Физика

1 Программа минимум

1.1 Кинематика

Общие сведения

Механическая система – совокупность тел, выделенная для рассмотрения.

Абсолютно твердое тело – тело, деформациями которого можно в условиях данной задачи пренебречь.

Поступательное движение – это такое движение, при котором любая прямая, связанная с движущимся телом, остается параллельной самой себе.

При вращательном движении все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной и той же прямой, называемой осью вращения.

Вектор – это величины, характеризующиеся численным значением и направлением и, кроме того, складывающиеся по правилу параллелограмма.

Численное значение вектора называется его модулем.

Компонент вектора( вектор можно выразить через проекции его на базисные вектора, эти проекции (уже числа!) – компоненты вектора).

Если за равные, сколь угодно малые промежутки времени частица проходит одинаковые пути, движение называют равномерным.

Перемещение – прямолинейный отрезок, проведенный из точки 1 в точку 2.

Правило правого винта – направление отрезка должно быть таким, что бы глядя вдоль него, мы видели поворот совершающимся по часовой стрелке, мы вызовем его перемещение от себя

1. Система отсчета (СО)

Система отсчета – совокупность неподвижных друг относительно друга тел, по отношению к которым рассматривается движение, и отсчитывающих время часов

2. Материальная точка (МТ)

Материальная точка – тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

3. Радиус вектор r

Радиус вектор е – это вектор проведенный из начала координат в данную точку. rx=x, ry=y, rz=z. r=xex+yey+zez . r2=x2+y2+z2

4. Перемещение

Перемещение (в [кинематике](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0)) — изменение положения [физического тела](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%BE) в [пространстве](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE_%D0%B2_%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B5) относительно выбранной [системы отсчёта](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%BE%D1%82%D1%81%D1%87%D1%91%D1%82%D0%B0).

5. Пройденный путь s

Путь – расстояние между 1 и 2, отсчитанное вдоль траектории.

Путь пройденный частицей за промежуток времени от t1 до t2 здесь модуль скорости. Если взять интеграл от самой скорости то можно получить вектор перемещения . Путь-площадь под графиком v от t.

6. Траектория

Траектория-линия, вдоль которой движется тело. В зависимости от формы траектории различают прямолинейное движение, движение по окружности, криволинейное движение итп.

7. Скорость

Скорость – векторная физическая величина, характеризующая быстроту перемещения и направление движения материальной точки в пространстве относительно выбранной системы отсчёта.

Мгновенная скорость в данной точки траектории . Скорость – производная радиуса-вектора по времени. Она направлена по касательной к траектории.

Модуль скорости

Если брать отрезки пути Δs и перемещения Δr, соответствующие все меньшим промежуткам времени Δt, то различие между Δs и |Δr| в пределе станет равным единице. И в формуле мгновенной скорости их можно поменять местами. Таким образом модуль скорости равен производной пути по времени.

v=vxex+vyey+vzez ; или r’=x’ex+y’ey+z’ez ; отсюда видим, что vx=x’... отсюда

v=(x’2+y’2+z’2)^(1\2)

так же скорость можно приставить в виде радиальной vr и трансвенсальной vϕ составляющей которые перпендикулярны друг другу. vr=r’er ; vϕ=rer’; er’=(dϕ\dt)eϕ=ϕ’eϕ=(угол между радиус вектором и осью x)(перпендикулярный к радиусу-вектору орт, направленный в сторону возрастания угла ϕ) vϕ=rϕ’eϕ. v=sqrt(vr2+ vϕ2).

среднее значение модуля скорости за время от t1 до t2

8. Ускорение.

Ускоре́ние (w) — производная скорости по времени, векторная величина, показывающая, на сколько изменяется вектор скорости точки (тела) при её (его) движении за единицу времени (то есть ускорение учитывает не только изменение величины скорости, но и её направления) . wx=x’’...

9. Угол поворота ϕ. Бесконечно малый угол поворота ϕ

Угол поворота - это физическая величина, характеризующая поворот тела вокруг неподвижной относительно тела плоскости, или поворот луча, исходящего из центра вращения тела, относительно другого луча, считающегося неподвижным.

В качестве примера приведем поворот тела вокруг некоторой оси на конечный угол ϕ. Такой поворот можно изобразить в виде отрезка длины ϕ, направленного по оси, вокруг которой осуществляется поворот, в сторону, связанную с направлением вращения правилом правого винта. Типо тут по хорошему должен быть пример, показывающий, что углы нельзя складывать по правилу параллелограма. Отсюда вытекает, что изображаемые направленными отрезками повороты на конечные углы не обладают свойствами векторов. (не подходит по определению вектора). Иначе обстоит дело для поворотов на очень маленькие углы Δϕ. Путь, проходимый любой точкой тела при очень малом повороте, можно считать прямолинейным. Поэтому два совершаемых последовательно малых поворота Δϕ1 и Δϕ2 обусловливают такое же перемещение Δr3=Δr1+Δr2 любой точки тела, как и поворот Δϕ3, получаемый из Δϕ1 и Δϕ2 сложением по правилу параллелограмма. =>малые повороты можно рассматривать как векторы(обозначаемые Δϕ или dϕ). направления вектора поворота связывается с направлением вращения тела. =>dϕ является не истинным вектором, а псевдовектором

10. Угловая скорость

Угловая скорость — векторная(псевдовектор) величина, характеризующая скорость вращения тела. . Угловая скорость ω направлена вдоль оси, вокруг которой вращается тело, в сторону, определяемую правилом правого винта и представляет собой псевдовектор. Модуль угловой скорости равен . Вращение с постоянной угловой скоростью н-ся равномерным ω=ϕ(конечный угол поворота)/t и показывает угол поворота тела за единицу времени.

Равномерное вращение можно характеризовать периодом обращения Т, под которым понимается время, за которое тело делает один оборот, т.е. поворачивается на 2π. Поскольку промежутку времени Δt=Т соответствует Δϕ=2π, то ω=2π/Т. откуда Т=2π/ω. Число оборотов в единицу времени υ=1/Т=ω/2π. ω=2πν. (тоже самое можно сделать и для неравномерного вращения взяв Т=1 оборот, если бы вращалось равномерно с данным мгновенным значением угловой скорости, ν=об/с при аналогичных условиях)

11. Угловое ускорение

Угловое ускорение - [псевдовекторная](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B2%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80) физическая величина, равная первой производной от псевдовектора [угловой скорости](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B3%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) по времени. Пусть за время Δt вектор ω получает приращение Δω. Изменение вектора угловой скорости со временем характеризуется величиной

12. Тангенциальное и нормальное ускорение

Ускорение можно представить в виде суммы нормального wn и тангенциального wτ ускорения. wn=v2\ρ=ω2r ; wτ=dv\dt=εr

w=sqrt(wτ2+ wn2)=sqrt(v ’2+(v2\ρ)2)

Степень искривления плоскости кривой характеризуется кривизной “С” где Δϕ-угол между касательными к кривой в точках, отстоящих друг от друга на Δs. Таким образом, кривизна определяет скорость поворота касательной при перемещении вдоль кривой.

Радиус кривизны ρ обратная С.

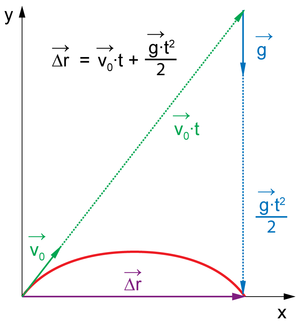
13. Связь между скоростью v и нормальным ускорением wn ( + wτ)

wn=v2\R. v=ωR. |wn|=ω2R. (доп фигня в векторном виде. . wn=-ω2R. Минус в этой формуле стоит потому что векторы . wn и R(перпендикуляр к оси вращения) имеют противоположные направления)

wτ=dv\dt.

14. Нахождение закона движения r(t) для равноускоренного движения

Равноускоренное движение — движение, при котором [ускорение](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) постоянно по модулю и направлению. Примером такого движения является движение тела, брошенного под углом \alpha  к горизонту в однородном поле силы тяжести — тело движется с [постоянным ускорением](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81%D0%B2%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BF%D0%B0%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F) a=g, направленным вертикально вниз.



15. Связь между v и ω

Пусть за малый промежуток времени тело повернулось на угол Δϕ. Точка находящаяся на расстоянии R от оси, проходит при этом путь Δs=RΔϕ. Линейная скорость точки равна

1.1.1 Математические дополнения

1.2 Законы Ньютона

Общие сведения

Свободное тело – тело, на которое не действуют другие тела или их действие взаимно компенсированы

Гелиоцентрическая система отсчета – это система отсчета, центр которой совмещен с солнцем, а оси направлены на соответствующим образом выбранные звезды, являющаяся с очень высокой степенью точности инерциальной.

Инертность – свойство тела, “противиться” попыткам изменить его состояния движения.

Замкнутая система тел – это система тел, взаимодействующих только между собой и не взаимодействующих с другими телами

Упругие силы и силы трения являются по своей природе электромагнитными т к определяются характером взаимодействия между молекулами вещества

Упругая деформация – если после прекращения действия сил тело принимает первоначальные размеры.

1. Первый закон Ньютона

1 З.Н. – существуют [системы отсчёта](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%BE%D1%82%D1%81%D1%87%D1%91%D1%82%D0%B0), называемые [инерциальными](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D0%B5%D1%80%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%BE%D1%82%D1%81%D1%87%D1%91%D1%82%D0%B0), в котором свободное тело движется равномерно, прямолинейно или покоится

2. Второй закон Ньютона

2 З.Н. – В инерциальной системе отсчёта ускорение, которое получает материальная точка с постоянной массой, прямо пропорционально равнодействующей всех приложенных к ней сил и обратно пропорционально её массе. dP\dt=ma=F

3. Третий закон Ньютона

3 З.Н. – силы с которыми действуют друг на друга взаимодействующие тела, равны по величине и противоположны по направлению. F12=-F21

4. Способ определения массы по изменению скорости двух тел

отсюда вытекает, что при отсутствии внешних сил dp/dt=0. Следовательно, для замкнутой системы р постоянен. Это утверждение составляет содержание *закона сохранения импульса, который* формулируется: *импульс замкнутой системы материальных точек остается постоянным.*

5. Основные фундаментальные взаимодействия в природе

1) Гравитационные Здесь G — [гравитационная постоянная](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F), равная примерно 6,67×10−11 м³/(кг·с²)

Гравитация — универсальное [фундаментальное взаимодействие](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%83%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D0%B7%D0%B0%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8%D1%8F) между всеми материальными телами

2) Электромагнитное

- в статике (Закон Кулона)  k-(коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора единиц входящих в формулу величин) размерный коэффициент, значение которого зависит от используемой [системы единиц](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%8B_%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F), в [СГС](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%93%D0%A1) он равен 1, в [СИ](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%98):

где ε0 — [электрическая постоянная](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F).

Электростатика рассматривает взаимодействие неподвижных заряженных тел.

- в общем случае Е-электрическое поле. В-индукция магнитного поля v-скорость М.Т. или F=qυBsinα

Короткодействующие 3)4)

3) Сильное взаимодействие – ядра атома

4) слабое взаимодействие –бета распад ядра

6. Силы: упругости, трения, тяжести, гравитационного притяжения.

Упругие силы. Для пружины FУПР=-k(коэф. жесткости)X

Силы трения. FТР=μN. μ-к. тр. скольжения/покоя. N=mgcos0 Максимальная сила трения покоя, а также сила трения скольжения не зависят от площади соприкосновения трущихся тел и оказываются приблизительно пропорциональными величине силы нормального давления, прижимающей трущейся поверхности друг к другу

Сила тяжести. FТ=mg

Сила гравитационного притяжения. по 2 з.н f=ma; G — [гравитационная постоянная](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F), равная примерно 6,67×10−11 м³/(кг·с²)

1.3 Законы сохранения

Общие сведения

Однородность пространства – одинаковость свойств пространства во всех точках

Изотропия пространства – одинаковость свойств пространства по всем направлениям

Полная механическая энергия системы невзаимодействующих частиц, на которые действуют только консервативные силы, остается постоянной

Диссипация энергии (рассеяние) — переход части энергии упорядоченных процессов ([кинетической энергии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F) движущегося тела, энергии [электрического тока](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%82%D0%BE%D0%BA) и т. п.) в энергию неупорядоченных процессов, в конечном счёте — в теплоту.(из за трения трения...)

Если частица при своем движении не может удалиться на бесконечность , движение называют финитным. Если же частица может уходить сколь угодно далеко, движение называют инфинитным

Плечо импульса относительно точки О М=rp sina=lp.Где l=r sina =длина перпендикуляра опущенного из точки О на прямую вдоль которой направлен импульс

1. Закон сохранения импульса

Импульс (количество движения) — [векторная](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B8%D0%BD%D0%B0) [физическая величина](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B8%D0%BD%D0%B0), являющаяся мерой [механического движения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) тела. Рассмотрим систему N взаимодействующих частиц. Пусть, кроме внутренних cил Fik на i-ую частицу действуют внешние силы, результирующая которых равна Fi . Согласно 2 зн – скорость изменения импульса тела равна действующей на тело силе F. dp/dt=F. Напишем его для всех N частиц Сложив все N уравнений и учтя что F12+F21=0 получаем Сумма импульсов частиц, образующих механическую силу, н-ся *импульсом системы*. Запишем это соотношение в следующем виде отсюда вытекает, что при отсутствии внешних сил dp/dt=0. Следовательно, для замкнутой системы р постоянен. Это утверждение составляет содержание *закона сохранения импульса, который* формулируется: *импульс замкнутой системы материальных точек остается постоянным.*

2. Закон сохранения момента импульса

(доп. Силы взаимодействия между частицами действуют в противоположные стороны вдоль одной и той же прямой. Их моменты относительно произвольной точки О равны по величина и противоположны по направлению. Поэтому моменты внутренних сил попарно уравновешивают друг друга, и сумма моментов всех внутренних сил для любой чатсицы=0 ). ЗСМИ для N частиц. Пусть, кроме внутренних cил Fik на i-ую частицу действуют внешние силы, результирующая которых равна Fi. Напишем уравнение движения частиц Умножив уравнение на соответствующий радиус-вектор, получим Сложив вместе все N уравнений: Первая сумма в правой части представляет собой сумму моментов внутренних сил которая=0 см. доп.. Вторая сумма есть сумма моментов внешних сил. И приходим к уравнению . При отсутствии внешних сил dM\dt=0. Следовательно для замкнутой системы М постоянен. Это и есть ЗСМИ который формулируется: момент импульса замкнутой системы материальных точек остается постоянным.

3. Закон сохранения энергии

(В случае когда работа сил поля не зависит от пути а лишь от нач и кон положения частицы) Рассмотрим систему в которой действуют только потенциальные силы А12=U1 – U2 .Из теоремы о приращении кинетической энергии A12=T2-T1 получаем U1 – U2 = T2-T1 откуда T1 + U2 = T2 + U2. Получаем E=U+T для механической системы в которой действует только пот. силы. Полная энергия остается постоянной

4. Теорема об изменении (о приращении) кинетической энергии

Уравнение движения частицы: mv’=F(результирующая сил, действующая на частицу). умножив на перемещение частицы ds=v dt, получим mvv’ dt=F ds Произведение v’dt представляет собой приращение скорости частицы dv за время dt. Соответственно mvv’ dt=mv dv=m d(v^2\2)=d(mv^2\2). Подставляя это выше d(mv^2\2)=F ds. (доп. 1. Если система замкнута F=0, то d(mv^2\2)=0. а сама величина Е=mv^2\2 н-ся кин. энерг. 2. Если на частицу действует сила F, кинетическая энергия не остается постоянной. В этом случае согласно d(mv^2\2)=F ds приращение кин энергии частицы за время dt равно скалярному произведению F ds(ds – перемещение частицы за время dt) dA=F ds –работа)

Если это выражение проинтегрировать вдоль траектории от точки 1 до 2 . Левая часть представляет собой разность значений кинетической энергии в точках 2 и 1 (приращ. кин. эн.) . Величина работа силы F на пути 1-2. Итак, *работа результирующих всех сил, действующих на частицу, идет на приращение кинетической энергии частицы(ТЕОРЕМА)*: A12=T2-T1

5. Импульс материальной точки p

Импульс (количество движения) — [векторная](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B8%D0%BD%D0%B0) [физическая величина](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B8%D0%BD%D0%B0), являющаяся мерой [механического движения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) тела. p=mv (для материальной точки и протяженного тела движущегося поступательно) В случае протяженного тела, движущегося непоступательно, нужно представить тело как совокупность материальных точек с массами Δmi , определить импульсы Δmivi этих точек и затем сложить эти импульсы векторно

6. Импульс системы p Импульс (количество движения) — [векторная](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B8%D0%BD%D0%B0) [физическая величина](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B8%D0%BD%D0%B0), являющаяся мерой [механического движения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) тела. Рассмотрим систему N взаимодействующих частиц. Пусть, кроме внутренних cил FIK на i-ую частицу действуют внешние силы, результирующая которых равна Fi . Согласно 2 зн – скорость изменения импульса тела равна действующей на тело силе F. dp/dt=F. Напишем его для всех N частиц Сложив все N уравнений и учтя что F12+F21=0 получаем Сумма импульсов частиц, образующих механическую силу, н-ся *импульсом системы*. Обозначив этот импульс символом р получаем, что из которого следует, что импульс является аддитивной величиной.

7. Элементарная работа производимая над телом δА

Уравнение движения частицы: mv’=F(результирующая сил, действующая на частицу). умножив на перемещение частицы ds=v dt, получим mvv’ dt=F ds Произведение v’dt представляет собой приращение скорости частицы dv за время dt. Соответственно mvv’ dt=mv dv=m d(v^2\2)=d(mv^2\2). Подставляя это выше d(mv^2\2)=F ds. Если на частицу действует сила F, кинетическая энергия не остается постоянной. В этом случае согласно d(mv^2\2)=F ds приращение кин энергии частицы за время dt равно скалярному произведению F ds(ds – перемещение частицы за время dt) dA=F ds –работа) Если рассмотреть эту величину более подробно: dA=F ds=Fcosα ds (α- угол между направлением силы и направлением перемещения точки приложения силы) . представим график Fs(направление перемещения) от S (типо как V от t) и взяв маленькую ds, то из графика будет видно, что ЭЛЕМЕНТАРНАЯ РАБОТА dA=Fs ds. (работа пружины А=kx2/2) Элементарное перемещение v можно представить как ds=v dt откуда dA=FV dt тогда работа за время t1 t2 если F=const и постоянное направление, то его можно вынести за знак интеграла. измеряется в джоулях. мощность ватт (вт) или работа

8. Консервативные силы

Если частица в каждой точке пространства подвержена воздействию других тел, то говорят, что эта частица находится в поле сил.

Центральное поле – характерно тем, что направление силы, действующей на частицу в любой точке пространства, проходит через неподвижный центр (заряд q), а величина силы зависит только от расстояния до этого центра: F=F(r)

Однородное поле – если во всех точках поля силы, действующие на частицу, одинаковы по величине и направлению (F=const)

Консервативные силы – это [силы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D0%BB%D0%B0), [работа](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B0) которых не зависит от вида [траектории](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F), точки приложения этих сил и закона их движения, и определяется только начальным и конечным положением этой точки. или — это такие силы, работа которых по любой [замкнутой траектории](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BC%D0%BA%D0%BD%D1%83%D1%82%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F) равна 0. Консервативными является – заряженная частица е в поле р. сила тяжести. не конс – сила трения.

Силы действующие на частицу в центральном поле, тоже консервативны. .

Консервативные силы – частный случай потенциального силового поля. Поле сил н-ся потенциальным, если его можно описать с помощью функции П(x,y,z,t), градиент которой определяет силу в каждой точке поля F=∇П. Функция П н-ся потенциальной функцией или потенциалом. В случае, когда потенциал не зависит явно от времени т.е. П=П(x,y,z), потенциальное поле оказывается стационарным, а его силы – консервативными. В этом случае П(x,y,z)=-U(x,y,z). Где U(x,y,z) – потенциальная энергия частицы. (Для нестационарного силового поля, описываемого потенциалом П(x,y,z,t), отождествлять потенциальные и консервативные силы нельзя)

9-10. Момент импульса (материальной точки)\(системы) (относительно точки и оси)

Рассмотрим систему, состоящую из двух взаимодействующих частиц, на которые действуют также внешние силы. Уравнения движения частиц имеют вид m1v1’=F12+F1 и m2v2’=F21+F2 Векторно умножив уравнения слева и справа на r1 и r2 соответственно m1[r1,v1’]=[r1,F12]+[r1,F1] и m2[r2,v2’]=[r2,F21]+[r2,F2] (доп. [rv’] эквивалентно d[rv]\dt откуда d[rv]\dt=[rv’]+[r’v]=[rv’] так как [r’v]= [vv]=0) произведя такую замену учтя f12=-f21 получаем и (доп. масса постоянная по этому ее можно занести под знак производной ) Приняв это во внимание и сложив эти два уравнения получим В силу коллинеарности r1-r2 и F21 получаем

Если система замкнута, то правая часть =0 следовательно эта аддитативная величина н-ся *момент импульса относительно точки О.* Для отдельной точки(псевдовектор) М=[r,p]=[r,mv]. Проекция на ось z н-ся *моментом импульса частицы относительно* этой оси МZ=[rv]ПР.Z

*Момент импульса системы относительно* т. О – векторная сумма моментов импульсов частиц входящих в систему Аналогично *момент импульса системы относительно оси* z

11-12. Момент сил относительно (точки)\(оси) N (доп. F|| FK Fτ в проекции=0)

Момент силы N характеризует способность силы вращать тело вокруг точки, относительно которой он берется. N=[rF] – момент силы F относительно точки О, из которой проводится радиус-вектор r точки приложения силы. (доп. модуль момента силы –N=rFsina=lF где l=rsina – плечо силы относительно точки О (длина перпендикуляра опущенного из точки О на прямую вдоль которой действует сила)).

Момент силы относительно оси z характеризует способность силы вращать тело вокруг этой оси. Проекция вектора N на некоторую ось z, проходящую через точку О, относительно которой определен N, н-ся *моментом сил относительно* этой оси NZ=[rF]ПР.Z

13,14,15. Основной закон динамики вращательного движения. Момент инерции относительно оси\точки

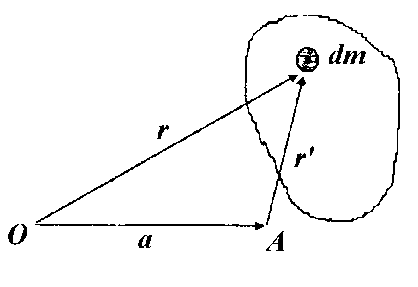
Возьмем точку О на вращающемся теле. Момент импульса тела Mi=[ ri, mivi]=mi[ri,vi] Векторы взаимно перпендикулярны по этому получаем модуль вектора М Проекция вектора на ось z Просуммировав это выражение где *Моментом инерции тела относительно оси* называется физическая скалярная величина, равная сумме произведений масс материальных точек (на которые можно разбить все тело) на квадраты расстояний каждой из них до оси вращения. *Моментом инерции тела относительно точки О* называется скалярная величина, равная сумме произведений массы каждой материальной точки данного тела на квадрат ее расстояния до точки О. Приняв во внимание формулу выше, можно получить Основной закон динамики вращательного движения

16. Теорема Гюйгенса-Штейнера

Теорема: момент инерции I относительно произвольной оси равен сумме момента инерции IC относительно оси, параллельной данной и проходящей через центр масс тела, и произведения массы тела m на квадрат расcтояния ‘а’ между осями

Вывод (пояснения. на рисунке надо поменять А на С и поменять местами r и r’. Рассмотрим ось С, проходящую через центр масс тела, и параллельную ей ось О, отстоящую от нее от оси С на расстояние а (обе оси перпендикулярны плоскости чертежа). Обозначим через r, перпендикулярный к оси С вектор, проведенный к оси к элементарной массе Δm, а через r’ – аналогичный вектор, проведенный от оси О. Введем так же перпендикулярный к осям вектор а, соединяющий соответствующие точки осей О и С)

Между перечисленными векторами имеется соотношение C учетом последнего соотношения момент инерции тела относительно оси О можно представить в виде Последний член в этом выражении есть момент инерции тела относительно оси С. Обозначим его IC. Сумма элементов масс дает массу тела m. Сумма равна произведению массы тела на вектор R, проведенный от оси С к центру масс тела. Поскольку центр инерции лежит на оси С, этот вектор R, а следовательно, и второй член =0. получаем



17. Потенциальная энергия

Потенциальная энергия U(r) — [скалярная](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B8%D0%BD%D0%B0) [физическая величина](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B8%D0%BD%D0%B0), представляющая собой часть полной [механической энергии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F) системы, находящейся в [поле](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%B5_(%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0)) [консервативных сил](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%81%D0%B8%D0%BB%D1%8B). U(x,y,z)

В случае когда работа сил поля не зависит от пути а лишь от нач и кон положения частицы. Сопоставив значение функции U(x,y,z) такой, что разность значений в 1 и 2 будет равна работе сил при переходе из 1 в 2 А12=U1 – U2 . Согласно (*работа результирующих всех сил, действующих на частицу, идет на приращение кинетической энергии частицы(ТЕОРЕМА)*: A12=T2-T1) получаем U1 – U2 = T2-T1 откуда T1 + U2 = T2 + U2. Получаем E=U+T для частицы находящейся в поле консервативных сил постоянная. U(x,y,z) – потенциальная энергия частицы во внешнем поле сил. Е – полная механическая энергия.

18. Потенциальная энергия в поле силы тяжести, гравитационном поле, поле силы упругости.

Гравитационная сила или сила тяготения – это сила, с которой две материальные точки притягивают друг друга, пропорциональная массам этих точек и обратно пропорциональная квадрату расстояния между ними , где G– гравитационная постоянная. Элементарная работа на пути dr будет dA=FV dt . Полная работа . Величина – потенциальная энергия тела в поле всемирного тяготения

В поле сил тяжести. 1)работы, совершаемая над частицей силами поля А12=mg(h1 – h2) 2) А12=U1 – U2. Сравнив оба выражения для работы, получаем что потенциальная энергия в поле сил тяжести U=mgh. h-отсчитывается от произвольного уровня.

Cилы упругости. Работа малых участков δA=FупрdS δA=-kxdx Полная работа Таким образом, для потенциальной энергии тела в поле силы упругости окончательно имеем

19. Кинетическая энергия поступательного движения

Кинетической энергией тела называется энергия его поступательного движения.

Уравнение движения частицы: mv’=F(результирующая сил, действующая на частицу). умножив на перемещение частицы ds=v dt, получим mvv’ dt=F ds Произведение v’dt представляет собой приращение скорости частицы dv за время dt. Соответственно mvv’ dt=mv dv=m d(v^2\2)=d(mv^2\2). Подставляя это выше d(mv^2\2)=F ds Если система замкнута, т.е. F=0, то d(mv^2\2)=0, а сама величина E=mv^2\2 остается постоянной. Эта величина н-ся кин эн частицы

20. Кинетическая энергия тела при вращении вокруг неподвижной оси

Кинетической энергией тела называется энергия его поступательного движения.

Рассмотрим вращение тела вокруг неподвижной оси, которую мы назовем осью z. Линейная скорость элементарной массы mi равна vi=ωRi , где Ri – расстояние массы mi от оси z. Следовательно, для кин энергии i-й элементарной массы получаем Кин энергия тела слагается из кинетической энергии его частей Сумма в правой части этого соотношения представляет собой момент инерции тела I относительно оси вращения. Таким образом, кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси, равна

21. Связь между силой F и потенциальной энергией U в дифференциальной и интегральной формах.

Зная вид функции U(x,y,z) можно найти силу, действующую на частицу в каждой точке поля. Рассмотрим перемещение частицы параллельно очи x на dx. Такое перемещение сопровождается совершением над частицей работы, равной dA=F ds= FXdx (компоненты перемещения dy и dz). Согласно А12=U1-U2 та же работа может быть представлена как убыль потенциальной энергии: dA= -dU Приравняв оба выражения для работы получаем FXdx= -dU отсюда FX= – dU\dx (y=const z=const) Выражение стоящее справа, представляет собой производную функции U(x,y,z). Компонента силы взятой по оси х равна взятой с обратным знаком частной производной потенциальной энергии по переменной х: для y z аналогично. таким образом получаем Зная компоненты можно найти вектор силы (доп. Вектор с компонентами ∂ϕ\∂x, ∂ϕ\∂y, ∂ϕ\∂z, где ϕ – скалярная функция координат x,y,z н-ся градиент ϕ. Из определения градиента следует, что ) Сопоставляя эти уравнения получаем, что консервативная сила равна градиенту потенциальной энергии, взятому с обратным знаком.

в интегральной форме

1.4 Колебания

Общие сведения

Свободными или собственными называются такие колебания, которые происходят в системе, предоставленной самой себе после того, как ей был сообщен толчок либо она была выведена из положения равновесия.

Вынужденными называются такие колебания, в процессе которых колеблющаяся система подвергается воздействию внешней периодически изменяющейся силы.

Гармонические колебания — колебания, при которых физическая величина изменяется с течением времени по гармоническому ([синусоидальному](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BD%D1%83%D1%81%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D0%B0), косинусоидальному) закону.

КВАЗИУПРУГАЯ СИЛА - направленная к центру О сила. модуль к-рой пропорционален расстоянию r от центра О до точки приложения силы (F=-cr), где с - постоянный коэф., численно равный силе, действующей на единице расстояния. К.

Важно !

(стоит подробно разобраться с комплексными числами и линейными дифференциальными уравнениями !! расписывать все здесь очень сложно и долго)

Самое важное

(Линейные однородные дифференциальные уравнения с постоянными коэффициентами решают с помощью подстановки где λ – постоянная величина. Дифференцирование функции дает, что Подстановка этих выражений в линейное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами (см. ниже) приводит после сокращения на отличный от нуля множитель к алгебраическому уравнению это уравнение н-ся *характеристическим*. Корни этого уравнения представляют собой те значения λ, при которых функция удовлетворяет неоднородному линейному ДУ. Если корни характеристического уравнения не совпадают(), функции и будут линейно независимыми. Следовательно, общее решение однородного линейного уравнения можно написать в виде )

Комплексное число можно представить в тригонометрическом виде . Так же есть формула и сложив их получим Учтя эти формулы комплексное число можно записать в показательной форме и сопряженное ей с помощью этих формул удобно складывать, умножать, делить комплексные числа.

Сопряжёнными называются два числа, представляющие собой сумму и разность одних и тех же чисел.   
Например: 2х-5 и 2х+5 или (корень из 2)+1 и (корень из 2) - 1

а – амплитуда, – фаза колебания, α – значение фазы в момент времени t=0

Математический маятник — [осциллятор](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BE%D1%81%D1%86%D0%B8%D0%BB%D0%BB%D1%8F%D1%82%D0%BE%D1%80), представляющий собой [механическую систему](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0#.D0.BC.D0.B5.D1.85.D0.B0.D0.BD.D0.B8.D1.87.D0.B5.D1.81.D0.BA.D0.B0.D1.8F_.D1.81.D0.B8.D1.81.D1.82.D0.B5.D0.BC.D0.B0), состоящую из [материальной точки](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B0), находящейся на невесомой нерастяжимой нити или на невесомом [стержне](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%80%D1%83%D1%81_(%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0)) в однородном поле сил [тяготения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F)

Физический маятник — осциллятор, представляющий собой твёрдое тело, совершающее колебания в поле каких-либо сил относительно точки, не являющейся центром масс этого тела, или неподвижной оси, перпендикулярной направлению действия сил и не проходящей через центр масс этого тела. I – момент инерции. L – расстояние между точкой подвеса О и центром масс С маятника

1.Дифференциальное уравнение гармонических колебания

Уравнение второго закона Ньютона для шарика имеет вид Введя обозначение Преобразовав уравнение выше получаем *это дифференциальное уравнение в отсутствии сил трения*. – сила сопротивления. где r – постоянная, называемая коэффициентом сопротивления. Знак минус обусловлен тем, что сила и скорость V имеют противоположные направления=> их проекция на ось х имеют разные знаки. Уравнение второго закона Ньютона при наличии сил сопротивления имеет вид применив обозначения перепишем уравнение выше *это дифференциальное уравнение описывает затухающие колебания системы*. Пусть КС система подвергается действию внешней силы, изменяющейся со временем по гармоническому закону В этом случае уравнение второго закона Ньютона имеет вид Введя все те же обозначения получим где Это уравнение описывает вынужденные колебания. Уравнение типа н-ся линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами. Где . Где a и b константы и

2. Полная энергия гармонических колебаний как функция скорости и координаты.

Продифференцировав уравнение по времени, получим (доп. скорость опережает смещение по фазе на π/2). Еще раз продифференцировав получим (доп. ускорение и смещение находятся в противофазе)

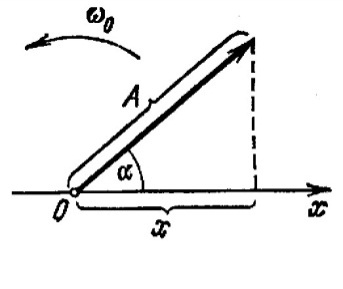
Квазиупругая сила является консервативной. Поэтому полная энергия гармонического колебания должна оставаться постоянной. эти два выражения равны так как . Выясним, как изменяется со временем кинетическая и потенциальная энергия гармонических колебаний и сложив эти два уравнения и учтя получим

3. Решение дифференциального уравнения гармонических колебаний.

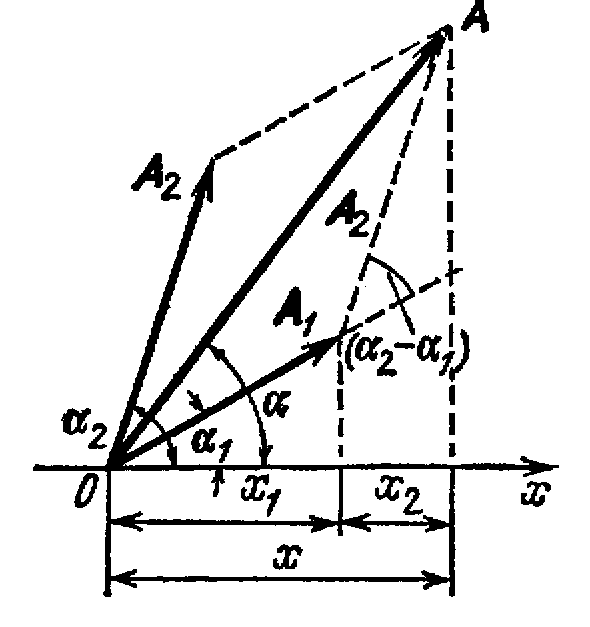
Рассмотрим колебания, которые описываются уравнением где приведем это уравнение к характеристическому, подставив выражение и получим Это уравнение имеет мнимые корни Согласно () общее решение уравнения колебаний имеет вид где С1 и С2 – комплексные постоянные. Описывающая колебание функции x(t) должна быть вещественной. Для этого коэффициенты С1 и С2 нужно выбрать так, что бы выполнялось условие (z=z\* комплексное число=комплексно сопряженным этому числу. z=x+iy и z\*=x-iy (при этом условии число z оказывается чисто вещественным. Мнимая часть z есть нуль)) получаем (Мы прировняли наше выражение к его сопряженному) Это соотношение будет выполнено, если С1=С2\* (в этом случае С2=С1\*) Представим удовлетворяющие такому условию коэффициенты С1 и С2 в показательной форме обозначив их модуль через (а\2), а аргумент буквой α: Подстановка этих выражений в общее решение уравнения колебаний дает Таким образом общее решение уравнения колебания имеет вид где а и α – произвольные постоянные.

4. Векторная диаграмма гармонических колебаний

Из сказанного ниже следует, что Гармоническое колебание может быть задано с помощью вектора, длина которого равна амплитуде колебания, а направление вектора образует с осью х угол, равный начальной фазе колебания. С помощью ВД удобно складывать несколько векторов одинакового направления.



Проекция конца вектора на ось будет перемещаться по закону . Рассмотрев сложение двух гармонических колебаний одинакового направления и частоты. Смещение х колеблющегося тела (сложив по правилу параллелограмма) будет сумой смещения х1 и х2

Проекция векторов на ось х равна сумме проекций слагаемых векторов х=х1+х2. Вектор А представляет собой результирующее колебание. Этот вектор вращается с той же угловой скоростью. Из построения видно, что

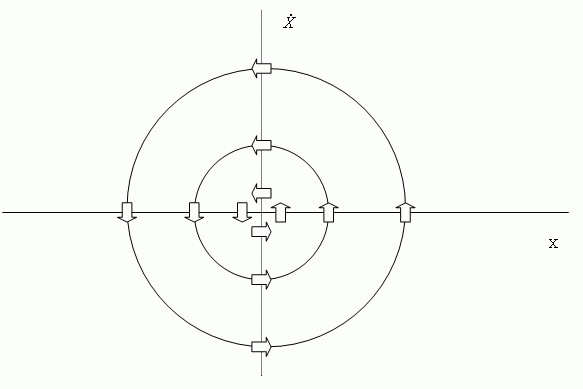
Представление гармонических колебаний посредством векторов дает возможность свести сложение нескольких колебаний к операции сложения векторов. Анализ первой ф-лы если , амплитуда результирующих колебаний равна их сумме. Если т. е. оба колебания находятся в противофазе, то амплитуда результирующего колебания равна Если частоты колебаний х1 х2 не одинаковы, => у нас не гармоническое колебание

5. Представление гармонических колебаний в комплексном виде

Рассмотрим колебания, которые описываются уравнением где приведем это уравнение к характеристическому, подставив выражение и получим Это уравнение имеет мнимые корни Согласно () общее решение уравнения колебаний имеет вид (это и есть комплексный вид) где С1 и С2 – комплексные постоянные.

7. Фазовая траектория системы при гармонических колебаниях.

(Достаточно одного круга)



8. Решение дифференциального уравнения колебаний с затуханием

Затухающие уравнения описываются уравнением где

(r – коэффициент сопротивления, т.е. коэффициент пропорциональности между х’ и силой сопротивления. к – коэффициент квазиупругой силы) приведем это уравнение к характеристическому, подставив выражение и получим Корни этого уравнения равны При не слишком большом затухании (при ) подкоренное выражение будет отрицательным. Подставим его в виде , где ω – вещественная величина, равная Тогда корни характеристического уравнения запишутся следующим образом: Согласно () общее решение уравнения колебаний имеет вид Таким образом, при не слишком сильном затухании общее решение затухающего колебания имеет вид где а и α – произвольные постоянные. ω – величина определяемая формулой

9-10. Логарифмический декремент затухания. Добротность колебательной системы.

( доп. Скорость затухания колебаний определяется величиной которую называют коэффициентом затухания. Найдем время τ, за которое амплитуда уменьшается в е раз. По определению , откуда . (доп. Следовательно, коэффициент затухания обратен по величине тому промежутку времени, за который амплитуда уменьшается в е раз.) Период затухающих колебаний равен . )

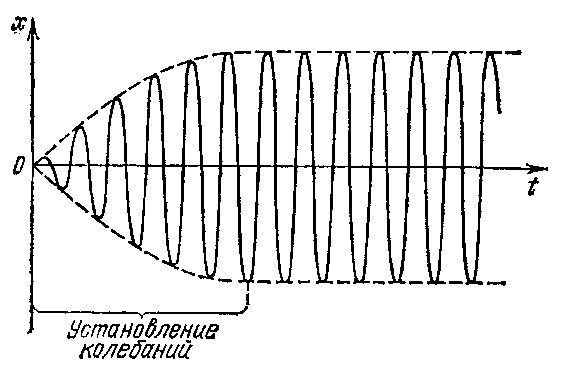
Отношение значений амплитуд, соответствующих моментам времени, отличающимся на период, равно Это отношение называют декрементом затухания, а его логарифмическим декрементом затухания: Выразив отсюда β закон убывания амплитуды (доп. из ) со временем можно записать в виде (доп. за время t, за которое амплитуда уменьшается в е раз система успевает совершить колебаний (доп. Из условия получается, что . => логарифмический декремент обратен по величине числу колебаний, совершаемых за время, за которое амплитуда уменьшается в е раз ))

Для характеристики колебательной системы часто употребляется также величина называемая добротностью колебательной системы. Как видно из ее определения, добротность пропорциональна числу колебаний , совершаемых системой за время t, за которое амплитуда уменьшается в е раз.

12. Решение дифференциального уравнения для вынужденных колебаний в установившемся режиме (метод комплексных амплитуд)

( доп. В случае, когда вынуждающая сила изменяется по гармоническому закону, колебания описываются дифференциальным уравнением где – коэффициент затухания. – собственная циклическая частота системы, (F0 – амплитуда вынуждающей силы) ω – частота силы. Это уравнение является неоднородным. Согласно теореме (общее решение неоднородного уравнения равно сумме общего решения соответствующего однородного уравнения и частного решения неоднородного уравнения ). Общее решение имеет вид где а и α – произвольные постоянные. ω – величина определяемая формулой Остается найти частное решение (не содержащее произвольных постоянных) )

Прибавим к функции, стоящей в правой части уравнения мнимую функцию после чего представим правую часть в виде (по формуле ) и мы получим Ищем частное уравнение в виде где – некоторое комплексное число. Продифференцировав эту функцию по t получим Подстановка этих выражений в формулу выше и сократив на получим Отсюда Мы нашли значение при котором функция удовлетворяет . Представим комплексное число, стоящее в знаменателе, в показательной форме Согласно формулам ( ) получаем замена в уравнении ‘а=...’ знаменателя дает Подстановка этого выражения в получим частное решение частное решение равно взяв вещественную часть этой функции получим частное решение уравнения равное Подстановка и и приводит к окончательному виду

(доп. общее решение играет заметную роль только в начальной стадии процесса, при установлении колебаний. С течением времени из за затухающего коэффициента слагаемым можно пренебречь сохраняя лишь частное слагаемое.) 

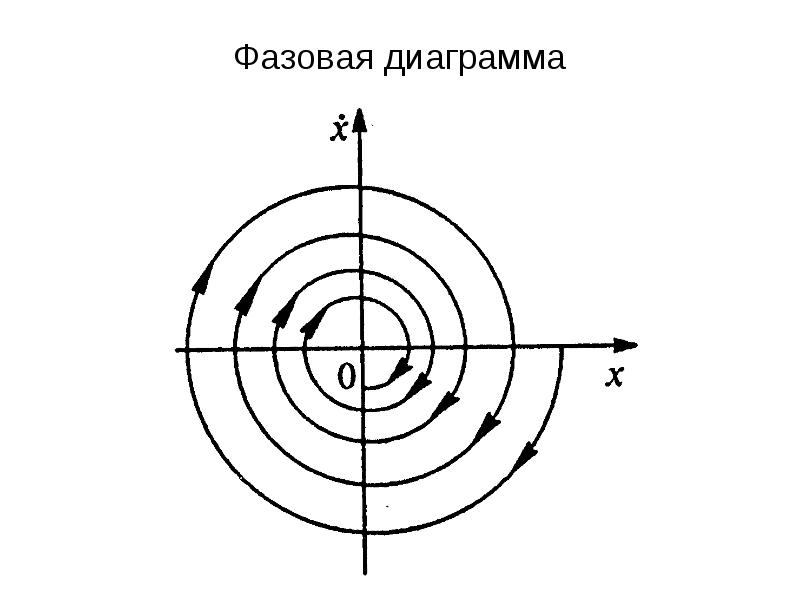
14. Связь периода T, частоты ν, и циклической частоты ω для гармонических колебаний.

Период – время одного полного колебания сек

Число колебаний в единицу времени – частота Гц

Круговая или циклическая частота – число колебаний за 2π секунд

15. Фазовая траектория системы при колебаниях с затуханием.



16. Зависимость полной энергии от времени для затухающих колебаний в случае

Подстановка функции решения ДУ для затухающих колебаний и ее производной в выражение для полной энергии колеблющейся системы приводит после преобразования к формуле где При малом затухании () слагаемых, содержащих синус, в формуле выше можно пренебречь и считать, что энергия изменяется по закону Где – значение энергии в начальный момент

1.5 Волны

1.6 Специальная теория относительности

Общие сведения

Уравнения, выражающие законы природы, инварианты по отношению к преобразованиям координат и времени от одной инерциальной системы отсчета к другой

Скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от движения источников и приемников света

Инвариантная величина – величина имеющая одинаковое числовое значение во всех инерциальных системах отсчета

1. Лоренцово сокращение длины

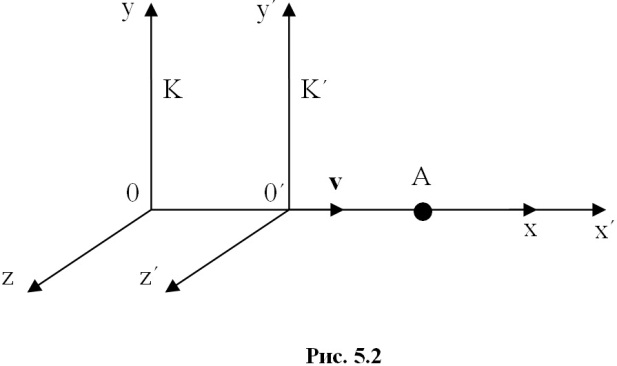
(доп. Рассмотрим стержень, расположенный вдоль оси х’ и покоящийся относительно системы отсчета K’ . Длина его в этой системе равна где x1’ и x2’ не изменяющиеся со временем t’координаты концов стержня. Относительно системы К стержень движется со скоростью v=v0. Для определения его длины в этой системе нужно отметить координаты концов стержня х1 х2 в один и тот же момент времени t1=t2=b. Их разность l=x2-x1 даст длину стержня, измеренную в системе К.)

Используя формулы преобразования Лоренца получаем и откуда Воспользовавшись обозначениями L и L0, а также заменив относительную скорость систем отсчета V0 равной ей скоростью V стержня относительно системы K придем к Длина стержня L измеренная в системе, относительно которой он движется, оказывается меньше длины L0, измеренной в системе, относительно которой стержень покоится. У движущихся тел размеры их в направления сокращаются тем больше, тем больше скорость

2. Замедление времени.

Время, отсчитанное по часам, движущимся вместе с телом называется собственным временем и обозначается буквой τ и рассчитывается по формуле Из формулы видно, что собственное время всегда меньше, чем время, отсчитанное по часам, движущимся относительно тела

---------------------------------------------------------------------------------------------------------Преобразования Лоренца для координат и времени

 Начало координат в системе К х=0 в системе К’ х’=-v0t’. Следовательно, выражение (х’+v0t’) должно обращаться в нуль одновременно с координатой х. Из этого получаем (1) где γ – некоторая константа. Аналогично начало координат О’ системы К’ имеет координату х’=0 в системе К’ и x=v0t. отсюда следует . Из равноправия систем К и К’ следует что γ одинакова в обоих случаях. Для поиска γ делаем. Начнем отсчет времени когда начало координат совпадают. В момент t=t’=0 по х и х’ посылают световой сигнал, который производит вспышку света на экране, расположенной в точке с координатой х в системе К и х’ в К’. Причем x=сt, x’=ct’. Подставив эти значения в 1 и 2 получаем и Перемножив оба соотношения получим отсюда Подставив его в (1) . Исключим из (1) и (2) координату х и разрешим получившееся соотношение относительно t. Получим

подставив γ получим а так же y=y’ и z=z’ все ! (доп замена β=v0\c)

-------------------------------------------------------------------------------------------------------------

-------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Релятивистское преобразование скоростей

В системе К для времени t положение точки определяется для y z.. В системе К’ для времени t’ положение точки определяется для y z.. Из формул преобразований Лоренца имеем dy=dy’ dz=dz’ Разделив первые три равенства на четвертое получим формулы преобразования скоростей при переходе от одной системы отсчета к другой (доп. если тело движется параллельно оси х )

-------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3-4. Релятивистская масса. Релятивистский импульс.

Дофига слов в выводе импульса, поэтому я его опущу. иначе можно записать как где

5-6. Релятивистская полная энергия. Релятивистская кинетическая энергия.

Второй закон Ньютона гласит, что производная импульса частицы по времени равна результирующей силе действующей на частицу (доп. где ) Умножим наше выражение на перемещение частицы ds=v dt получим Правая часть этого соотношения дает dA совершаемое за время dt. Так как результирующая всех сил идет на приращение кинетической энергии частицы, то левая часть есть приращение кинетической энергии за время dt. Получаем . Преобразуем полученное выражение учтя v dv=d(v^2\2) получим Проиниегрировав По смыслу кин эн она должна обращаться в 0 при v=0. Имеем (2). Что бы получить полную энергию надо к кин добавить (3)Таким образом полн эн (1) (доп. Энергия по своему смыслу должна быть сохраняющейся величиной. Соответствующее рассмотрение показывает что при столкновениях частиц сохраняется сумма выражений вида (1), в то время как сумма выражений (2) оказывается несхраняющейся. Невозможно удовлетворить требованию сохранения энергии во всех инерциальных системах отсчета, если не учитывать энергию покоя (3) в составе полной энергии)

1.7 Термодинамика и статистическая физика

Общие сведения

Броуновское движение — беспорядочное движение микроскопических видимых взвешенных в жидкости или газе частиц твердого вещества, вызываемое тепловым движением частиц жидкости или газа.

Атомной массой () химического элемента называется отношение массы атома этого элемента к 1\12 массы атома (так обозначается изотоп углерода с массовым числом 12)

Молекулярной массой () вещества называется отношение массы молекулы этого элемента к 1\12 массы атома

Единица массы равная 1\12 массы атома называется атомной единицей массы (а.е.м.). Обозначим эту единицу выраженную в килограммах, через . Тогда масса атома выраженная в килограммах, будет равна , а масса молекул

Количество вещества, в котором содержится число частиц, равное числу атомов в 0,012 кг изотопа углерода называется молем

Число частиц, содержащихся в моле вещества, называется числом Авогадро

Массу моля называют молярной массой M.

Масса любого атома равна 1,66\*10-27 \* кг. Масса любой молекулы равна 1,66\*10-27 \*

Ангстрем (А с точкой) называется внесистемная единица длины, равная 10-10 м.

Величины(p,v,t...), характеризующие состояние системы, называются параметрами состояния

Состояние называется неравновесным, если параметр состояния не одинаков во всех точках тела. (у тела разная температура)

Процесс перехода системы из неравновесного состояния в равновесное называется релаксацией

Время, затрачиваемое на такой переход, называют временем релаксации. В качестве времени релаксации принимается время, за которое первоначальное отклонение какой либо величины от равновесного значения уменьшится в е раз. Наибольшее из этих времен играет роль времени релаксации системы.

Равновесным состоянием системы называется такое состояние, при котором все параметры системы имеют определенные значения, остающиеся при неизменных внешних условиях сколь угодно долго

Процесс, состоящий из непрерывной последовательности равновесных состояний, называется равновесным или квазистатическим. (равновесным может быть только бесконечно медленный процесс)

Процесс, при котором система после ряда изменений возвращается в исходное состояние, называется круговым процессом или циклом

Внутренней энергией какого либо тела называется энергия этого тела за вычетом кинетической энергии тела как целого и потенциальной энергии тела во внешнем поле сил

Совокупность микроскопических процессов, приводящих к передаче энергии от тела к телу называется теплопередачей

A’ – совершение над телом работы

Теплоемкость моля вещества, называемую молярной теплоемкостью, мы будем обозначать прописной буквой С [дж\(моль\*к)]

Теплоемкость единицы массы вещества называют удельной теплоемкостью. Ее обозначают строчной буквой с [дж\(кг\*к)]

Между молярной и удельной теплоемкостями одного и того же вещества имеется соотношение с=С\М. М – молярная масса

Важно. Величина представляет собой характерную для каждого газа величину. подставив полученные значения Откуда

Давление газа на стенки сосуда

1. Обратимые и необратимые процессы

Обратимый процесс (то есть равновесный) — термодинамический процесс, который может проходить как в прямом, так и в обратном направлении, проходя через одинаковые промежуточные состояния, причем система возвращается в исходное состояние без затрат энергии, и в окружающей среде не остается макроскопических изменений (на графике условно сплошной линией)

Необратимым называется [процесс](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81), который нельзя провести в противоположном направлении через все те же самые промежуточные состояния. Все реальные процессы необратимы (на графике условно пунктирной линией)

2. Первый закон термодинамики в дифференциальной форме

Приращение внутренней энергии системы должно быть равно сумме совершенной над системой работы A’ и количества сообщенного системе тепла Q. u12 – начальное и конечное значения внутренней энергии системы. Преобразовав получим Это первый закон термодинамики: количество тепла, сообщенное системе, идет на приращение внутренней энергии системы и на совершение системой работы над внешними телами. Разбиваем рассматриваемый процесс на ряд элементарных процессов, каждый из которых соответствует весьма малому изменению параметров системы. Уравнение для элементарного процесса имеет вид Δ’Q=ΔU+Δ’A где Δ’Q – элементарное количество тепла Δ’ – элементарная работы ΔU – приращение внутренней энергии системы в ходе данного элементарного процесса. Что бы произвести вычисления в формуле выше переходят к дифференциалам. d’Q=dU+d’A (доп. интегрирование приводит к Q=(U2-U1)+A)

3. Уравнение состояния идеального газа.

Состояние заданной массы газа определяется значениями трех параметров: давления, объема и температуры. Эти параметры закономерно связаны друг с другом, так что изменение одного из них влечет за собой изменение других. При небольших плотностях газы с хорошей точностью подчиняются уравнению это уравнение есть уравнение состояния идеального газа.

(доп. В соответствии с законом Авогадро, моли всех газов при одинаковых условиях принимают одинаковый объем. При нормальных условиях, объем любого моля 22,4 л/моль. Когда количество газа =1 молю, величина константы будет одинакова для всех газов =R-газовая постоянная. Получим это уравнение идеального газа для 1 моля. R=8,31 Дж/(моль\*К). уравнение состояния идеального газа для массы газа m. k=R\Na постоянная больцмана )

4-5. Теплоемкости газа при постоянном объеме и постоянном давлении. Связь между молярными теплоемкостями Cp и Cv для идеального газа

Теплоемкостью какого либо тела называется величина, равная количеству тепла, которое нужно сообщить телу, что бы повысить его температуру на один кельвин [дж\к]. Если нагревание происходит при постоянном объеме, тело не совершает работы над внешними телами и, следовательно, согласно 1 началу термодинамики, все тепло идет на приращение внутренней энергии тела отсюда следует Такая запись показывает, что дифференцирование v следует считать постоянным. В случае идеального газа U зависит только от Т получаем . Напишем уравнение первого начала термодинамики в следующем виде Разделив на dT получим или . Используя уравнение дифференцируя это выражение по T подставляя выше получаем . газовая постоянная R=8,31 Дж/(моль\*К).

6. Уравнение адиабаты

Адиабатическим называется процесс, протекающий без теплообмена с внешней средой. Подставив в уравнение первого начала термодинамики выражение dU для идеального газа . Так как для адиабаты газа получим . В соответствии с уравнением состояния идеального газа в результате сокращения получим чутка преобразовав получаем Его можно записать в следующем виде откуда имеем при адиабатическом процессе . В соответствии с формулами (общие сведения) . Произведя такую замену получаем это уравнение адиабаты идеального газа. Заменив T через p и v в соответствии с уравнением идеального газа подставив это выражение и учтя, что m,M и R постоянные это уравнение так же называют уравнением Пуассона. (доп. близкие к адиабатическому процессу могут быть только быстро протекающие процессы)

-------------------------------------------------------------------------------------------------------------

ВЫВОД УРАВНЕНИЯ ПОЛИТРОПЫ.

Политропическими называются процессы, при которых теплоемкость тела остается постоянной. С=const. Уравнение политропы для идеального газа. Напишем уравнение первого начала для одного моля газа, представив в виде C dT, а dU – в виде : -> В полученном уравнении входят все три параметра. Исключим Т. Для этого продифференцируем соотношение pV=RT. -> Подставляя выше получаем -> -> -> Все теплоемкости –константы. интегрируя получаем Разделив на получаем где

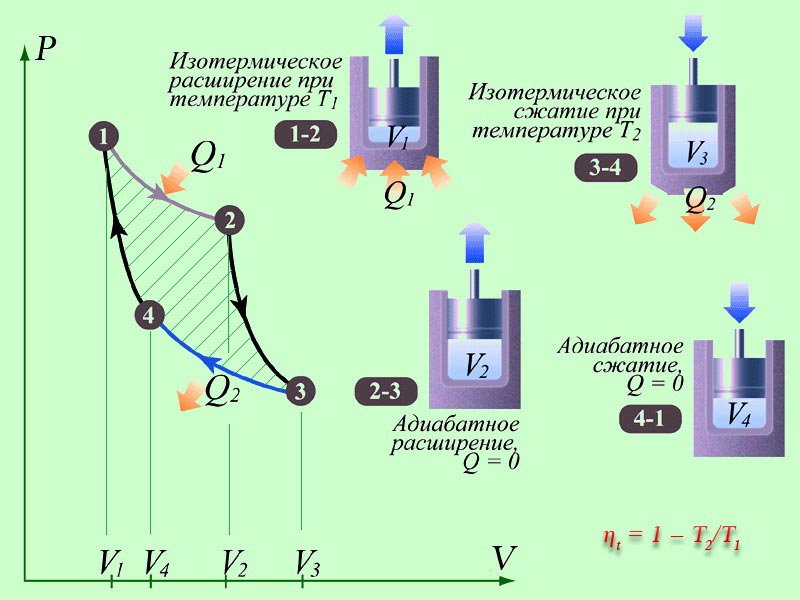
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------

7. Второй закон термодинамики в формулировке Томсона

Невозможны такие процессы, единственным результатом которых явилось бы отнятие от некоторого тела определенного количества тепла и превращение этого тепла полностью в работу

8. Второй закон термодинамики в формулировке Клаузиуса

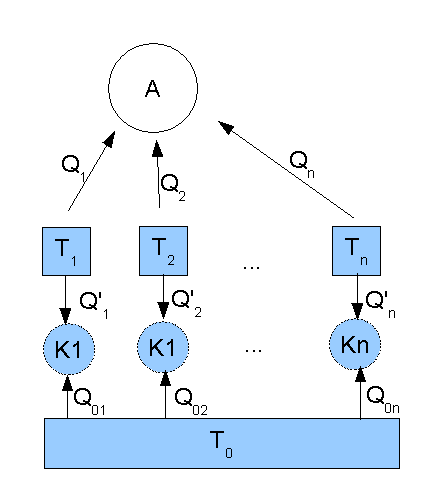
Невозможны такие процессы, единственным результатом которых был бы переход тепла от тела менее нагретого к телу более нагретому

9. Цикл Карно и его кпд

(доп. К. ц. осуществляется следующим образом: рабочее тело (например, пар в цилиндре под поршнем) при температуре T1 приводится в соприкосновение с нагревателем, имеющим постоянную температуру T1, и изотермически получает от него количество теплоты dQ1 (при этом пар расширяется и совершает работу) . На рис. 1 этот процесс изображен отрезком изотермы AB. Затем рабочее тело, расширяясь адиабатически (по адиабате BC), охлаждается до температуры T2. При этой температуре, сжимаясь изотермически (отрезок CD), рабочее тело отдаёт количество теплоты dQ2 холодильнику с температурой T2. Завершается К. ц. адиабатным процессом (DA на рис. 1), возвращающим рабочее тело в исходное термодинамическое состояние.)

10.

11. Неравенство Клаузиуса

(на рисунке из K выходит еще и Аi )

Из формулировки Томсона

При обратимом процессе, в частности при цикле Карно, выполняется равенство

-------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ван-дер-ваальсовский газ

Из уравнения состояния идеального газа имеем . Это уравнение хорошо описывает поведение реальных газов только при малых плотностях(малом давлении и достаточно высоких температурах) Дли описания поведения газов в широком интервале плотностей было предложено Уравнение ВДВ p-давление, оказываемое на газ извне. a и b – константы ВДВ (Из за взаимного притяжения между молекулами газ как бы сжимается бОльшим давлением) характеризует ту добавку к внешнему давлению, которая обусловлена взаимным притяжением молекул друг к другу. Перейдем к уравнению для нескольких молей. Заменим получим Умножив это выражение на ν и введя обозначения переходим к уравнению ВДВ для ν молей

Внутренняя энергия ВДВ Внутренняя энергия

Уравнение адиабаты для газа ВДВ

d’Q=0(адиабат процесс)

уравнение адиабаты для ВДВ

-------------------------------------------------------------------------------------------------------------

-------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Работа газа при разных процессах

Выразим p через v что бы проинегрировать уравнение политропы идеального газа можно записать в виде - в первом и в конечном состоянии а p1 v1 в промежуточном. выразив получаем подставив в работу получаем для случая интегрируем подставив значение в работу и преобразовав используя уравнение состояния получим ЭТИ ДВА ВЫРАЖЕНИЯ ДАЮТ РАБОТУ СОВЕРШАЕМУЮ ИДЕАЛЬНЫМ ГАЗОМ ПРИ ЛЮБОМ ПОЛИТРОПИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ, кроме изотермического (n=1)

(изобара n=0. изотерма n=1. адиабата n=. изохора n=бесконечность)

Что бы вычислить работу ид. газа ИЗОТЕРМЫ в начальной формуле заменим давление через другие величины в соответствии с уравнением состояния. При ИЗОБАРИЧЕСКОМ работа = как следует из начальной формулы

-------------------------------------------------------------------------------------------------------------

12. Определение энтропии для обратимого процесса в дифференциальной форме

где d’Q – количество полученной системой при обратимом процессе тепла, Т – температура системы

Энтропия является количественной мерой степени молекулярного беспорядка в системе

13. Закон возрастания энтропии

Закон – энтропия изолированной системы может только возрастать. То есть dS>0. (dS>d’Q\T d’Q=0 для необратимого процесса)

(s=R lnΩ )

14. Формула больцмана для энтропии

В качестве характеристики вероятности состояния можно взять число термодиномической вероятности, однако оно не обладает свойствами аддитативности, но этим свойством обладает его логарифм. Разобьем систему на на две практически не взаимодействующие подсистемы. пролагорифмировав термодиномическую вероятность системы получим lnΩ=lnΩ1+lnΩ2 где Ω - аддитативная величина. В качестве характеристики вероятности состояния берут величину S пропорциональную логарифму статистическому весу. Коэффициент пропорциональности - коэф Больцмана S=RlnΩ

15-16. Микросостояния и макросостояния. Термодинамическая вероятность

Состояние макроскопического тела может быть задано с помощью объема, давления, температуры, внутренней энергии и других макроскопических (т.е. характеризующих все тело в целом) величин. Охарактеризованное таким способом состояние называется макросостоянием

Состояние макроскопического тела, охарактеризованное настолько подробно, что оказываются заданными состояния всех образующих тело молекул, называются микросостоянием

Число различных микросостояний, соответствующих данному макросостоянию, называется статистическим весом или термодинамической вероятностью макросостояния

17. Распределение Больцмана

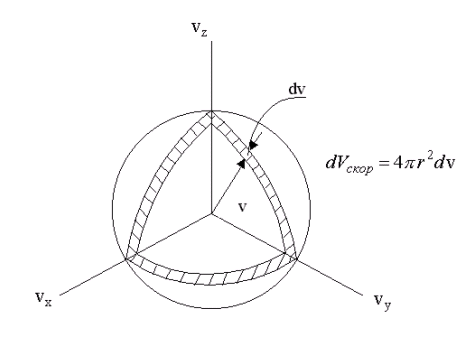
Используя Барометрическую формулу (доп. p=nRT) можно прийти к формуле где n – концентрация молекул на высоте h. n0 – на высоте h=0. произведя замену получаем (это Распределение больцмана). (доп. отношение в точках с разным h ). Количество молекул, попадающих в пределы объема dV=dxdydz, расположенного в точке с координатами xyz

\\\\\\\\

Закон Максвела-Больцмана, согласно которому число молекул, компоненты которого лежат в пределах от vx до vx+dvx а координаты от x до x+dx (тоже самое с +y+z) равно где А нормировочный множитель (так же и ) Распределение Больцмана можно записать в следующем виде (Ni число молекул находящихся в состоянии Ei. А – коэф. пропорциональности удовлетворяющее условию ) подставив выше А получим окончательное выражение распределения Больцмана для дискретных значений энергии

18. Распределение Максвела

Это количественное описание распределения молекул по значениям скорости

 функция распределения молекул газа по скоростям (независимо от направления движения)(вероятность того, что результат измерений окажетсяв пределах от v до v+dv)

Распределение по одному направлению

 распределение по абсолютному значению Если нужно найти вероятность только величины скорости, независимо от направления движения молекула, то берем первую формулу

(доп. число молекул превышающее некоторое значение v0 )

19. Длина свободного пробега для идеального газа

За секунду молекула проходит в среднем путь равный средней скорости <v>. Если за секунду она претерпевает в среднем n столкновений, то средняя длина пробега λ=<v>\n. Откуда то появлятся эта формула где n – число молекул σ=πd – эффективное сечение молекулы

20 Коэффициенты теплопроводности, вязкости, и диффузии для идеального газа.

(доп. в данном случае градиент это изменение функции неодинаковости значений некоторой величины f(концентрация) только по направлению z)

Пусть в единице объема двухкомпонентной газовой смеси содержится n1 молекул одного вида и n2 другого. Опытным путем установлено, что поток молекул i – го вида через перпендикуляр к оси z поверхностью S определяется где D – коэффициент диффузии. D=<v>λ\3

Опыт дает, что если в некоторой среде создать вдоль оси z градиент температуры , то возникнет поток тепла, определяемая где q – поток тепла через поверхность S, расположенную перпендикулярно оси z. dT\dz градиент температуры. - коэффициент теплопроводности

Сила трения между двумя слоями жидкости или газа где - коэф вязкости. – величина, показывающая как быстро меняется скорости жидкости или газа в направлении z перпендикулярно направлению движения слоев. S – величина поверхности, по которой действует сила F.