной.

**Гармоническим осциллятором** называется система, совершающая колебания, описываемые дифференциальным уравнением:  Колебания гармонического осциллятора являются важным примером гармонических колебаний и служат точкой или приближенной моделью во многих задачах классической и квантовой механики. Примерами гармонического осциллятора являются: пружинный, физический и математический маятники, колебательный контур, а также колебания атомов и молекул в твердых телах, жидкостях и газах.

**Пружинный маятник** – это груз массой m, подвешенный на абсолютно упруго пружине и совершающий гармонические колебания под действием упругой силы *F=-kx*, где k – жесткость пружины, , или . Решением этого уравнения является:  Частота таких колебаний определяется:  период  Формула справедлива для упругих колебаний, в которых выполняется закон Гука. Максимальная потенциальная энергия 

**Физический маятник** – это твердое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания вокруг неподвижной горизонтальной оси, проходящей через точку О, не совпадающую с центром масс.

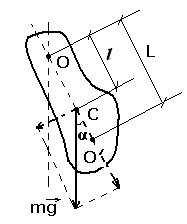


Рис.13

Вращающий момент М можно записать в виде:

 (65)

Дифференциальное уравнение будет:



Решением этого уравнения является:

 (66) здесь  (67)  (68) где  - приведенная длина. Точка  - центр качаний. Если маятник подвесить за эту точку, то период колебаний не изменится. Точки *О* и  обладают свойством взаимозаменяемости.

**Математический маятник** – это идеализированная система, состоящая из материальной точки массой m ,подвешенной на нерастяжимой и невесомой нити, и колеблющаяся под действием силы тяжести. Хорошим приближением является небольшой тяжелый шарик, подвешенный на тонкой нерастяжимой нити. Момент инерции период

. (69)

Приведенная длина физического маятника – это длина такого математического маятника, период колебаний которого совпадает с периодом колебаний данного физического маятника.

**Сложение гармонических колебаний.**

1) Если точка участвует в двух колебательных движениях одного направления, одинаковой частоты, но с разными амплитудами, то частота результирующего колебания останется прежней, а амплитуда будет зависеть от разности фаз ().

2) Для практики представляет особый интерес случай, когда два складываемых гармонических колебания одинакового направления мало отличаются по частоте. Получаются колебания с периодически изменяющейся амплитудой. Такие колебания называются биениями. Пусть амплитуда складываемых колебаний равна А, а частоты равны  и , причем >> .Пусть начальные фазы будут равны 0:Складывая эти выражения и учитывая, что <<, найдем: . Результирующие колебания можно рассматривать как гармонические с частотой , а амплитуда меняется по периодическому закону . Частота биений в два раза больше частоты , т.е. ; .

Метод биений используется для настройки музыкальных инструментов, анализа слуха и т.п.

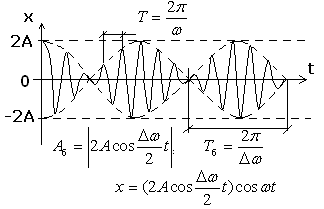


Рис.14

Любые сложные периодические колебания  можно представить в виде суперпозиции одновременно совершающихся колебаний с различными амплитудами, различными начальными фазами, а также частотами, кратными, циклической частоте :

 (70)

Такое представление сложного периодического колебания в виде спектра колебаний с различными частотами называется разложением Фурье. Слагаемые ряда Фурье, определяющие гармонические колебания с частотами  называют первой (или основной), второй, третьей и т.д. гармониками сложного периодического колебания.

На практике часто используется сложение нормальных или перпендикулярных колебаний. При этом в зависимости от амплитуды и разности фаз складываемых колебаний образуется результирующие колебания, различным образом поляризованные: эллиптически, линейно, циркулярно.

Если частоты складываемых взаимно перпендикулярных колебаний различны, то замкнутые траектории, прочерчиваемые колеблющейся точкой в виде результирующих колебаний, образуют сложные фигуры, называемые фигурами Лиссажу – это так называемые колебания со многими степенями свободы.

**Затухающие колебания** – колебания с уменьшающейся амплитудой из-за потерь энергии, например, на трение. Дифференциальное уравнение свободных затухающих колебаний:

 (71) где *S* – колеблющаяся величина,

δ = const – коэффициент затухания,

 - циклическая частота свободных незатухающих колебаний той же колебательной системы, т.е. при δ=0.

При  << решением этого уравнения будет:

. (72) где  Промежуток времени τ =, в течение которого амплитуда затухающих колебаний уменьшается в е раз, называется временем релаксации. Логарифмический декремент затухания:

, (73) где τ – время, в течение которого амплитуда уменьшается в е раз,

 - число колебаний за время τ.

Если затухание велико, то процесс называется апериодическим.

Колебания, которые происходят под действием внешней вынуждающей силы, которая периодически изменяется, называются вынужденными. Они происходят с частотой внешней вынуждающей силы.

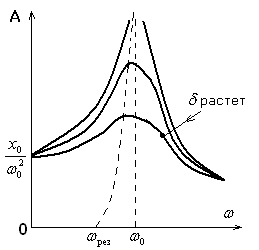


Рис.15

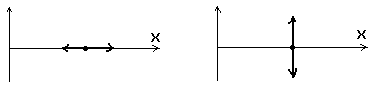
Зависимость амплитуды вынужденных колебаний от частоты вынуждающей силы (ω) показана на рис 15. При  - резонансной частоте наблюдается резкое увеличение амплитуды (А) вынужденных колебаний. Такое явление называется резонансом. Он может происходить при любых колебательных процессах. Резонансная частота:

. (74)

При резонансе собственная частота колебательной системы совпадает с частотой внешней вынуждающей силы.

Лекция 7. **5. (2 часа) Волны в упругих средах. Волновое уравнение. Уравнение монохроматической бегущей волны, основные характеристики волн. Продольные и поперечные волны, поляризация волн. Принцип суперпозиции волн. Явление интерференции. Поток плотности энергии, связанный с бегущей волной. Стоячие волны. Эффект Доплера.**

Процесс распространения колебаний в сплошной среде называется волновым процессом (или волной). Частицы среды при этом не движутся вместе с волной, а колеблются около своих положений равновесия. Волны переносят энергию без переноса вещества. Следующие типы волн, встречающихся в природе: волны на поверхности жидкости, упругие и электромагнитные волны. Волны бывают продольные и поперечные (рис.16).



а) продольные б) поперечные

Рис.16

В жидкостях и газах возникают только продольные волны, а твердых телах – как продольные, так и поперечные.

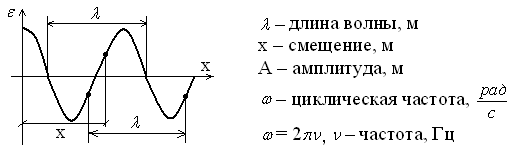


Рис.17

**Уравнение бегущей волны** (плоской):

, (75)

 - начальная фаза,

 - фаза,

. Здесь *V* – скорость распространения волны частотой ω или фазовая скорость. Волновая поверхность – поверхность до которой дошли колебания. Уравнение сферической волны:

 (76)

Если в среде распространяются несколько волн, то они складываются и это называется принципом суперпозиции (наложения) волн. При этом каждая волна распространяется так же, как если бы других волн не было.

Волновым каналом называется суперпозиция волн, мало отличающихся друг от друга по частоте, занимающая в каждый момент времени ограниченную скорость пространства. Скорость волнового пакета или групповая скорость – это скорость распространения максимума волнового пакета.

 или , или

, или  - для световых волн зависит от показателя преломления.

**Явление интерференции** – явление наложения волн от двух и более когерентных источников с образованием устойчивого во времени распределения амплитуд колебаний в пространстве (или, упрощенно, с образованием минимумов и максимумов колебаний). Когерентные волны – волны одинаковой частоты постоянной во времени разности фаз колебаний.

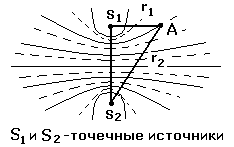


Рис.18





Амплитуда результирующей волны в точке А:

 (77)

 - разность хода волн; 

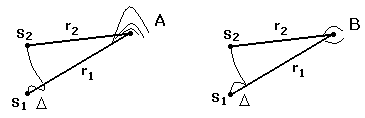


Рис.19

условие максимумов колебаний. (78)

Между линиями максимумов находятся линии минимумов.

условие минимумов колебаний. (79)

*m* = 0, 1, 2, 3…

Для некогерентных волн результирующая амплитуда в точке меняется во времени, поэтому устойчивая картина не наблюдается, т.е. интерференция не происходит.

**Стоячие волны.**

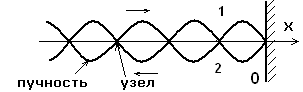
****

Рис.20

Уравнения волн вдоль положительного и отрицательного (отраженной волны) направлений будут:

 (80)

Получим после сложения:  (81)

Пучности:  Узлы:  *m* = 0, 1, 2, 3…

**Эффектом Доплера** называется изменение частоты колебаний, воспринимаемой приемником, при движении источника этих колебаний и приемника относительно друг друга. Пример: изменения тона гудка поезда при его движении к нам и от нас. Рассматриваем на примере звука:

1) источник и приемник покоятся:  и ;

2) приемник приближается к источнику:>0, =0, то

 Частота увеличивается.

3) источник приближается к приемнику, >0, =0,

 Частота увеличивается.

4) источник и приемник движутся относительно друг друга:

 Верхний знак – сближение, нижний – удаление.

Интенсивностью волны называется величина:

 - вектор плотности потока волны – вектор Умова. (82)

 - объемная плотность энергии. (83)

Связь *I* и *w*: 

Давление 

Лекция 8.  **6. (1 час) Элементы гидро- и аэродинамики. Движение идеальной жидкости, поле скоростей, линии и трубки тока. Уравнение Бернулли. Течение вязкой жидкости, формула Пуазейля. Ламинарные турбулентные потоки. Число Рейнольдса.**

**Свойства жидкостей и газов.** (объяснить коротко) Сжимаемостью жидкости и газа во многих задачах можно пренебречь. Давление в жидкости и газе .

Закон Паскаля: давление в жидкости и газе передается одинаково по всем направлениям (при покоящейся среде).

Гидростатическое давление  Выталкивающая сила (закон Архимеда) 

Совокупность частиц движущейся жидкости называется потоком. Движение жидкости изображается линией тока.

Трубка тока жидкости ограничена линиями тока.

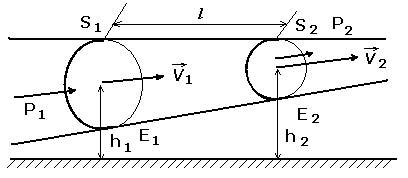


Рис.21

Уравнение неразрывности  (84)

Идеальная жидкость – у нее отсутствует внутреннее трение.

Полная энергия будет складываться из и отсюда получим уравнение Бернулли:

 или (85)

 (86)

 - полное давление.

**Вязкость** (внутреннее трение) – это свойство реальных жидкостей оказывать сопротивление перемещению одной из частей жидкости относительно другой.

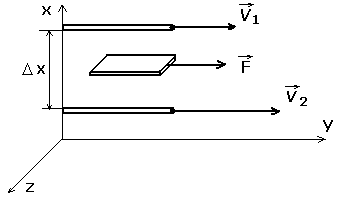


Рис.22

На рис. 22 показаны два слоя, отстоящие друг от друга на расстоянии , движущиеся со скоростью  и . Величина  называется градиентом скорости. Сила внутреннего трения (закон Ньютона):   (87)  - динамическая вязкость, 

Различают 1) ламинарное течение жидкости и 2) турбулентное. При 1) слои не перемешиваются, при 2) – перемешиваются. Характер течения зависит от безразмерной величины числа Рейнольдса: (88) ν – кинематическая вязкость. При малых <1300 – ламинарное течение. >10000 - турбулентное. Между 1300 и 10000 – переходное состояние.

Определение вязкости: 1) метод Стокса – с помощью шарика, падающего в жидкости, определяют скорость равномерного движения сферического тела (шарик) (r):

 (89)  и  - плотности шарика и жидкости. Отсюда определяют η.

2) метод Пуазейля. Жидкость пропускают по круглой трубке длиной (*l*), определяют (R) трубки, давление (), действующее за время (t) и по формуле Пуазейля вычисляют вязкость жидкости:

 (90)

Лекция 9. **7. (4 часа) Законы механики в движущихся системах отсчета. Обобщенный принцип относительности. Основные постулаты специальной теории относительности (СТО) Эйнштейна. Преобразования Лоренца. Релятивистский закон сложения скоростей. Импульс и энергия точки в релятивистской механике. Энергия покоя. Закон сохранения полной энергии.**

Принцип относительности Галилея устанавливает, что все законы механики выполняются одинаково во всех инерциальных, т.е. движущихся равномерно и прямолинейно, системах отсчета. Покоящаяся относительно Земли система отсчета – это также движущаяся, но с нулевой скоростью.  -неподвижная система отсчета,  - подвижная. Преобразования координат Галилея (перевод из подвижной в неподвижную):   

Правило сложения скоростей 

Ускорение 

**Постулаты** (основные положения) **специальной теории относительности (СТО).**

1-й постулат (принцип относительности): Все законы природы, включая электромагнитные, выполняются одинаково во всех инерциальных системах отсчета.

2-й постулат: Скорость света в вакууме одинакова для всех инерциальных систем отсчета. Она не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приемника светового сигнала.

Подтверждением 2-го постулата Эйнштейна является опыт Майкельсона- Морли, который они провели с помощью интерферометра.

**Преобразования Лоренца.** При скоростях подвижной системы отсчета сравнимых со скоростью света, а также тел, движущихся в этих системах, преобразования Галилея не действуют, а используются преобразования Лоренца. Это было открыто и использовано в специальной теории относительности (СТО), разработанной Эйнштейном.

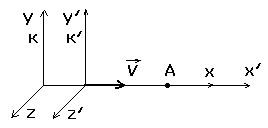


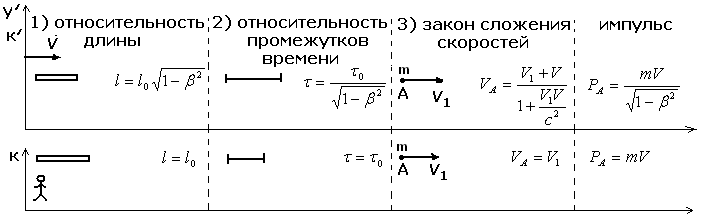
Рис.23

Преобразования Лоренца имеют вид: при переходе от  к , т.е. наблюдатель – в системе :

     (91)

Из преобразований Лоренца вытекает, что при малых скоростях (*V*<<c), т.е. когда β<<1 они переходят в классически преобразования Галилея. В этом заключается принцип соответствия. Также пространственные и временные преобразования не являются независимыми, поскольку в закон преобразования координат входит время, а в закон преобразования времени – пространственные координаты. Т.е. в теории Эйнштейна рассматривается четырехмерное пространство – время , так называемый пространственно – временной континиум.

Основные результатытспециальной теории относительности (СТО).



**Полная энергия** свободной частицы, т.е. частицы, на которую не действуют силы:

 (92)

При *V* = 0, т.е. когда частица покоится, ее энергия будет

 - это энергия покоя. (93)

Полная энергия системы

 (94)

 - закон сохранения полной энергии. (95)

 - кинетическая энергия. (96)

**Лекция 10. II. Молекулярная физика и термодинамика.**

**1. Основные представления молекулярно – кинетической теории.**

**1.1. (1 час) Предмет и методы молекулярной физики. Статический и термодинамический подходы. Случайные величины и их описание. Плотность вероятности. Средние значения, флуктуации. Термодинамические параметры. Равновесные состояния и процессы.**

**Молекулярная физика** – это раздел физики, в котором строение и свойства вещества изучаются исходя из молекулярно – кинетических представлений, которые основываются на том, что все тела состоят из молекул, находящихся в непрерывном хаотическом движении.

Законы поведения огромного числа молекул, являясь статистическими закономерностями, изучаются с помощью статистического метода. Этод метод основан на том, что свойства макроскопической системы в конечном счете определяются свойствами частиц системы, особенностями их движения и усредненными значениями динамических характеристик. Например, температура – есть мера средней кинетической энергии хаотического движения молекул. Сами же молекулы двигаются с различными скоростями. **Термодинамика** – раздел физики, в котором изучаются общие свойства макроскопических систем, находящихся в состоянии термодинамического равновесия, и процессы перехода между этими состояниями. Термодинамика не рассматривает микропроцессы, которые лежат в основе этих превращений. Этим термодинамический метод отличается от статистического.

Применение термодинамики очень широкое. Состояние термодинамической системы определяется термодинамическими характеристиками.

В молекулярно – кинетической теории используют статистические методы.

Для характеристики степени возможности появления некоторого события в математике вводится понятие вероятности (w) этого события. Вероятность осуществления одного какого-либо события из N возможных определяется: . Вероятность W какого-либо состояния тела (или системы) больше вероятности (w) отдельного распределения в Р раз: 

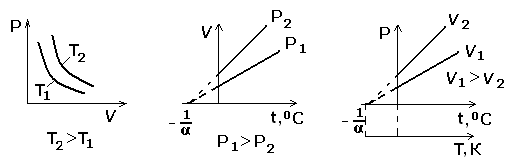
Величина  имеет смысл плотности вероятности , т.е. определяет вероятность пребывания частицы в данной точке пространства (в элементе объема ). Сумма плотности вероятности по всему бесконечному пространству равна 1.

В системах, содержащих большое количество частиц, средние значения каких-либо параметров являются характеристиками таких систем. Однако, в небольших объемах, состоящих из небольшого количества частиц происходят значительные случайные отклонения параметров от их средних значений. Такие явления называются флуктуациями соответствующих величин. Флуктуациями, например, объясняется: броуновское движение, предел чувствительности приборов, электрические флуктуации в радиоаппаратуре – дробовой эффект (шумы).

Состояние системы характеризуется термодинамическими параметрами: температура (0С, К), Т = 0К – нуль кельвин; давление, р, Па; объем, V, м3; удельный объем: . Система находится в термодинамическом равновесии, если ее состояние не меняется с течением времени.

**Идеальным** называется газ, в котором: 1) объем всех молекул мал в сравнении с объемом сосуда, 2) между молекулами отсутствуют силы взаимодействия, 3) столкновения молекул являются абсолютно упругими.

Законы идеального газа.



1) 2) 3)

Рис.24

1) **Закон Бойля-Мариотта**.

** (97)**

При   изотермический процесс, график – изотерма.

2) **Закон Гей-Люссака.**

 (98)

 изобарный процесс,  график – изобара.

3) **Закон Шарля.**

 (99)

Изохорный процесс,  график – изохора.

**Закон Авогадро**: ; .

**Закон Дальтона**: давление смеси газов равно сумме парциальных давлений газов, входящих в эту смесь:  (100)

Лекция 11. **1.2. (4 часа) Идеальный газ, как модельная термодинамическая система. Основное уравнение молекулярно – кинетической теории идеального газа. Уравнение Менделеева-Клапейрона. Распределение молекул по скоростям (распределение Максвелла) и в поле потенциальных сил (распределение Больцмана). Барометрическая формула. Атмосфера Земли и других планет.**

**Идеальный газ** – см. П 1.1.

**Уравнение Клапейрона**:

 или  (101)

где  - давление, Па;

 - объем, ;

 - абсолютная температура, К.

**Уравнение Менделеева-Клапейрона**:

 (102)  - количество вещества, моль;   или ; *к* – постоянная Больцмана ;  - число Авогадро ;  - число молекул в единице объема; из (102)   пусть ν = 1, т.е. m = M, тогда , тогда

 (103)

**Основное уравнение МКТ** (молекулярно- кинетической теории ) (без вывода).

 (104)

 - масса молекулы, n – число молекул в единице объема.

 (105)

 - связь и 

Средняя скорость:  (106)

Наиболее вероятная скорость:  

**Распределение молекул по скоростям** (распределение Максвелла).

Если разбить диапазон скоростей молекул на малые интервалы (), то на каждый интервал будет приходиться некоторое число молекул , имеющих скорость, заключенную в этом интервале , тогда 

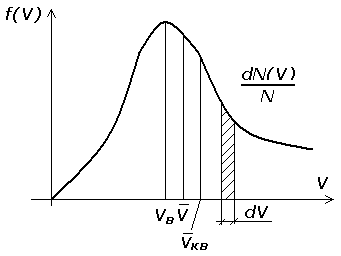


Рис.25

Применяя методы теории вероятностей, Максвелл нашел функцию :

. (107)

Функция  удовлетворяет условию нормировки 

Скорость, при которой функция распределения молекул идеального газа максимальна, называется наиболее вероятной:  Из формулы вытекает, что максимум функции распределения молекул по скоростям смещается вправо при повышении температуры. Однако площадь под кривой остается одинаковой по условию нормировки.

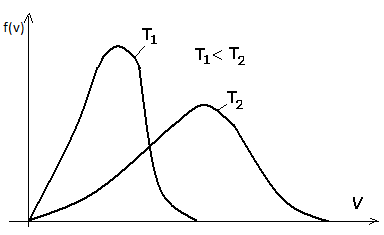


Рис.26

Функция распределения молекул по скоростям теплового движения получается из формулы (107):

 (108)

**Барометрическая формула. Распределение Больцмана.**

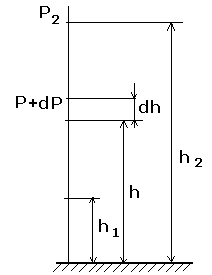


Рис.27

На высоте  давление равно , т.е. оно увеличивается, и его можно определить через вес воздуха, заключенного в цилиндре высотой . Используя уравнение Менделеева-Клапейрона, можно получить распределение Больцмана:

 или (109)

. (110)

Прибор, с помощью которого по увеличению давления с высотой, определяют высоту над земной поверхностью называется высотомером (или альтиметром).

Для концентрации молекул получается аналогичная формула: . (111)

Чем больше масса планеты солнечной системы, тем более мощная ее атмосфера. Малые планеты вообще не имеют атмосферы.

**Среднее число столкновений и средняя длина свободного пробега молекул.**

При движении молекулы газа, она сталкивается с другими молекулами. Путь (λ), который проходит молекула между двумя последовательными столкновениями, называется средней длиной свободного пробега и определяется формулой:

 (112)

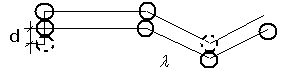


Рис.28

«Путь» молекулы лежит внутри «ломаного» цилиндра радиусом (d). Среднее число столкновений за 1 с равно числу молекул в объеме «ломаного» цилиндра :  или . При учете движения молекул

.

 и  обратно пропорциональны друг другу.

**1.3. (1-2 часа) Явление переноса: диффузия, внутреннее трение и теплопроводность.**

К явлениям переноса относятся: теплопроводность (перенос энергии), диффузия (перенос массы) и внутреннее трение (перенос импульса). Для простоты ограничимся однокоординатной системой.

1. **Теплопроводность:** подчиняется закону Фурье:

 (113) где  - плотность теплового потока, 

 - коэффициент теплопроводности, 

 - градиент температуры. «-» показывает, что перенос тепла (энергии) происходит в направлении понижения температуры. Можно показать, что

 (114) где  - удельная теплоемкость газа при постоянном объеме.



**2. Диффузия** – это явление взаимного проникновения и перемешивания частиц двух соприкасающихся газов, жидкостей и, даже, твердых тел. Существует градиент плотности. Закон Фика:

 (115) где  - плотность потока массы, 

*D* – коэффициент диффузии, 

 - градиент плотности, 

 (для газов). (116)

3. **Внутреннее трение (вязкость).** Физический смысл заключается в диффузии молекул и их обмену между соседними слоями, движущимися с различной скоростью, поэтому скорость медленного слоя увеличивается, а быстрого - уменьшается. Согласно закону Ньютона, сила внутреннего трения между двумя слоями:

 (117) η – динамическая вязкость, 

**Плотность потока импульса:**   (118)

 (119)

Динамическая вязкость (η) вычисляется по формуле:

 (120)

Закономерности (113), (115), (118) сходны между собой. Из приведенных формул вытекают зависимости:

 (121)

 (122)

Используя данные формулы, можно по найденным из опыта одним величинам определить другие.

**Лекция 12. 2. Основы термодинамики.**

**2.1. (2 часа) Внутренняя энергия идеального газа. Работа термодинамической системы. Количество теплоты. Теплоемкость. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы.**

**Внутренняя энергия** (U) – энергия хаотического (теплового) движения микрочастиц системы (молекул, атомов, электронов, ядер т.д.) и энергия взаимодействия этих частиц. К внутренней энергии относится также движение системы , как целого, и потенциальная энергия системы во внешних полях.

**Число степеней свободы.** Атом одноатомного газа рассматривают как материальную точку, которой приписывается три степени свободы поступательного движения (i=3). Молекула двухатомного газа имеет пять степеней свободы (i=5) – три поступательного и две –вращательного . Трехатомная молекула имеет i=6, три - поступательного и три вращательного. Для молекул реальных газов атомы не связаны жестко, и еще надо учитывать колебательное движение атомов.

**Закон Больцмана** о равновесном распределении энергии по степеням свободы: для термодинамической системы на каждую степень свободы, поступательную и вращательную – приходится кинетическая энергия , а на каждую колебательную -  (Из-за потенциальной и кинетической энергии).

Средняя энергия молекул , (123) где . В классической теории рассматриваются молекулы с жесткой связью между атомами, т.е. колебательное движение не учитывается.

**Внутренняя энергия** газа определяется лишь кинетической энергией его молекул:

 (124)

Работа термодинамической системы (твердых, жидких и газообразных тел):

. , работа внешних сил (А).



Графический смысл работы – это площадь под кривой в координатах Р и V.

**Первое начало (первый закон) термодинамики:**

Изменение внутренней энергии системы равно работе внешних сил плюс количество переданной теплоты:

 (125)

 или  (126)

Количество теплоты, переданное системе, расходуется на изменение ее внутренней энергии () и совершение системой работы ().

**Удельная теплоемкость** вещества – количество теплоты, необходимое для нагревания 1 кг вещества на 1 К:

  (127)

**Молярная теплоемкость** – количество теплоты, необходимое для нагревания 1 моля вещества на 1 К:

 (128)

 I закон термодинамики для 1 моля:

 (129)

Молярная теплоемкость при **постоянном объеме** (, то , (130)

  (131)

Если газ нагревается при **постоянном давлении ,** то **  -** независит от вида процесса, а зависит отТ и всегда равна ,то

 (132)

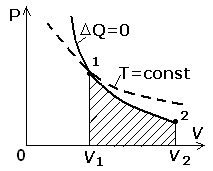
Из уравнения Менделеева-Клапейрона  найдем , (132)- уравнение Майера. Из (132):  (133)

**Применение I закона термодинамики к различным процессам:**

**1) Изохорный,     ** 

**2) Изобарный,      -** для одноатомного газа; **-**для двухатомного газа; или в общем: 

**3) Изотермический**,   222   

**4) Адиабатный;     **

**-** уравнение Пуассона или   - показатель адиабаты или коэффициент Пуассона.

 (134)

При адиабатном расширении

 (135)

**Лекция 13** **2.2. (2 часа) Первый закон термодинамики (см. ранее). Обратимые и необратимые процессы. Циклические процессы. Цикл Карно. Коэффициент полезного действия тепловых машин. Второй закон термодинамики.**

**Обратимым** называется такой процесс, который происходит как в прямом, так и в обратном направлениях при отсутствии изменений в окружающей среде. Любой обратимый процесс является равновесным. Обратимые процессы – это идеализация реальных процессов. Все другие процессы – необратимы.

**Круговым процессом (или циклом)** называется процесс при котором система, пройдя через ряд состояний, возвращается в исходное. **Прямой цикл** (рис.29)используется в **тепловых двигателях,** обратный – в холодильных машинах.

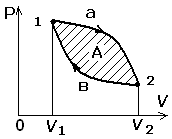


Рис.29

**КПД** –коэффициент полезного действия для кругового процесса:

 (136)

 - количество теплоты, полученное от нагревателя;

 - количество теплоты, отданное холодильнику.

<1.

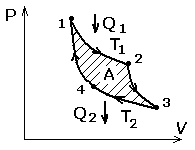


Рис.30

Цикл Карно, его диаграмма состоит из двух изотерм и двух адиабат. 1-2, 3-4 – изотермы; 2-3,4-1 – адиабаты.

Цикл Карно обладает наибольшим КПД:

, или , или  (137)

 - температура нагревателя;

 - температура холодильника.

Как повысить КПД. Например, при  и , η = 0,25.

**Второй закон термодинамики:**

**1) По Кельвину:** невозможен круговой процесс, единственным результатом которого является превращение теплоты, полученной от нагревателя, в эквивалентную ей работу.

**2) По Клаузиусу:** невозможен круговой процесс, единственным результатом которого является передача теплоты от менее нагретого тела к более нагретому.

 .Если бы можно было передать к нагревателю, то ; и 

По Клаузиусу – тепловая смерть Вселенной из-за выравнивания температуры во Вселенной. Ошибочность: бесконечную Вселенную нельзя рассматривать как замкнутую (изолированную).

**2.3. (2 часа) Энтропия и ее статистическая интерпретация. Возрастание энтропии при неравновесных процессах. Границы применимости второго закона термодинамики. Представление о термодинамике открытых систем.**

**Энтропия.** Физическая интерпретация (смысл) этого понятия рассматривается как отношение теплоты (), полученной телом в изотермическом процессе, к температуре () теплоотдающего тела, называемое приведенным количеством теплоты.

. (138)

Изменение энтропии в любом круговом обратимом процессе равно нулю: . Энтропия замкнутой системы может либо возрастать (в случае необратимых процессов), либо оставаться постоянной (в случае обратимых процессов). Физический смысл имеет не сама энтропия, а ее изменение, т.е. разность энтропий:

 (139)

Адиабатный процесс (обратимый) протекает без изменения энтропии, поэтому называется изоэнтропийным.

При изотермическом процессе ()  (140)

При изохорном процессе ()  (141)

Энтропия обладает свойством аддитивности, т.е. энтропия системы равна сумме энтропий тел, входящих в систему. Аддитивностью обладают: внутренняя энергия, масса, объем (температура и давление таким свойством не обладают).

Согласно Больцману (1872) энтропия системы и термодинамическая вероятностьсвязаны между собой следующим образом:

. (142)

Т.е. энтропия – это мера вероятности состояния термодинамической системы. Энтропия является мерой неупорядоченности системы. Чем больше число микросостояний, реализующих данное макросостояние, тем больше энтропия. В состоянии равновесия – энтропия максимальна. Все процессы в замкнутой системе ведут к увеличению ее энтропии – принцип возрастания энтропии.

**Второй закон термодинамики** можно сформулировать как закон возрастания энтропии замкнутой системы: любой необратимый процесс в замкнутой системе происходит так, что энтропия системы при этом возрастает.

Второй закон термодинамики не применим к Вселенной, т.к. ее нельзя рассматривать как замкнутую.

Для открытых систем второй закон термодинамики не действует, т.е. тепло может передаваться от менее нагретых тел к более нагретым за счет процессов, протекающих вне открытой системы. Пример: холодильник. Энтропия открытых систем также может возрастать и убывать за счет теплообмена с внешними телами.

**Лекция 14 3. Реальные газы, жидкости и пары.**

**3.1 (2 часа) Силы молекулярного взаимодействия. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Переход газообразного состояния в жидкое. Критические параметры. Эффект Джоуля-Томсона. Сжижение газов.**

**Реальным газом** называется газ, между молекулами которого действуют силы межмолекулярного взаимодействия. **Паром** называется газ, который находится в состояниях, близких к конденсации.

Силы межмолекулярного взаимодействия очень быстро убывают при увеличении расстояния между молекулами (короткодействующие силы). На расстояниях между молекулами, превышающих м, силами межмолекулярного взаимодействия можно пренебречь. Силы взаимодействия между молекулами подразделяются на силы притяжения и отталкивания.

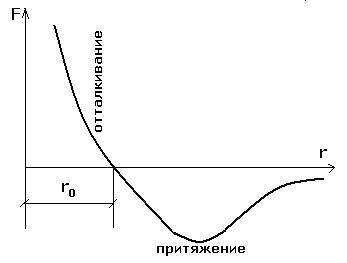


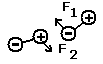
Рис.31

Оба типа сил действуют одновременно. В результате их суммирования получается результирующая сила взаимодействия. При < - отталкивания, при > - притяжения.

Зависимость потенциальной энергии () от (). При  - минимум потенциальной энергии. Расстояние *r*, является эффективным диаметром молекулы. Величина  наименьшей потенциальной энергией взаимодействия молекул является критерием для различных агрегатных состояний вещества.

При << - вещество находится в газообразном состоянии. При >> - осуществляется твердое состояние. При  - соответствует пребыванию вещества в жидком состоянии. Здесь *kT* – удвоенная средняя энергия, приходящаяся на одну степень свободы теплового движения молекул.

Силами Ван-дер-Ваальса (ван-дер-ваальсовы силы) называются слабые силы притяжения, действующие между молекулами на расстояниях порядка м. Эти силы являются причиной поправки на внутреннее давление в уравнении состояния реального газа. Существуют три типа Ван-дер-ваальсовых сил, причем все они имеют электрическую природу: а) ориентационные силы притяжения полярных молекул: б) индукционные силы притяжения двух полярных молекул



(обусловленные их влиянием друг на друга и дополнительной поляризацией) в) дисперсионные силы притяжения обусловлены мгновенным действием одной молекулы на другую путем ее поляризации. Модель разработал Друде. Эти силы играют определяющую роль во взаимном притяжении молекул.

Потенциальная энергия ван-дер-ваальсова притяжения составляет (0,4…4). Для сравнения: энергия водородной связи составляет .

**Уравнение Ван-дер-Ваальса** описывает состояние реального газа для одного моля (:  (143)

Для произвольной массы газа (m):  (144) здесь  - мольный объем,

 - свободный объем, т.е. не занятый молекулами газа;

- поправка на собственный объем молекул газа:  (145)

 - объем одной молекулы;

 - поправка, обусловленная действием сил взаимного притяжения молекул и называемая внутренним давлением. Уравнение Ван-дер-Ваальса (ВВ) справедливо лишь для не очень сильно сжатых газов, При очень разряженных газах >>и << уравнение (ВВ) не отличается от уравнения Менделеева-Клапейрона.

**Изотермы реальных газов**  в зависимости от температуры приведены на рис.32. Ниже температуры  (критической температуры) т.е.  и - вещество может находиться в жидком состоянии, а при> вещество может находиться только в газообразном состоянии. Точка С – сухой насыщенный пар, В – кипящая жидкость, М – смесь кипящей жидкости и насыщенного пара (влажный пар), К – критическая точка, области I – жидкость, II – жидкость и насыщенный пар, III – газ. При точке К – все параметры критические, для 1 моля они могут быть определены:    

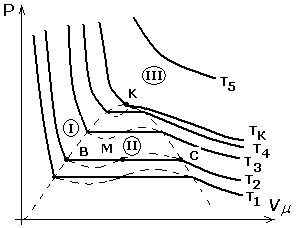
****

Рис.32

Английские физики Д.Джоуль и У.Томсон (1854) экспериментально обнаружили, что при адиабатном расширении газа без совершения полезной работы температура газа изменяется. Процесс такого необратимого расширения называется адиабатным расширением, а явление изменения температуры в этом процессе – эффектом Джоуля- Томсона. Опыты показывают, что в зависимости от состояния газа перед дросселем () и перепада давления в дросселе () изменение температуры  может быть больше нуля – отрицательный эффект Джоуля-Томсона, меньше нуля – положительный эффект и равно нулю – нулевой эффект. На практике используется положительный эффект для понижения температуры газа путем его адиабатного расширения. Этот эффект используют для сжижения газов, чтобы снизить его температуру ниже критической. Только в этом случае можно перевести вещество из газообразного состояния в жидкое. Этот процесс осуществляется в специальных устройствах – детандерах.

**3.2. (2 часа) Испарение и кипение жидкостей. Насыщенный пар. Точка росы. Поверхностное натяжение жидкости. Капиллярные явления. Представление о структуре жидкостей, ближнем порядке.**

**Испарение** – это переход вещества (молекул) из жидкого состояния в газообразное, происходящее с поверхности жидкости. **Конденсация** – процесс, обратный испарению. Скорость испарения зависит от: 1) температуры, 2) площади поверхности испарения, 3) наличия ветра, 4) вида жидкости и 5) внешнего давления. Охлаждение при испарении зависит от числа испаряющихся молекул.

 **Насыщенный пар**. Пар, находящийся в динамическом равновесии со

 своей жидкостью, называется насыщенным паром, а давление , при котором жидкость находится в равновесии со своим паром, называется давлением насыщенного пара.

**Кипение** – процесс парообразования не только на поверхности, но и внутри жидкости. При этом давление насыщенного пара жидкости равно внешнему (например, атмосферному) давлению. При понижении внешнего давления температура кипения снижается, а при повышении – повышается.

Температура, при которой стирается всякое различие между жидкостью и ее насыщенным паром, называется критической температурой: для эфира:  для воды: 

Температура, при которой ненасыщенный водяной пар в атмосфере превращается в насыщенный и выпадает роса, называется точкой росы. Давление, которое создает водяной пар в атмосфере, называется парциальным давлением водяного пара.

Суммарная энергия частиц жидкости складывается из энергии их хаотического (теплового) движения (кинетическая) и потенциальной энергией, обусловленной силами межмолекулярного взаимодействия. Молекулы поверхностного слоя жидкости обладают большей потенциальной энергией, чем молекулы внутри жидкости. Эта избыточная энергия называется поверхностной энергией, она пропорциональна площади слоя  (146) где σ – коэффициент поверхностного натяжения, т.е. , где - элементарная сила, действующая на элемент длины  поверхностного слоя. Коэффициент поверхностного натяжения снижается с увеличением температуры (причем зависимость линейная) и при критической температуре обращается в нуль. На значение σ жидкости влияют ПАВ – поверхностно активные вещества (например, мыло).

**Смачивание.** Θ – краевой угол смачивания.



Рис.33

Использование, например, при флотации.

**Капиллярность.** Капилляр – узкая трубка.

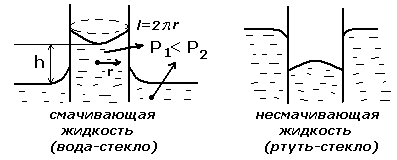


Рис.34

   (147) высота подъема  (148) давление  (149) над искривленной поверхностью жидкости  . (150)

Капиллярные явления играют большую роль в природе и технике. Например, влагообмен в почве и растениях, поднятие воды в фитиле горелки, впитывание влаги бетоном и т.п.

Жидкости обладают промежуточными свойствами между твердыми телами и газами. Жидкости, подобно твердым телам, имеют определенный объем, а, подобно газам, принимают форму сосуда, в котором они находятся. Молекулы в жидкостях, так же как в твердых телах, закреплены на своих местах и колеблются около этих мест – положений равновесия. Но, по истечении времени, называемом временем оседлой жизни они перескакивают с этих мест в другие положения равновесия и т.д. Этим объясняется свойство жидкостей – текучесть. Жидкости текут в направлении действия внешней силы. Например, наклонить стакан с водой, вода потечет в направлении силы тяжести. Если продолжительность действия внешней силы меньше, чем время оседлой жизни, то жидкость ведет себя как твердое тело. Например, гудрон – вязкая жидкость. На нем можно стоять и не утонуть. А можно ли так стоять на воде? В жидкостях наблюдается ближний порядок, т.е., на расстоянии нескольких межатомных расстояний (). В твердых же телах (кристаллах) наблюдается дальний порядок, т.е. .

**Лекция 15.**  **3.3. Твердые тела. Ближний и дальний порядок в расположении атомов. Кристаллические решетки. Фазовые переходы между агрегатными состояниями вещества. Фазовые переходы I и II рода.**

Твердые тела – кристаллы. Кристаллические тела отличаются от аморфных четким значением температуры плавления и кристаллизации. Аморфные вещества – это вязкие жидкости. При плавлении они постепенно размягчаются. Кристаллы имеют правильную геометрическую форму, которая является результатом упорядоченного расположения частиц (атомов, молекул, ионов), составляющих кристалл. Структура, для которой характерно регулярное расположение частиц с периодической повторяемостью в трех измерениях, называется кристаллической решеткой. Точки, в которых расположены частицы, а точнее положения равновесия, около которых частицы совершают колебания, называются узлами кристаллической решетки. Кристаллические вещества делятся на две группы: монокристаллические и поликристаллы. Для кристаллов выполняется закон постоянства узлов, сформулированный Ломоносовым М.В. Крупные монокристаллы встречаются редко (например, лед, поваренная соль и др.). Большинство твердых тел имеют мелкокристаллическую структуру, т.е. состоят из множества монокристаллов, соединенных между собой беспорядочно. Такие тела называются поликристаллами (металлы, комки соли, сахара и т.п.). Основное свойство кристаллов – анизотропия свойств (неодинаковость свойств по разным направлениям). Для поликристаллов – свойства одинаковы в разных направлениях, т.к. ориентация всех монокристалликов хаотичная.

Существует два признака для классификации кристаллов: 1) кристаллографический; 2) физический (природа частиц и характер их взаимодействия).

**Кристаллографический признак кристаллов.** Кристаллическая решетка может обладать различными видами симметрии. Симметрия кристаллической решетки – это ее свойство совмещаться с собой при некоторых пространственных перемещениях, например, параллельных переносах, поворотах, отражениях или их комбинациях и т.д. Кристаллической решетке присущи 230 комбинаций элементов симметрии (доказал кристаллограф Е.С.Федоров). С переносной симметрией связывают понятие трехмерной периодической структуры – пространственной решетки или решетки Браве. Переносится элементарная ячейка. Всего существует 14 типов решеток Браве. Они распределяются по семи кристаллографическим сингониям (системам): триклинная, моноклинная, ромбическая, тетрагональная, ромбоэдрическая, гексагональная, кубическая. Они характеризуются длиной ребер (а, в,с) и углами между ребрами (α, β, γ) – т.е. параметрами элементарной ячейки.

**Физический признак кристаллов.** В зависимости от рода частиц, расположенных в узлах кристаллической решетки и характера сил взаимодействия между ними, кристаллы разделяются на четыре типа: ионные, атомные, металлические, молекулярные.

Нарушения структуры в кристаллах называются дислокациями.

**Фазой** называется термодинамическое состояние вещества, отличающееся от других возможных состояний того же вещества. Часто понятие фаза употребляется в смысле агрегатного состояния, однако оно значительно шире (лед, например, встречается в пяти различных модификациях – фазах). Например, употребление понятия фаза: вода и водяной пар над ней – двухфазная система, а если бросить еще кусочки льда – трехфазная.

Переход вещества из одной фазы в другую – это фазовый переход. Примерами могут служить: изменение агрегатного состояния вещества, переход в другую кристаллическую модификацию, переход в жидкости в поверхностный слой при его образовании и т.д. **Фазовый переход I рода** (например, плавление, кристаллизация) сопровождается поглощением или выделением теплоты, называемой теплотой фазового перехода. Он характеризуется постоянством температуры, изменениями энтропии и объема.

Фазовые переходы, не связанные с поглощением или выделением теплоты и изменением объема, называются фазовыми переходами II рода. Примеры: переход ферромагнитных веществ (железа, никеля) при определенной температуре в парамагнитное состояние, переход металлов и их сплавов в сверхпроводящее состояние.

**Диаграмма состояния. Тройная точка.**

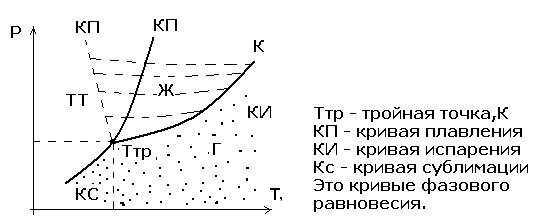
****

Рис.35

Тройная точка воды 273,16 К (или температура 0,010С) – основная реперная точка для построения термодинамической шкалы температур.

Резерв времени – 4 часа.

Основная литература:

1. Савельев И.В. Курс общей физики т. 2, М.:Наука,1999,340с.

2. Трофимова Т.И. Курс физики: учебное пособие для вузов – М.: «Академия»,2007,560с.

3. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учебное пособие для вузов – М.: «Высшая школа»,2001,718с.

**II.Формулы.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Механика. |  | Молекулярная физика и термодинамика |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  | . |
|  |  |  |
|  |  | . |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |
|  |  | , |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |
|  | , |  |