

Энергомашиностроение.

6

Лекция №2

Основные понятия и определения

- Давление.
- Температура.
- Удельный объем.
- Уравнения состояния.
- Нормальные условия.
- Шкала абсолютного потенциала взаимодействия.
- Нулевой закон термодинамики. Условия построения температурной шкалы.
- Шкалы относительной температуры.
- Шкалы абсолютной температуры. Термодинамическая температура.

Давление

$$p = \frac{P}{F}$$

В международной системе единиц давление измеряют в Н/м^2 (ньютон на квадратный метр) и обозначают буквой p . Эта единица очень мала, поэтому удобнее применять более крупную единицу давления, равную 10^5 Н/м^2 , называемую баром.

Измерять давление можно также высотой столба какой-либо жидкости. Так, 1 бару соответствует высота столба ртути, равная 750 мм при $t_{pm} = 0^\circ \text{ С}$.

Также применяют:

1) **техническую атмосферу**, которой соответствует сила действия газа в 1 кг на 1 см^2 поверхности:

$$1 \text{ техн. ат.} = 1 \text{ кг/см}^2 = 10000 \text{ кг/м}^2$$

Технической атмосфере соответствует высота ртутного столба 735,6 мм при температуре ртути 0° С и водяного 10 000 при температуре воды 4° С ;

2) **физическую атмосферу**, которая равна среднему давлению воздуха на поверхность океанов. Это давление соответствует высоте ртутного столба 760 мм при температуре ртути 0°C;

$$1 \text{ физ. атм.} = 1,033 \text{ кГ/см}^2 = 10330 \text{ кГ/м}^2$$

Связь между единицами измерения давления в системе СИ и единицами в других системах следующая:

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кГ/см}^2 = 10^4 \text{ кГ/м}^2 \approx 98,1 \text{ кН/м}^2 \approx 0,0981 \text{ Мн/м}^2$$

$$1 \text{ физ. атм} = 1,0133 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$$

$$1 \text{ мм вод. ст.} = 1 \text{ кГ/м}^2 \approx 9,81 \text{ н/м}^2$$

$$1 \text{ мм рт. ст.} \approx 133,3 \text{ н/м}^2$$

В термодинамике существует понятие абсолютного и избыточного давления. Допустим, что имеется сосуд (рис. 1), соединенный с U-образной трубкой, в которой находится жидкость. Если сосуд закрыть и увеличить в нем давление, то часть жидкости из левого колена U-образной трубки будет вытеснена в правое, вследствие чего образуется разность Уровней. Давление в сосуде, так называемое *абсолютное давление* $p_{абс}$ будет уравниваться давлением атмосферы $p_{бар}$, измеряемым барометром и давлением столба жидкости высотой H , называемым *избыточным давлением* $p_{изб}$ Таким образом

$$p_{абс} = p_{изб} + p_{бар} \quad (1)$$

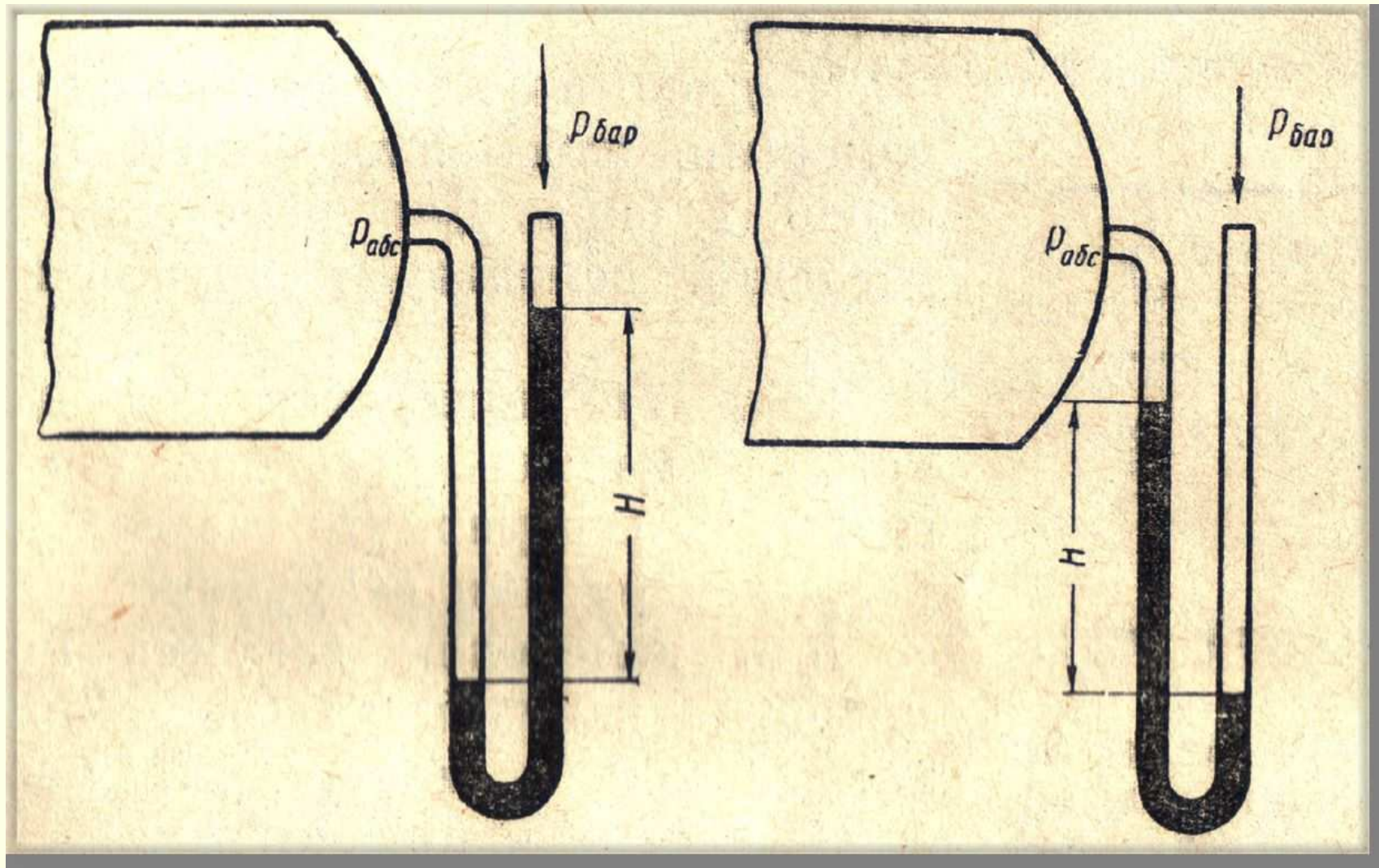


Рис. 1. Схема жидкостного манометра

Рис. 2. Схема вакуумметра

При снижении давления в сосуде наружное давление $p_{бар}$ будет уравниваться давлением внутри сосуда $p_{абс}$ и разрежением $p_{вак}$, создаваемым столбом жидкости высотой H . Таким образом,

$$\begin{cases} p_{бар} = p_{абс} + p_{вак} \\ p_{абс} = p_{бар} - p_{вак} \end{cases} \quad (2)$$

Таким образом, абсолютное давление, будь оно выше или ниже атмосферного, можно измерить только при помощи двух приборов: барометра и манометра, или барометра и вакуумметра. **Параметром состояния является абсолютное давление $p_{абс}$.**

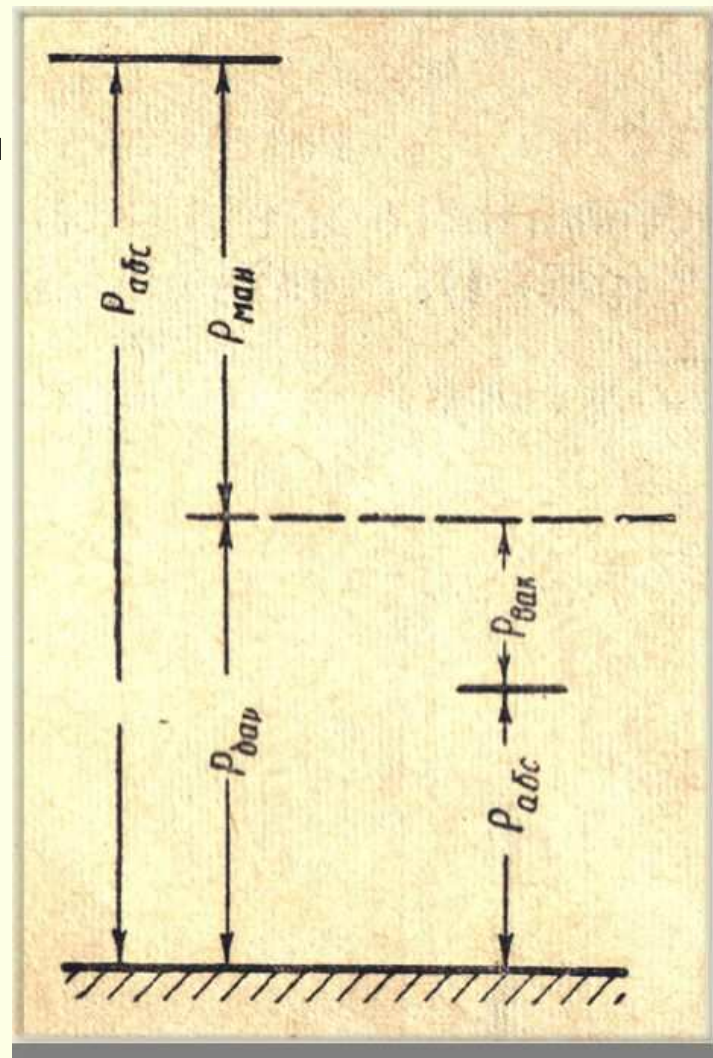


Рис. 3. Связь между барометрическим, манометрическим давлением и давлением вакуума 5

Температура

За единицу измерения температуры принимают градус (1°), который можно определить следующим образом. Пусть в качестве жидкости в термометре используется ртуть, объем которой может изменяться в результате изменения одного размера — высоты столба. Выберем два состояния какого-либо вещества, которые легко воспроизвести. Для определения единицы температуры удобно использовать состояние плавления льда при давлении 760 мм рт. ст. . Температуру этого состояния принимают равной 0° . Второе состояние — конденсация водяных паров при том же давлении. Температуру этого состояния принимают равной 100° С . Поместим термометр в плавящийся лед, а затем в конденсирующийся пар и определим линейное приращение столба ртути. Положения столба жидкости, соответствующие таким состояниям, называются **реперными точками**. Разделим приращение столба ртути на 100 равных делений, тогда каждое деление будет соответствовать одному градусу по шкале Цельсия (1° С).

Наряду со стоградусной шкалой применяется также шкала абсолютных температур, нуль которой лежит на $273,15^\circ$ (округленно 273°) ниже температуры точки плавления льда. Температура, измеряемая по этой шкале, называется **абсолютной**, или температурой в градусах Кельвина. В обеих шкалах единица измерения (градус) остается одной и той же.

Абсолютную температуру обозначают через $T^\circ \text{ К}$, температуру по стоградусной шкале — через $t^\circ \text{ С}$. В соответствии со сказанным выше

$$T = t + 273 \quad (3)$$

Удельный объём

Удельным объемом называют объем единицы массы тела. Определяют его как объем 1 кг тела, выраженный в кубических метрах. Если обозначить объем m кг вещества через V м³, то его удельный объем определится как

$$v = \frac{V}{m} \quad \text{м}^3 / \text{кг} \quad (4)$$

Плотность ρ представляет собой массу вещества, заключенную в единице объема, т. е.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{кг} / \text{м}^3 \quad (5)$$

Таким образом, плотность вещества является величиной, обратной удельному объему:

$$\rho = \frac{1}{v}$$
$$\rho v = 1 \quad (6)$$

Уравнение состояния

Наиболее удобным выражением зависимости между основными параметрами (p, v, T, \dots) является аналитическое уравнение.

$$F(p, v, T) = 0 \quad (7)$$

$$p = f_1(v, T) \quad (8)$$

$$v = f_2(p, T) \quad (9)$$

$$T = f_3(p, v) \quad (10)$$

Так как уравнением (7) определяется состояние рабочего тела, то его называют **уравнением состояния**.

Нормальные условия

В термодинамических расчетах, так же как и в расчетах теплотехнических, очень часто используется понятие «нормальные физические условия», характеризуемые давлением 760 мм рт. ст. и температурой 0°C .

Во многих расчетах бывает удобнее рассматривать такое количество рабочего тела, которое при нормальных условиях занимает объем, равный 1 м^3 . При этом считают, что расчеты ведутся по отношению к одному кубическому метру (м^3), хотя это не соответствует точному физическому смыслу принятого условия. Иногда за нормальные условия принимают давление $735,6 \text{ мм рт. ст.}$ (при температуре ртути 0°C) и температуру 15°C . Такие условия, используемые очень редко, называют **нормальными техническими условиями**.

Шкала абсолютного потенциала взаимодействия

$$\Delta W_i = P_i dx_i \quad (11)$$

Выражение для абсолютного потенциала можно получить следующим образом. Количества воздействий при постоянных значениях потенциалов P_1 и P_2 представим на основе уравнения в виде

$$W_1 = P_1 \Delta x_1; \quad W_2 = P_2 \Delta x_2;$$

Положим, что в обоих случаях изменение координаты состояния одинаково, т.е. $\Delta x_1 = \Delta x_2 = \Delta x$. При этом справедливо линейное соотношение

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{P_1}{P_2}; \quad \frac{W_1 - W_2}{W_2} = \frac{P_1 - P_2}{P_2}$$

$$P_2 = \frac{W_2}{W_1 - W_2} \Delta P_1 \quad (12)$$

где W_1 и W_2 – количества воздействий, которые имеют место при постоянных значениях потенциалов P_1 и P_2 соответственно при одном и том же изменении координаты состояния; $\Delta P = P_1 - P_2$ — разность потенциалов.

Нулевой закон термодинамики. Условия построения температурной шкалы

Введение понятия температуры и ее измерение основаны на допущении, являющемся следствием опытных фактов, что все тела, находящиеся в соприкосновении, приходят в конце концов к тепловому равновесию и принимают одинаковую температуру. Хотя это положение кажется весьма очевидным, тем не менее оно не вытекает ни из каких других известных опытных фактов и поэтому нередко относится к категории законов.

Выдающийся физик М. Планк заметил по этому поводу: «То, что два тела, находясь в термическом равновесии с третьим, находятся и между собой в термическом равновесии, вовсе не само собой понятно, но очень замечательно и важно».

Данное положение часто называют нулевым законом термодинамики. Закон термического равновесия позволяет однозначно измерять температуру термометром. Термометр показывает свою температуру, но она равна температуре тела, с которым термометр находится в термическом равновесии.

Шкалы относительной температуры

$$\frac{G_k - G_{\Pi}}{\Theta_k - \Theta_{\Pi}} = \frac{\Delta G}{\Delta \Theta} = \frac{G - G_{\Pi}}{\Theta - \Theta_{\Pi}} = \frac{dG}{d\Theta} = \text{const}$$

где G_k, G_{Π} — значения термометрического свойства G в реперных точках; Θ_k и Θ_{Π} — значения температуры, принятые для реперных точек; $\Delta G = G_k - G_{\Pi}$; $\Delta \Theta = \Theta_k - \Theta_{\Pi}$; Θ — значение температуры в тепловом состоянии, которому соответствует значение термометрического свойства G .

$$\Theta = \frac{G - G_{\Pi}}{\Delta G} \Delta \Theta + \Theta_{\Pi} \quad (13)$$

$$t_c = \frac{G - G_{\Pi}}{\Delta G} 100 \quad (14)$$

$$t_F = \frac{G - G_{\Pi}}{\Delta G} 180 + 32 \quad (15)$$

$$t_C = (t_F - 32) / 1.8 \quad (16)$$

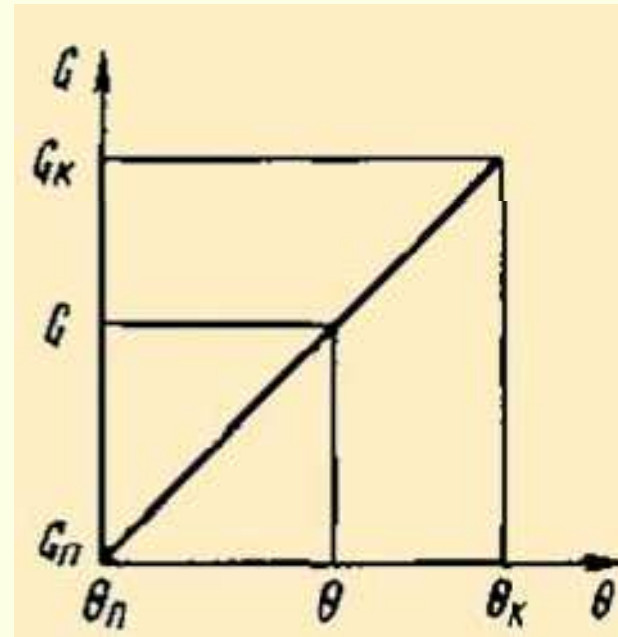


Рис. 4. Линейная зависимость термометрического свойства от температуры

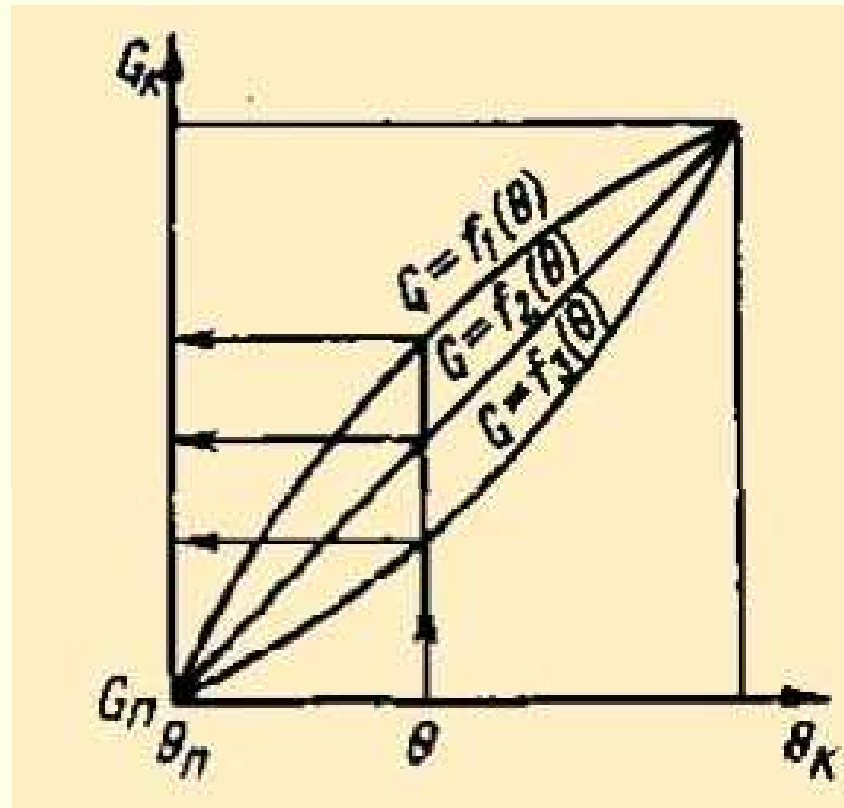


Рис. 5. Показание термометров при различном характере зависимости термометрического свойства от температуры

Шкалы абсолютной температуры. Термодинамическая температура

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = \frac{R}{p} = const$$

$$\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V = \frac{R}{V} = const$$

$$t_0 = - (V_{\Pi} / \Delta V) 100 \text{ } ^\circ C$$

$$T_{\Pi} = -t_0 = (V_{\Pi} / \Delta V) 100 \text{ } K$$

$$T = (273,15 + t) \text{ } K$$

$$T_{\Pi} = \frac{Q_{\Pi}}{Q_{\text{к}} - Q_{\text{п}}} \Delta T$$

где Q_{Π} и $Q_{\text{к}}$ — количества теплоты, подведенной к системе на температурных уровнях, соответствующих состояниям плавления льда и кипения воды при одном и том же значении изменения энтропии ($\Delta S_{\text{к}} = \Delta S_{\Pi}$); ΔT — разность температур между реперными точками.

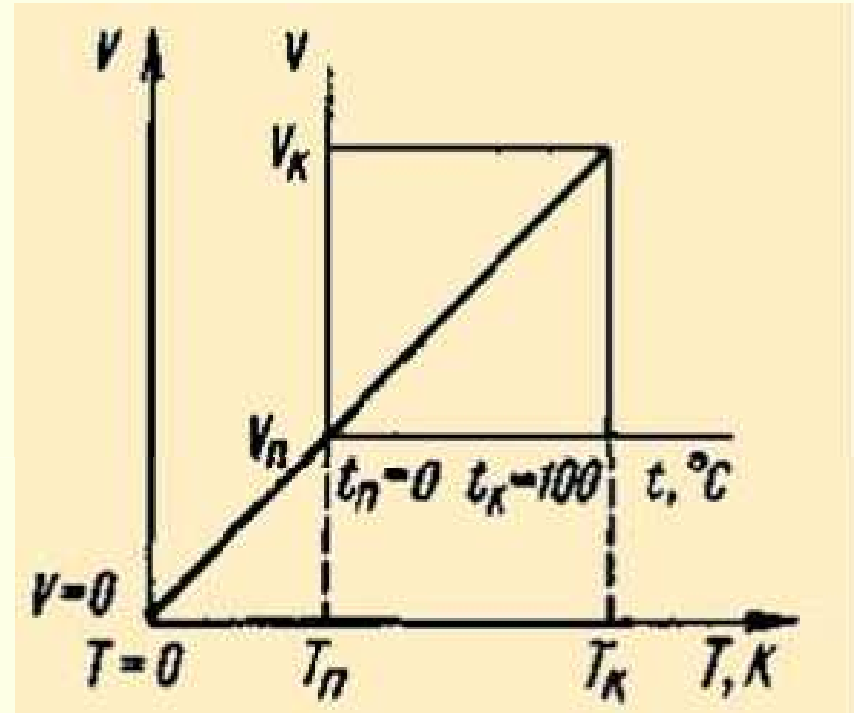


Рис. 6. К определению идеально-газовой шкалы температуры

Показания термометров с разными термометрическими свойствами	50 ⁰ С	200 ⁰ С
Объем ртути	50,0	202,2
Давление пара этилового спирта при V=const	23,3	132,0
ЭДС платинородий-платиновой термопары	46,4	222,5
Электрическая сопротивлениe платины	50,25	195,7

Контрольные вопросы

- Основные понятия и определения в термодинамике.
- Техническая атмосфера
- Физическая атмосфера
- Нормальные технические условия
- Нулевой закон термодинамики (закон термического равновесия).
- Шкала абсолютного потенциала взаимодействия.
- Шкалы относительной температуры. Шкалы абсолютной температуры. Термодинамическая температура.
- Связь между барометрическим, манометрическим давлением и давлением вакуума