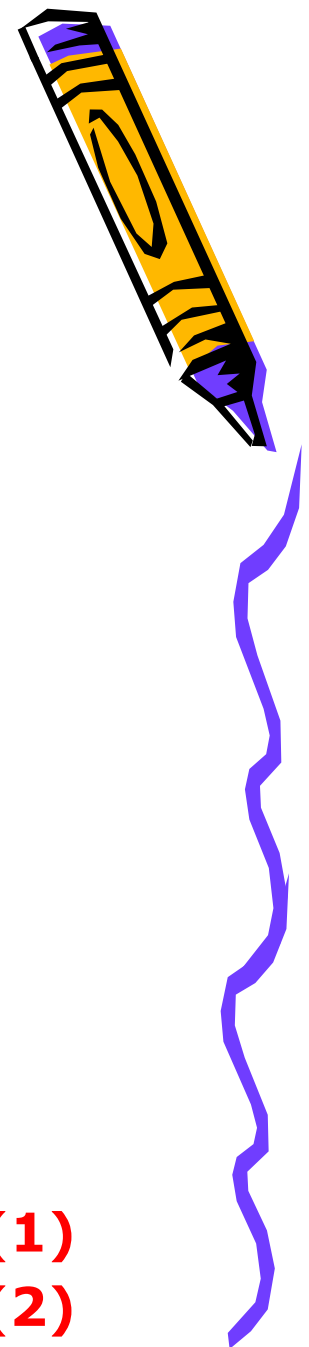
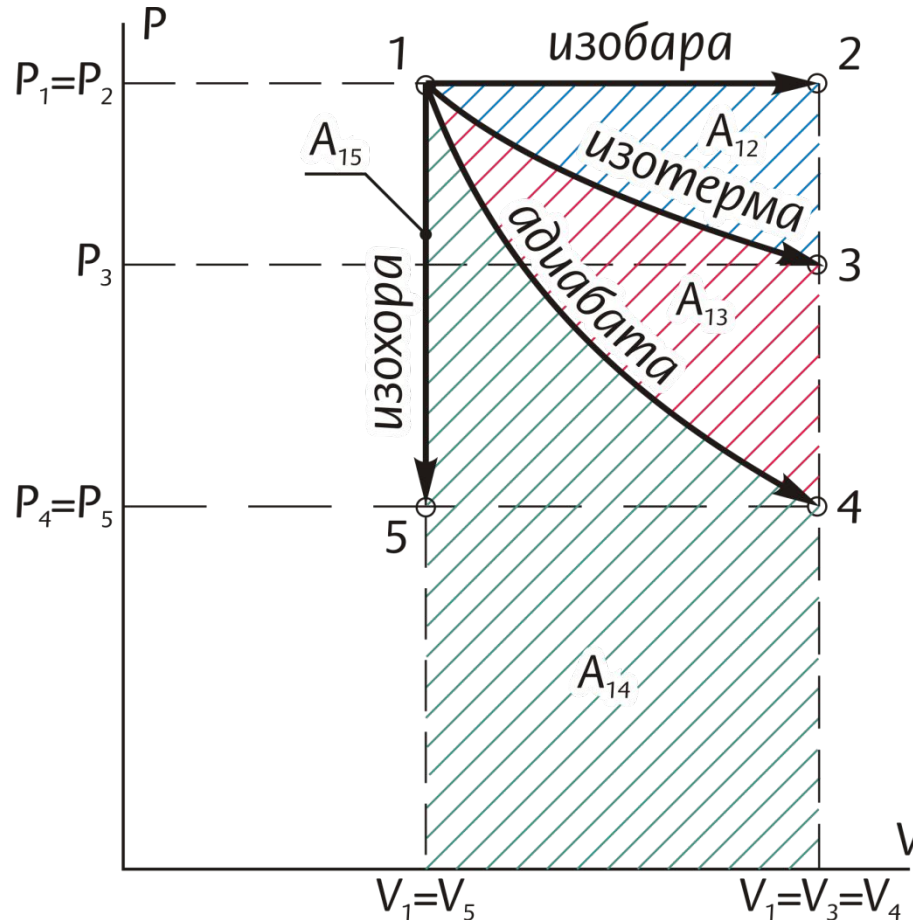


# 55 III ТЕРМОДИНАМИКА

## ТЕМА 5 Основы термодинамики



- Сравнительный анализ ТД - процессов



$$A_{12} > A_{13} > A_{14} > A_{15} = 0 \quad (1)$$

$$A_{12} = A_p = p_1 \cdot \Delta V_{12} = p_1 \cdot (V_2 - V_1) \quad (2)$$



# 56 III ТЕРМОДИНАМИКА

## ТЕМА 5 Основы термодинамики



- 1-ый закон ТД для изобарического процесса



изобарическое  
нагревание и  
расширение  
газа

$$\Delta U = Q_p - A_p \quad (1)$$



изобарическое  
сжатие и  
охлаждение  
газа

$$-\Delta U = A_p - Q_p \quad (2)$$



# 57 III ТЕРМОДИНАМИКА

## ТЕМА 5 Основы термодинамики

- Исследование изобарных процессов

$$Q_p = A_p + \Delta U \quad (1)$$

$$Q_p = C_p \cdot m \cdot \Delta T \quad (2)$$

В общем случае

$$\Delta U = \frac{f}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T \quad (3)$$

Для  $n$  – атомного  
газа

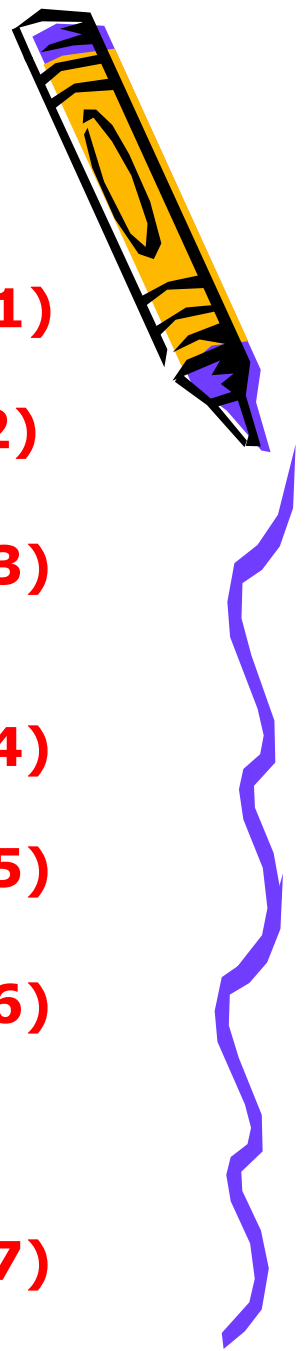
$$\Delta U_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T \quad (n=1) \quad (4)$$

$$\Delta U_2 = \frac{5}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T \quad (n=2) \quad (5)$$

$$\Delta U_3 = \frac{6}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T \quad (n \geq 3) \quad (6)$$

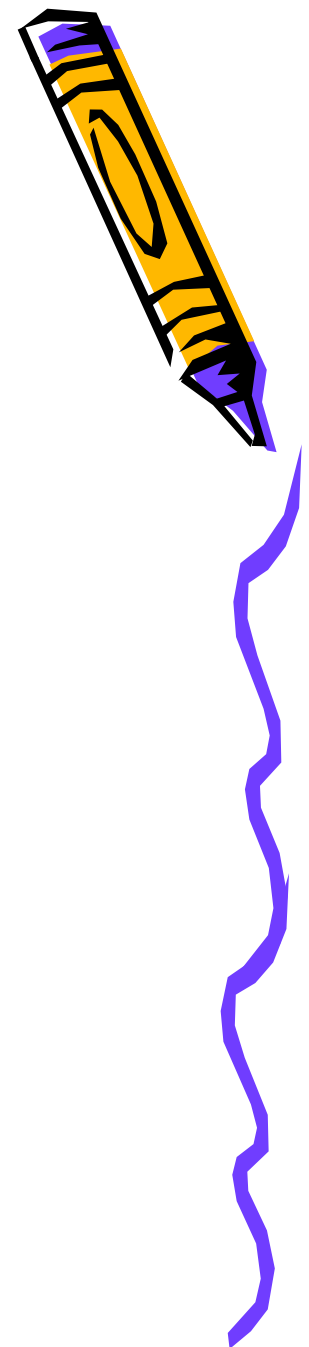
Уравнение Менделеева – Клапейрона

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \quad (7)$$



# 58 III ТЕРМОДИНАМИКА

## ТЕМА 5 Основы термодинамики



- Исследование изобарных процессов  
Для изобарного

процесса

$$A_p = p \cdot \Delta V = \text{(8)} \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T$$

Подставляя (4)-(6) и (8) в (1), получим

$$Q_{p1} = \frac{5}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T \text{ (9)} \quad (n=1)$$

$$Q_{p3} = \frac{7}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T \text{ (10)} \quad (n=2)$$

$$Q_{p3} = \frac{8}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T \text{ (11)} \quad (n \geq 3)$$

Сравниваем (9) – (11) с (2) устанавливаем

$$C_{p1} = \frac{5}{2} \cdot \frac{R}{M} \quad \text{(12)} \quad (n=1)$$

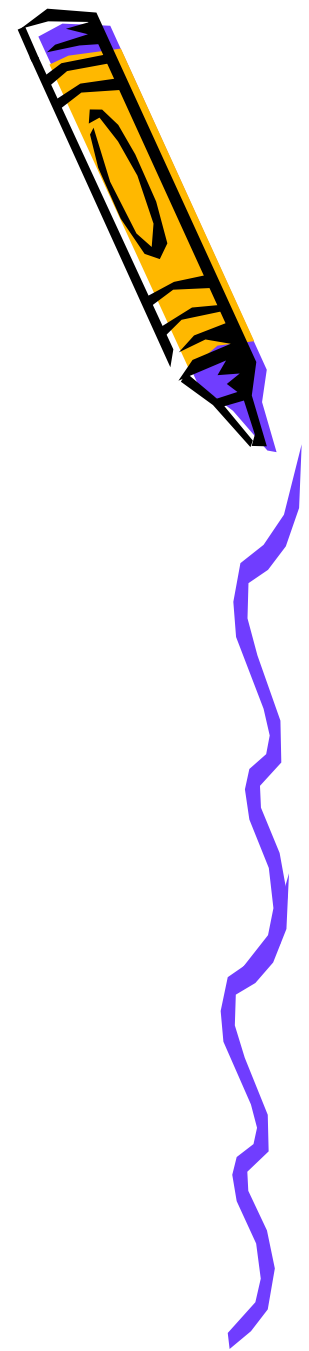
$$C_{p2} = \frac{7}{2} \cdot \frac{R}{M} \quad \text{(13)} \quad (n=2)$$

$$C_{p3} = \frac{8}{2} \cdot \frac{R}{M} \quad \text{(14)} \quad (n \geq 3)$$



# 59 III ТЕРМОДИНАМИКА

## ТЕМА 5 Основы термодинамики



- Исследование изобарных процессов

Формула Майера

$$C_p \cdot M = C_v \cdot M + R \quad (1)$$

$$C_{v1} = C_{p1} - \frac{R}{M} = \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{M} \quad (n=1) \quad (2)$$

$$C_{v2} = C_{p2} - \frac{R}{M} = \frac{5}{2} \cdot \frac{R}{M} \quad (n=2) \quad (3)$$

$$C_{v1} = C_{p1} - \frac{R}{M} = \frac{6}{2} \cdot \frac{R}{M} \quad (n \geq 3) \quad (4)$$

Показатели адиабаты

$$\kappa_1 = \frac{C_{p1}}{C_{v1}} = \frac{5}{3} \approx 1,67 \quad (n=1) \quad (5)$$

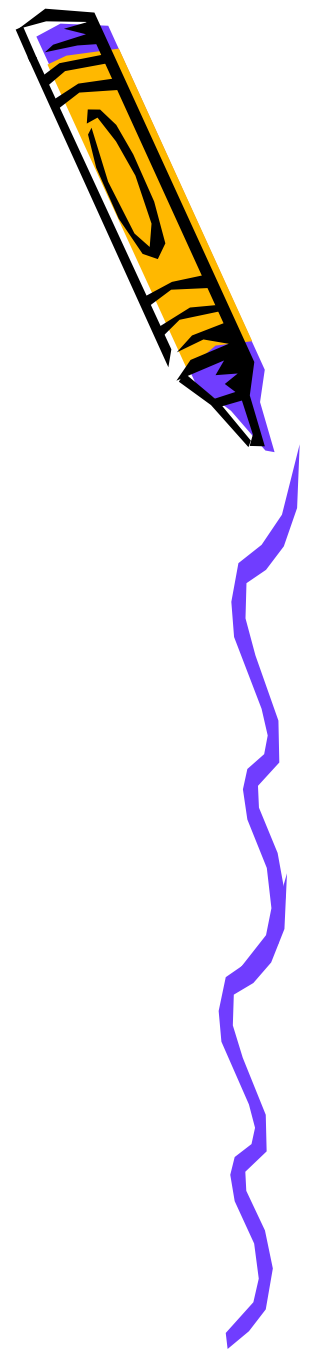
$$\kappa_2 = \frac{C_{p2}}{C_{v2}} = \frac{7}{5} = 1,4 \quad (n=2) \quad (6)$$

$$\kappa_3 = \frac{C_{p3}}{C_{v3}} = \frac{8}{6} \approx 1,33 \quad (n \geq 3) \quad (7)$$



# 60 III ТЕРМОДИНАМИКА

## ТЕМА 5 Основы термодинамики



- Исследование изобарных процессов

$k$  и  $\partial$  изобарических процессов расширения газов

$$\eta_1 = \frac{A_p}{Q_{p1}} = \frac{2}{5} = 0,4 \quad (n=1) \quad (8)$$

$$\eta_2 = \frac{A_p}{Q_{p2}} = \frac{2}{7} = 0,286 \quad (n=2) \quad (9)$$

$$\eta_3 = \frac{A_p}{Q_{p3}} = \frac{2}{8} = 0,25 \quad (n \geq 3) \quad (10)$$

Коэффициент тепловых потерь

$$\xi_1 = \frac{\Delta U_1}{Q_{p1}} = \frac{3}{5} = 0,6 \quad (n=1) \quad (11)$$

$$\xi_2 = \frac{\Delta U_2}{Q_{p2}} = \frac{5}{7} = 0,714 \quad (n=2) \quad (12)$$

$$\xi_3 = \frac{\Delta U_3}{Q_{p3}} = \frac{6}{8} = 0,25 \quad (n \geq 3) \quad (13)$$



# 61 III ТЕРМОДИНАМИКА

## ТЕМА 5 Основы термодинамики



Сравнительный анализ изобарных процессов таблица

N п / п	Газ	Число степеней свободы f	Изменение внутренней энергии $\Delta U_i$	Количес- тво теплоты $Q_{pi}$	Удельная теплоем-ть газа		$\kappa_i =$ $= \frac{C_{pi}}{C_{vi}}$	Коэффициенты				При- меры газов
					$C_{pi}$	$C_{Vi}$		$\eta_i = \frac{A_p}{Q_{pi}}$	$\xi_i = \frac{\Delta U_i}{Q_{pi}}$	$\frac{U_i}{U_1}$	$\frac{Q_{pi}}{Q_{p1}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	одно- атомн.  (n=1)	f=3	$\Delta U_1 =$ $= \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \cdot \Delta T$	$Q_{p1} =$ $= \frac{5}{2} \frac{m}{M} R \cdot \Delta T$	$C_{p1} =$ $= \frac{5R}{2M}$	$C_{V1} =$ $= \frac{3R}{2M}$	1,67	0,4	0,6	1	1	H; N; He; Cl.
2	двух- атомн.  (n=2)	f=5	$\Delta U_2 =$ $= \frac{5}{2} \frac{m}{M} R \cdot \Delta T$	$Q_{p2} =$ $= \frac{7}{2} \frac{m}{M} R \cdot \Delta T$	$C_{p2} =$ $= \frac{7R}{2M}$	$C_{V2} =$ $= \frac{5R}{2M}$	1,4	0,286	0,714	5/3	7/5	H <sub>2</sub> ; O <sub>2</sub> ; N <sub>2</sub> ; CO.
3	много- атомн.  (n=3)	f=6	$\Delta U_3 =$ $= \frac{6}{2} \frac{m}{M} R \cdot \Delta T$	$Q_{p3} =$ $= \frac{8}{2} \frac{m}{M} R \cdot \Delta T$	$C_{p3} =$ $= \frac{8R}{2M}$	$C_{V3} =$ $= \frac{6R}{2M}$	1,33	0,25	0,75	2	8/5	CO <sub>2</sub> ; CH <sub>4</sub> .



# 62 III ТЕРМОДИНАМИКА

## ТЕМА 5 Основы термодинамики

- Из анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для получения наибольшей работы в тепловых машинах реализация в них изобарных процессов является предпочтительной в сравнении с изотермическими и адиабатическими.





# 63 III ТЕРМОДИНАМИКА

## ТЕМА 5 Основы термодинамики

- Из анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

2. Реализация изохорных процессов целесообразна только в циклических тепловых машинах для обеспечения быстрого изменения давления в рабочей камере (повышения давления при сжигании топлива и понижения давления при выхлопе продуктов сгорания). При изохорных процессах работа не совершается.

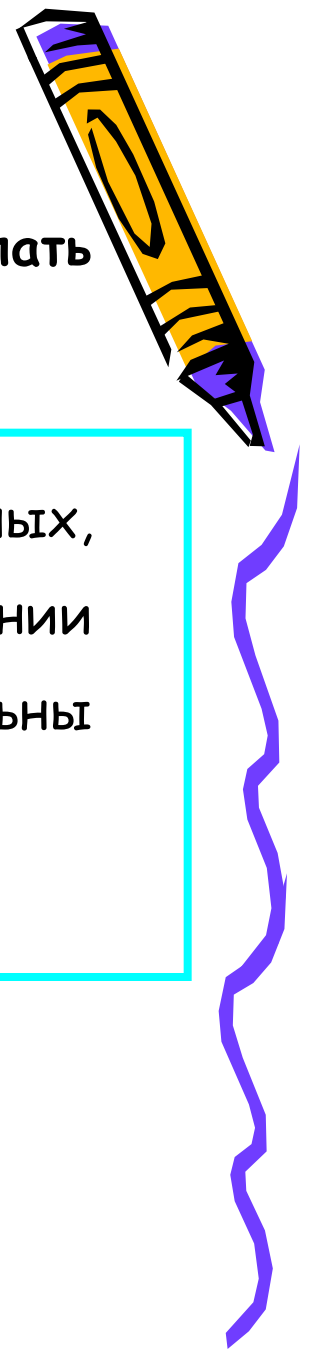


# 64 III ТЕРМОДИНАМИКА

## ТЕМА 5 Основы термодинамики

- Из анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

3. Удельные теплоемкости газов (одноатомных, двухатомных и многоатомных) при постоянном давлении ( $C_p$ ) и постоянном объеме ( $C_v$ ) обратно пропорциональны молярным массам газов.



# 65 III ТЕРМОДИНАМИКА

## ТЕМА 5 Основы термодинамики



- Из анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

4. Показатели адиабаты  $K = \frac{C_p}{C_v}$  не зависят от конкретного химического состава газа и являются константами: для одноатомных идеальных газов  $K_1 = \frac{C_{p1}}{C_{v1}} \approx 1,67$  ;  
для двухатомных идеальных газов  $K_2 = \frac{C_{p2}}{C_{v2}} \approx 1,4$  .  
для трехатомных и многоатомных идеальных газов  $K_3 = \frac{C_{p3}}{C_{v3}} \approx 1,33$  .



# 66 III ТЕРМОДИНАМИКА

## ТЕМА 5 Основы термодинамики



- Из анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

5. Для любых двухатомных, трехатомных и многоатомных газов при протекании а них изобарических процессов в условиях одинаковых изменений температур изменения внутренних энергий ( $i = 2,3$ ) и количества теплоты  $Q_{pi}$  ( $i = 2,3$ ), соответственно, для двухатомных газов на 67% и 40% превышают изменения внутренней энергии  $\Delta U_i$  и количества теплоты  $Q_{pi}$ , наблюдаемые для одноатомных газов при тех же условиях; а также для трехатомных и многоатомных газов превышают, соответственно, в 2 раза и на 60% изменение внутренней энергии  $\Delta U_i$  и количества теплоты  $Q_{pi}$ , наблюдаемые при тех же изменениях температур ( $\Delta T$ ) для одноатомных газов.



# 67 III ТЕРМОДИНАМИКА

## ТЕМА 5 Основы термодинамики



- Из анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

6. Коэффициенты полезного действия тепловых машин, в которых реализуется изобарические процессы расширения газов, не зависят от конкретного химического состава рабочего тела и составляют  $\eta_1 = 40\%$  при изменении в качестве рабочего тела одноатомных идеальных газов,  $\eta_2 = 28,6\%$  при применении двухатомных идеальных газов, и  $\eta_3 = 25\%$  при применении трехатомных и многоатомных идеальных газов.



# 68 III ТЕРМОДИНАМИКА

## ТЕМА 5 Основы термодинамики



- Из анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

7. Коэффициенты тепловых потерь тепловых машин, в которых реализованы изобарические процессы расширения газов составляют, соответственно, для одноатомных  $\xi_1 = 60\%$ , двухатомных  $\xi_2 = 71,4\%$ , а также трехатомных и многоатомных газов  $\xi_3 = 75\%$ , причем они не зависят от конкретного химического состава рабочего тела (газа).



# 69 III ТЕРМОДИНАМИКА

## ТЕМА 5 Основы термодинамики



- Из анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

8. Применение в качестве рабочего тела тепловых машин (ТМ), в которых реализуются изобарические ТД - процессы, одноатомных газов ( $n = 1$ ) является предпочтительным нежели применение  $n$  - атомных газов ( $n \geq 2$ ) при тех же условиях, т.к. при одинаковых условиях коэффициенты полезного действия этих тепловых машин в первом случае получаются максимальными, а коэффициенты тепловых потерь - минимальными.

