

Физика

Содержание

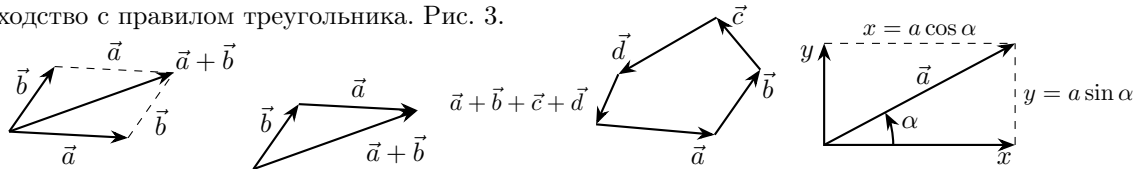
0	Введение	2
0.1	Вектора	2
0.2	Система СИ и перевод величин	2
1	Молекулярная физика	3
1.1	Основные положения молекулярной кинетической теории	3
1.2	Основное уравнение МКТ идеального газа.	3
1.3	Уравнение Клапейрона-Менделеева	4
1.4	Газовые законы	4
1.5	Изопроцессы	4
1.6	Перегородки, поршни, гидростатика	5
1.7	Пары и влажный воздух	5
2	Термодинамика	6
2.1	Теплоемкость вещества	6
2.2	Фазовые превращения	6
2.3	Уравнения теплового баланса	6
2.4	Внутренняя энергия	7
2.5	Работа газа	7
2.6	Первый закон термодинамики	7
2.7	Тепловые машины и второй закон термодинамики	7
3	Электростатика	8
3.1	Электрический заряд	8
3.2	Закон Кулона	8
3.3	Электрическое поле	8
3.4	Потенциальная энергия	9
3.5	Потенциал	9

0 Введение

0.1 Вектора

Есть скалярные и векторные величины. Для скалярных величин достаточно знать числовое значение и единицу измерения. У векторных величин добавляется направление.

- Модулем вектора называется его числовое значение. Всегда положителен.
- Векторы равны, если их модули и направления равны. У противоположенных векторов модули равны, а направления противоположны: $\vec{b} = -\vec{a}$.
- При умножении вектора на число, модуль \vec{b} равен $b = |k|a$ (удлиняем или сокращаем). Если $k < 0$, направление меняется на противоположенное. Иначе остается изначальное.
- Для того, чтобы найти угол между векторами, нужно параллельным переносом совместить их начала.
- Правила сложения векторов:
 1. Правило параллелограмма. Совмещаем начала \vec{a} и \vec{b} и достраиваем параллелограмм, где векторы \vec{a} и \vec{b} — стороны параллелограмма. Сумма \vec{a} и \vec{b} будет совпадать с диагональю. Рис. 1.
 2. Правило треугольника. Мы должны совместить конец \vec{a} и начало \vec{b} . $\vec{a} + \vec{b}$ будет равен вектору, проведенному из начала \vec{a} в конец \vec{b} . Если присмотреться, то и в правиле параллелограмма мы используем это правило, только не на прямую. Рис. 2.
 3. Правило многоугольника. Каждый вектор нужно проводить из конца предыдущего. Сумма всех этих векторов будет являться вектор, проведенный из начала первого в конец последнего. Видно большое сходство с правилом треугольника. Рис. 3.



- Если нужно отнять вектор, то можно просто перевернуть отнимаемый вектор: $\vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$
- Проекция вектора на ось: Если угол между вектором и осью острый, то значение будет положительным. Если угол тупой — отрицательным. Если прямой — равным 0. Далее составляем формулу $\sin \alpha$ или $\cos \alpha$ через вектор и проекцию и выражаем от туда нужное. Рис. 4.

0.2 Система СИ и перевод величин

Единицы измерения величин в системе СИ:

1. Длина — метр
2. Время — секунда
3. Масса — килограмм
4. Сила электрического тока — Ампер
5. Количество вещества — моль
6. Термодинамическая температура — Кельвин

Таблица приставок для перевода величин:

Кратные			Дольные		
Приставка	Обозначение	Множитель	Приставка	Обозначение	Множитель
тера	Т	10^{12}	пико	п	10^{-12}
гига	Г	10^9	нано	н	10^{-9}
мега	М	10^6	микро	мк	10^{-6}
кило	к	10^3	милли	м	10^{-3}
гекто	г	10^2	санти	с	10^{-2}
дека	да	10^1	деци	д	10^{-1}

Примеры перевода: $15 \text{ см}^2 = 15 \cdot (10^{-2})^2 \text{ м}^2 = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, $36 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 36 \cdot \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

1 Молекулярная физика

1.1 Основные положения молекулярной кинетической теории

Основные положения МКТ:

1. Все тела состоят из мельчайших частиц — атомов и молекул.
2. Частицы находятся в хаотичном и непрерывном движении. Скорость движения зависит от температуры, а характер — от агрегатного состояния вещества.
3. Частицы взаимодействуют друг с другом (притягиваются и отталкиваются).

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}, m_0 = \frac{m}{N} = \frac{M}{N_A}$$

$$N_A = 6 \cdot 10^{23}, n = \frac{N}{V}, m = \rho V, \rho = m_0 n, \langle M \rangle = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{\nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n}$$

- $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ — количество частиц в моле любого вещества (моль это кулечек).
- ν — количества вещества (молей). По определению $\nu = \frac{N}{N_A}$. Мы берем все частицы и разбиваем по N_A .
 $\nu = \frac{m}{M}$ — всю массу разбиваем по массе моля.
- M — молярная масса (масса одного моля). По определению $M = N_A \cdot m_0$, количество молекул на массу каждой. Смотрится в таблице Менделеева (не забывать про систему СИ). $\langle M \rangle = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{\nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n}$
- m_0 — масса одной частицы. С $m_0 = \frac{m}{N}$ все понятно, а в $m_0 = \frac{M}{N_A}$ мы делим массу одного моля на количество частиц в этом одном моле.
- m — масса вещества, n — концентрация, ρ — плотность.

1.2 Основное уравнение МКТ идеального газа.

Идеальный газ — газ, где мы пренебрегаем размерами и взаимодействием частиц, а удары абсолютно упругие.

$$p = \frac{1}{3} n m_0 v_{\text{кв}}^2 = \frac{1}{3} \rho v^2 = \frac{2}{3} n E, E = \frac{3}{2} k T$$

$$n = \frac{N}{V}, \rho = n m_0, T_K = T_C + 273$$

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}, p = nkT$$

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23}, R = k N_A = 8.31, pV = NkT$$

- p — давление (результат столкновения молекул со стенками сосуда) газа (в Паскалях), $v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{N}}$ — средняя квадратичная скорость, E — средняя кинетическая энергия, T — абсолютная температура в Кельвинах, $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ — постоянная Больцмана, $R = k N_A = 8.31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ — универсальная газовая постоянная. Это уравнение помогает описывать газ с помощью макропараметров, а не микропараметров для каждой молекулы.
- В шкале Цельсия 0 °C берут температуру таяния льда, а 100 °C. Интервал делят на 100 равных частей, каждую называя градусом. В физике мы пользуемся абсолютной температурной шкалой. Тут ноль — абсолютный ноль, а изменение 1 C° соответствует 1 K. Получается такая формула: $T_K = T_C + 273.15$.
- Мы можем установить связь между средней кинетической и температурой: $E = \frac{3}{2} k T$.
- Из $\frac{m_0 v^2}{2} = \frac{3}{2} k T$, получаем $v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{\text{Три Кота}}{\text{Мышка}}}$ — Три кота на мышку.
- $v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3k N_A T}{m_0 N_A}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{\text{Три рта}}{\text{Миска}}}$ — Три рта на миску.
- $p = \frac{1}{3} n m_0 v^2 = \frac{1}{3} n m_0 \frac{3kT}{m_0} = nkT$ (либо через $p = \frac{2}{3} n E$ и $E = \frac{3}{2} k T$), отсюда и $pV = NkT$

1.3 Уравнение Клапейрона-Менделеева

$$pV = \nu RT$$

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}, p = \frac{\rho}{M} RT$$

Нормальные условия: $p = 1 \text{ атм} = 10^5$, $T = 273.15$, $V_0 = 0.0224$

$pV = NkT = \nu N_A kT = \nu RT$. Мы получили уравнение, которое даёт взаимосвязь трёх важнейших макроскопических параметров: давления, объёма и температуры. Эти параметры взаимосвязаны и изменение любого из них неизбежно приведет к изменению другого.

$pV = \nu RT = \frac{m}{M} RT = \frac{\rho V}{M} RT$, $p = \frac{\rho}{M} RT$. Отсюда видно, что плотность газа зависит не только от самого газа, но и от давления и температуры. Поэтому Вы никогда не найдете плотность определенного газа в таблице.

Если температура газа равна $T = 273.15 \text{ К}$, а давление $p = 1 \text{ атм} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Па}$, то говорят, что газ находится при нормальных условиях. Один моль любого газа при нормальных условиях занимает $V_0 = 0.0224 \text{ м}^3/\text{моль}$.

1.4 Газовые законы

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}, p = p'_1 + p'_2 + \dots + p'_n$$

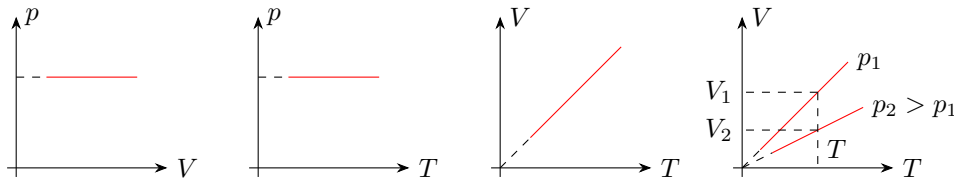
$$pV = \text{const}, \frac{P}{T} = \text{const}, \frac{V}{T} = \text{const}$$

1. Закон Авагадро: В одном моле любого вещества находиться $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ молекул.
2. Закон Дальтона: Давление смеси газов равно сумме парциальных давлений газов (если бы они занимали весь объем), входящих в эту смесь.
3. Универсальный газовый закон (Клапейрона). $\frac{pV}{T} = \text{const}$ или $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$. Этот закон и все изопроцессы работают *только* при $m = \text{const}$ и $M = \text{const}$. Доказываются эти законы очень легко.
4. Изотермический процесс (Закон Бойля-Мариотта): Если $T = \text{const}$, то $pV = \text{const}$.
5. Изобарный процесс (Закон Гей-Люссака): Если $p = \text{const}$, то $\frac{V}{T} = \text{const}$.
6. Изохорный процесс (Закон Шарля). Если $V = \text{const}$, то $\frac{P}{T} = \text{const}$

1.5 Изопроцессы

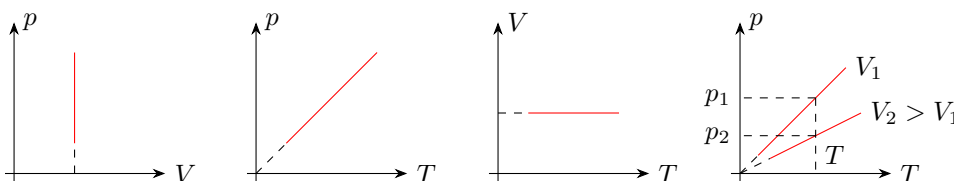
Изобарный процесс

$p = \text{const}, \frac{V}{T} = \text{const}$. В плоскости VT выражается линиями (изобарами) из нуля координат (при самых низких T газ превращается в жидкость, так что рисуем пунктиром). На 4 графике при одинаковом T видно, что $V_1 > V_2$. Значит $p_2 > p_1$. Отсюда, чем больше угол, тем меньше давление.



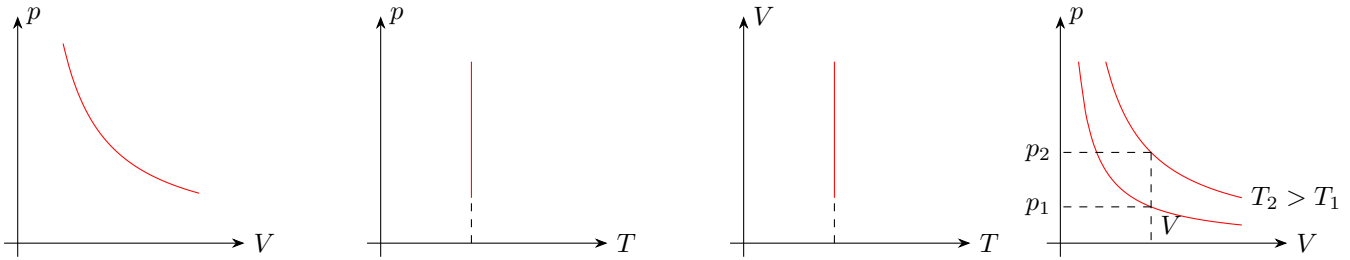
Изохорный процесс

$V = \text{const}, \frac{p}{T} = \text{const}$. Все так же, как и с изобарами (главный график в PT). У изохор при одинаковой температуре давление больше там, где меньше V . Значит, чем больше угол, тем меньше объём.



Изотермический процесс

$T = \text{const}, pV = \text{const}$ — единственная обратно-пропорциональная зависимость. Изотерма в PV принимает форму гиперболы. При одинаковом объёме чем больше давление, тем больше температура. Значит, чем график дальше, тем температура выше.



При построении графиков в других координатах мы должны составить таблицу со всеми процессами (где возрастает, где убывает, где const), при необходимости составить неравенства (что больше) и отметить известные позиции (если из TV в PV , то объёмы на тех же местах). Не забывать про изотерму.

1.6 Перегородки, поршни, гидростатика

Поршни. Записываем законы для каждого газа по отдельности и решаем. Важно учесть, что при равновесии давления равны. Вот пример задачи: в одной части газ нагрелся и поршень сместился на l :

$$\frac{p \cdot lS}{T} = \frac{p'(l + \Delta l)S}{T + \Delta T}, \quad \frac{p \cdot lS}{T} = \frac{p'(l - \Delta l)S}{T}, \quad \text{значит} \quad \frac{l + \Delta l}{T + \Delta T} = \frac{l - \Delta l}{T}.$$

Есть формула для поршней $p_{\text{внизу}} = p_{\text{сверху}} + \frac{mg}{S}$, где $p_{\text{сверху}}$ может быть равным $p_{\text{атм}} = 10^5$ Па.

При решениях гидростатики или перегородок можем расписывать записываем $R = \frac{PVM}{mT}$ для разных положений. Если пузырёк погружен на глубину h , то $p = p_{\text{атм}} + pgh$, а на поверхности $p = p_{\text{атм}}$.

1.7 Пары и влажный воздух

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{табл}}} = \frac{\rho}{\rho_{\text{табл}}}, p = \frac{\rho}{M}RT$$

$$pV = \nu RT, m = \frac{pVM}{RT}, \nu = \frac{pV}{RT}$$

В сосуд наливают воду и она начинает испаряться, а воздух *насыщаться*. *Испарение* — это процесс превращения жидкости в пар, происходящий на свободной поверхности жидкости (при *кипении* по всей поверхности). *Конденсация* — процесс, обратный испарению. *Динамическое равновесие* — это выравнивание скоростей испарения и конденсации, а пар становится *насыщенным*. Пар, не достигший состояния динамического равновесия с жидкостью, называется *ненасыщенным*.

Насыщенный пар при данной температуре имеет максимальное давление, концентрацию и плотность. Они не зависят от объёма, так как при изменении пара он прекратит быть насыщенным. Выпадение росы означает, что пар становится насыщенным. Насыщенный пар отличается от идеального газа, но мы можем использовать $pV = \nu RT$, $p = p_1 + p_2 + \dots$, $p = \frac{\rho RT}{M}$, $m = \rho V = \frac{pVM}{RT}$. Плотность и давление насыщенного пара указываются в *таблице* при данной температуре. Интересно, что температура кипения воды зависит от давления (например, давление насыщенного пара при 100°C равно 10^5). $M_{\text{воды}} = 18 \cdot 10^{-3}$.

Под *влажностью* воздуха понимается выраженное в процентах содержание водяных паров в воздухе. *Абсолютная влажность* — это текущее давление (в отсутствие других газов) или плотность. *Относительная влажность* — отношение данной плотности к плотности насыщенного пара (табличной): $\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{табл}}} \cdot 100\%$.

Также φ можно определить как текущее давление на табличное: $\varphi = \frac{p}{p_{\text{табл}}} \cdot 100\%$.

Точка росы — температура, при которой пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным ($\varphi = 100\%$). 1 мм рт. ст. = 133.322 Па. Упругость пара — текущее давление, упругость насыщенного пара — давление в таблице. Можно идти на пролом через $pV = \nu RT$ и $\nu = \frac{pV}{RT}$.

2 Термодинамика

2.1 Теплёмкость вещества

$$Q = cm\Delta t$$

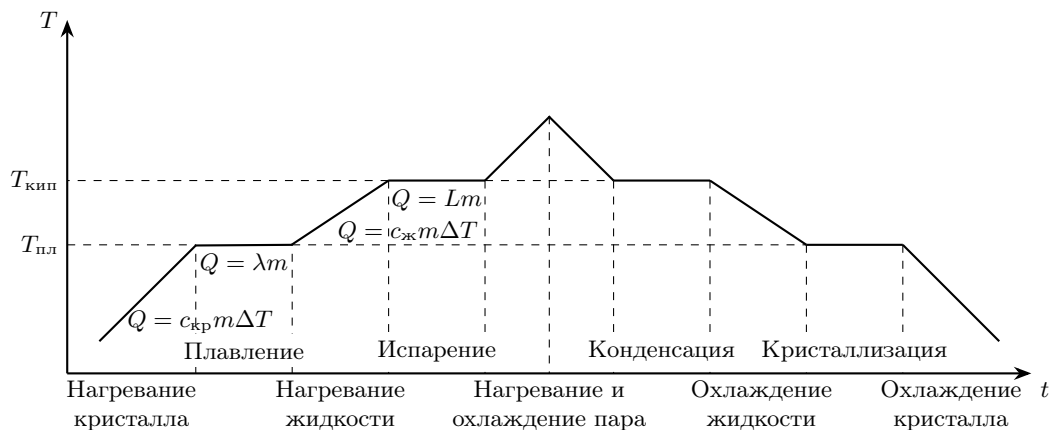
$$C = cm, \eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}}, Q = Pt$$

- $Q = cm(t_2 - t_1) = cm\Delta t$, — количество теплоты в Дж. Опыт показывает, что получаемое телом тепло прямо пропорционально массе и разности температур с определенным коэффициентом.
- $c = \frac{Q}{m\Delta t}$ — удельная теплоёмкость тела. Это и есть коэффициент пропорциональности. Он показывает, количество теплоты (Q), необходимое для нагревания 1 кг вещества на 1 К. Для каждого тела теплоёмкость постоянная и смотрится в таблице. Часто встречаются: $c_{\text{воды}} = 4200$ Дж, $c_{\text{льда}} = 2100$ Дж.
- $C = cm$ — теплоёмкость тела. Важно не путать удельной теплоёмкостью.
- $\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}}$ — КПД. $A_{\text{пол}}$ — это то, чего мы хотим добиться. $Q = Pt$ — количество теплоты, отданное каким-либо источником (нагревателем). Например, если при работе мотора он нагревается, то $\eta = \frac{Pt - Q}{Pt}$. Если электроплита нагревается, то $\eta = \frac{Q}{Pt}$. КПД машины $\eta = \frac{P}{Q/t} = \frac{Pt}{Q_{\text{бенз}}} = \frac{P \cdot \frac{S}{v}}{qm} \approx 30 - 40\%$.

2.2 Фазовые превращения

$$Q = Lm, Q = \lambda m, Q = qm$$

Фазовый переход — переход вещества из одного агрегатного состояния в другое при сообщении теплоты. Есть три состояния: *твёрдое*, *жидкое* и *газообразное*. Фазовые превращения происходят при постоянных температурах (например, температура кипения воды) и температура не может изменяться, пока процесс не закончится. Обратные фазовые переходы сопровождаются таким же количеством теплоты и при той же температуре ($t_{\text{плав}} = t_{\text{крист}}$). Так как кинетическая энергия зависит от температуры, то при переходе $E_k = \text{const}$, E_p изменяется. Прикольный факт: во время испарения уходят самые быстрые молекулы, значит средняя кинетическая уменьшается, т. е. жидкость остывает (и наоборот). Все процессы на графике:



1. $Q = rm$ — теплота парообразования, где r удельная теплота парообразования (количество теплоты, необходимое для превращения 1 кг жидкости в пар). Например $r_{\text{воды}} = 2260$ кДж/кг (при 100°C)
2. $Q = \lambda m$ — теплота плавления, где λ удельная теплота плавления. $\lambda_{\text{льда}} = 330$ кДж/кг
3. $Q = qm$ — теплота сгорания, где q удельная теплота сгорания.

2.3 Уравнения теплового баланса

$$Q_{\text{отданное}} = Q_{\text{поглощенное}}$$

Уравнение теплового баланса следует из закона сохранения энергии. Примеры: $c_1 m_1(t - t_1) = c_2 m_2(t_2 - t)$, $Q_{\text{охл}} = Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{плавл}} + Q_{\text{нагр}}$. Расписываем для каждого тела и всё. Можно поделить первое уравнение на второе, чтобы сократилась масса или C (или выразить).

Задача про куб во льду: Температура куба будет идти на плавление льда ($V_{\text{куб}} = V_{\text{распл. льда}}$, так что мы заменим m на ρV и поделим на V). Значит $c_{\text{ал}} m_{\text{куба}}(t_x - 0) = \lambda_{\text{лёд}} m_{\text{лёд}}$, $t_x = \frac{\lambda_{\text{лёд}} \cdot \rho_{\text{лёд}}}{c_{\text{ал}} \cdot \rho_{\text{ал}}}$

2.4 Внутренняя энергия

$$U = \frac{3}{2}\nu RT, \Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$$

Внутренняя энергия тела — это суммарная кинетическая энергия теплового движения его частиц плюс потенциальная энергия их взаимодействия друг с другом. Внутренняя энергия термодинамической системы — сумма внутренних энергий тел. $U = NE = \nu N_A \cdot \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2}\nu RT$ (потенциальная энергия в идеальном газе равна 0). Отсюда видно, что внутренняя энергия *идеального* газа зависит *только* от температуры. Механическая энергия может переходить в теплоту, но не полностью: $k \cdot E_{\text{мех}} = Q$.

2.5 Работа газа

$$A = p\Delta V$$

Газ, находящийся в сосуде под поршнем действует на поршень с силой $F = pS$. Если поршень перемещается, то газ совершает работу. При расширении работа положительна (давление газа и перемещение направлены в одну сторону), при сжатии — отрицательна. Пусть поршень переместился на Δx , тогда работа газа: $A = F\Delta x = pS\Delta x = p\Delta V = p(V_2 - V_1)$. Для сжатия получается такая же формула: $A = -p(V_1 - V_2) = p(V_2 - V_1) = p\Delta V$. Изобразив процесс в PV координатах получим, что *работа равна площади фигуры*. Это работает всегда.

По третьему закону Ньютона получается, что работа поршня A' равна по модулю, но противоположна по знаку работе газа: $A = -A'$. Также $A_{\text{системы}} = -A_{\text{внешних сил}}$.

2.6 Первый закон термодинамики

$$Q = \Delta U + A$$

Существует только два способа изменения внутренней энергии тела: *теплопередача* и *совершение работы*. Значит $\Delta U = Q + A'$. А для газов $\Delta U = Q - A$. Но понятнее такой вид: $Q = \Delta U + A$ — передаваемое тепло идет на изменение внутренней энергии газа и на совершение работы. Это и есть первый закон термодинамики.

Теперь изопроцессы. Тут все просто. Например, если у нас изотермический процесс, то $\Delta U = 0$ ($\Delta T = 0$). Значит $Q = A$ — все тепло идет на совершение работы. Аналогичные размышления и для других. Добавляется *адиабатный процесс*: $Q = 0$. Получается $A = -\Delta U$ — работа совершается за счет убыли внутренней энергии.

У *одноатомного* газа добавляются следующие формулы: Изобарный процесс — $\Delta U = \frac{3}{2}p\Delta V$, $A = \nu R\Delta T$.

Изохорный процесс — $\Delta U = \frac{3}{2}V\Delta p$.

2.7 Тепловые машины и второй закон термодинамики

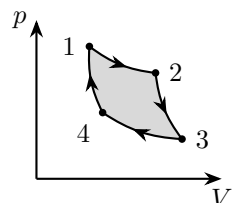
$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Второй закон термодинамики (как и первый) говорит, что вечный двигатель невозможен. *Тепловые машины* преобразуют теплоту в работу или наоборот. Они бывают двух видов:

Тепловые двигатели преобразуют внешнюю теплоту в механическую работу. Рабочее тело двигателя — газ. Он расширяется и совершает полезную механическую работу. Но чтобы его разогреть, нужно привести в контакт с *нагревателем*. Так как двигатель должен работать циклически, газ нужно сжать. Чтобы выйти в плюс, нужно охладить газ, ведь при меньшем давлении легче сжимать. Для этого нужен холодильник. На графике цикл идет по часовой стрелке. Сначала газу передали Q_1 . При охлаждении газ отдал холодильнику Q_2 . Значит суммарное количество теплоты равно $Q_1 - Q_2$. Согласно первому закону термодинамики: $Q_1 - Q_2 = A + \Delta U$. Так как газ вернулся в исходное состояние, то $\Delta U = 0$. Значит $A = Q_1 - Q_2$. КПД теплового двигателя — это отношение работы к количеству теплоты от нагревателя: $\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$.

Холодильные машины передают тепло от менее нагретого тела к более нагретому за счет внешней механической работы. Мы знаем, что в процессе теплообмена теплота передается от более нагретого тела к менее нагретому. Но если использовать внешний источник, то можно осуществить передачу тепла от менее нагретого тела. Схема холодильной машины будет зеркальной теплового двигателя, а в PV координатах цикл идет против часовой стрелки. Подробно разбирать не буду, сам не понял.

Каков наибольший возможный КПД теплового двигателя с температурой нагревателя T_1 и температурой холодильника T_2 . Максимальный КПД у машины, работающей по *циклу Карно*: $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$. Отсюда и $\frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2}{Q_1}$. Цикл Карно состоит из двух изотерм и адиабат. Цикл Карно может работать как по часовой стрелке, так и против.



3 Электростатика

3.1 Электрический заряд

$$q = Ne, q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const}, q = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

$$e = 1.6 \cdot 10^{-19}, m_e = 9.11 \cdot 10^{-31}$$

Электрический заряд — физическая величина, характеризующая способность тел вступать в электромагнитные взаимодействия (притягиваться/отталкиваться). Электрический заряд обозначается буквой q и измеряется в Кулонах. Чаще всего будут встречаться 1 мкКл (10^{-6} Кл), 1 нКл (10^{-9} Кл), 1 пКл (10^{-12} Кл).

Заряды могут передаваться. Они не зависят от тела. Существует два вида: положительные и отрицательные. Разноимённые притягиваются, одноимённые отталкиваются. Минимально возможный по модулю заряд называется *элементарным зарядом*: $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Он равен заряду протона и электрона. Электрический заряд всегда кратен элементарному заряду: $q = \pm Ne$. В изолированной системе алгебраическая сумма зарядов всех тел остаётся постоянной: $q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const}$. Заряд одинаковых тел, приведённых в соприкосновение и раздвинутых, равен $q = \frac{q_1 + q_2}{2}$.

Носителями зарядов являются элементарные частицы: протоны (положительно заряженные), электроны (отрицательно заряженные) и нейтроны (нейтрально заряженные). $N = N_p - N_e$ (если в теле больше электронов, то он отрицательно заряжен. Если больше протонов — положительно). В нейтральном атоме $N_p = N_e =$ атомному номеру и $q = 0$, поэтому в обычных условиях мы не замечаем электромагнитного воздействия. В любых электрических явлениях число протонов не меняется, изменяется только число электронов. Важно, что сообщение отрицательного заряда означает передачу лишних электронов. А сообщение положительного заряда — отнимание электронов. Масса электрона равна: $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31}$ кг.

Линейная плотность заряда: $\lambda = \frac{q}{L}$. Поверхностная плотность: $\sigma = \frac{q}{S}$. Объёмная плотность: $\rho = \frac{q}{V}$.

3.2 Закон Кулона

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{\epsilon r^2}$$

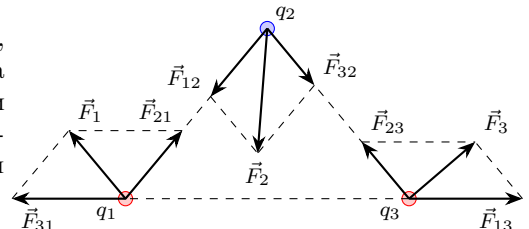
$$k = 9 \cdot 10^9$$

Взаимодействие неподвижных зарядов называется электростатическим. Раздел электродинамики, в котором изучается взаимодействие неподвижных зарядов, называется электростатикой.

Точечным зарядом называют заряженное тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь. Основной закон электростатики — это закон Кулона: силы взаимодействия неподвижных точечных зарядов прямо пропорциональны произведению модулей зарядов и обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними: $F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$. Если заряды находятся в каком-то веществе, то в знаменатель добавляется ϵ — *диэлектрическая проницаемость среды*. Это безразмерная величина, показывающая, во сколько раз среда ослабляет взаимодействия. k — коэффициент, определяющий численное значение силы взаимодействия зарядов. $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{м}}{\Phi} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, где $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$ — электрическая постоянная.

Силы взаимодействия подчиняются 3 закону Ньютона: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. Часто будет использоваться и 2 закон Ньютона. Нужно расписывать все силы для двух осей, а также приравнять к 0 или $m\vec{a}$.

Также работает *принцип суперпозиции*: Результирующая сила, действующая на тело, равна векторной сумме сил, действующих на это тело со стороны всех других тел. $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$. Задачи легкие. Просто расписываешь каждое тело и геометрически суммируешь. Часто будет встречаться с электронными полями. Для углов использовать теорему косинусов.



3.3 Электрическое поле

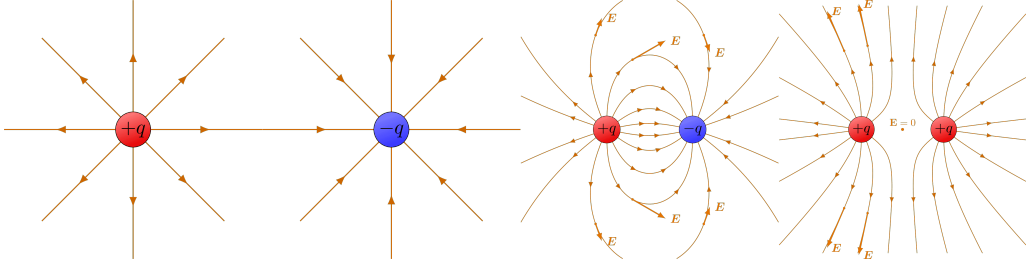
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Сначала считалось, что заряды действуют друг на друга непосредственно (теория дальнего действия). Но в итоге одержала верх теория ближнего действия (для взаимодействия нужен промежуточный агент). Физическим объектом, передающим взаимодействие между зарядами даже сквозь пустоту, оказалось *электрическое поле*. Каждое

заряженное тело создает электрическое поле и именно через него взаимодействует с телами. *Напряженность электрического поля*: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = k \frac{Q}{r^2}$, где q_0 — пробный заряд. Важно, что q_0 может быть и отрицательным. Тогда сила будет направлена противоположно напряженности. Принцип суперпозиции работает и для полей.

Заряженная плоскость. В качестве бесконечной плоскости мы можем рассматривать любую плоскую пластину, если расстояние от точки, в которой ищется поле, до пластины много меньше размеров самой пластины. Поверхностная плотность заряда $\sigma = \frac{q}{S}$. Плоскость называется равномерно заряженной, если $q = \text{const}$. Вектор напряжённости поля равномерно заряженной плоскости перпендикулярен плоскости; он направлен от плоскости, если плоскость заряжена положительно, и к плоскости, если плоскость заряжена отрицательно. Напряженность поля равномерно заряженной плоскости рассчитывается по формуле $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0(\varepsilon)}$. *Однородным* называется поле, напряжение которого во всех пунктах одинаково. Часто помогает: $v = v_0 + at$

Линии напряженности — линии, касательная которых в каждом пункте совпадает с напряжением в этом же пункте. Линии идут от положительного к отрицательному.



3.4 Потенциальная энергия

$$W = k \frac{q_1 q_2}{r}, A = -\Delta W$$

Потенциальная сила зависит от начального и конечного положения тела, но не от траектории. Работа потенциальной силы по замкнутому пути равна 0. Формула потенциальной энергии W : $A = -\Delta W = -(W_2 - W_1) = W_1 - W_2$. Тут мы используем букву W вместо E .

Потенциальная энергия однородного поля: $W = -qEd$

Потенциальная энергия двух точечных зарядов: $W = k \frac{q_1 q_2}{r}$. Нулевой уровень ($W = 0$) находится на бесконечности. На таком расстоянии заряды уже не взаимодействуют. q без модуля. Для одноименных зарядов потенциальная энергия будет положительной. Для разноименных — отрицательной.

Если зарядов больше двух, то нужно просуммировать энергии каждой пары зарядов. Пример для трех тел: $W = W_{12} + W_{13} + W_{23}$. Если нужно найти работу по перемещению снарядов, то она будет равна разнице между начальной и конечной суммарной энергией. А так при решении задач нужно будет использовать закон сохранения механической энергии. Сначала находится начальная энергия (для каждого тела), потом конечная.

Другие формулы потенциальной энергии: $mgh, \frac{mv^2}{2}, \frac{kx^2}{2}$

3.5 Потенциал

$$\varphi = \frac{W}{q}, U = \varphi_1 - \varphi_2, A = qU$$

Исходя из того, что W пропорционально q получаем $W = q\varphi$. Величина φ является характеристикой поля и называется *потенциалом*: $\varphi = \frac{W}{q}$. В однородном поле $\varphi = -Ex$, где x совпадает с линией напряженности.

Также $\varphi = k \frac{q}{r}$. Единица измерения вольт.

Разность потенциалов. Из формулы работы и потенциальной энергии получаем $A = q\varphi_1 - q\varphi_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2)$. Величина $\varphi_1 - \varphi_2$ называется разностью потенциалов или *напряжением*: $U = \varphi_1 - \varphi_2$. $A = qU$. Потенциал поля в данной точке это работа поля по перемещению заряда из данной точки в точку нулевого потенциала, делённая на величину этого заряда: $\varphi = \frac{A_0}{q}$. Для потенциалов работает принцип суперпозиции (сумма алгебраическая).

$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$

Однородное поле. $A = qEd$ (если не однородное добавляется $\cos \alpha$). $A = qU$, значит $U = Ed$. Отсюда $E = \frac{U}{d}$. Получается, что напряженность поля измеряется как в Н/Кл, так и В/м.