

***Тема 1.1 Физические  
основы  
функционирования  
пневмосистем***

Воздух представляет собой газовую смесь, в основном состоящую из двух газов:

азота  $N_2$  (78,08%)

кислорода  $O_2$  (20,95%).

В небольших количествах в нем присутствуют инертные газы

*аргон Ar,*

*неон Ne,*

*гелий He,*

*криптон Kr*

*ксенон Xe*

*водород  $H_2$  (0,94%)*

*а также диоксид углерода (углекислый газ)  $CO_2$  (0,03%).*

# 1. Основные параметры газа

## Давлени



Рис. 1.1. Иллюстрация действия закона Паскаля

$$p = F/S$$

давление —  
 $p$ ,  
сила —  $F$ ,  
площадь —  $S$

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$$

$$1 \text{ бар} = 10^6 \text{ Па} = 10^2 \text{ кПа} = 0,1 \text{ МПа}$$

# Температур

**а.**

Термодинамическая, или абсолютная, температура  $T$  [К] и температура по Международной практической шкале  $t$  [°C] связаны соотношением  $T=t + 273,15$ .

# Плотност

**б.**

$$\rho = \frac{m}{V}$$

плотность  $\rho$  [кг/м<sup>3</sup>]  
Масса вещества  $m$   
[кг]  
объем  $V$ [м<sup>3</sup>]

# Удельный объем.

Удельный объем  $v$  [м<sup>3</sup>/кг] — это величина, обратная плотности:  $v = 1/\rho$ .

# Основные физические свойства газов

*Сжимаемос  
ть*

*Температурное  
расширение*

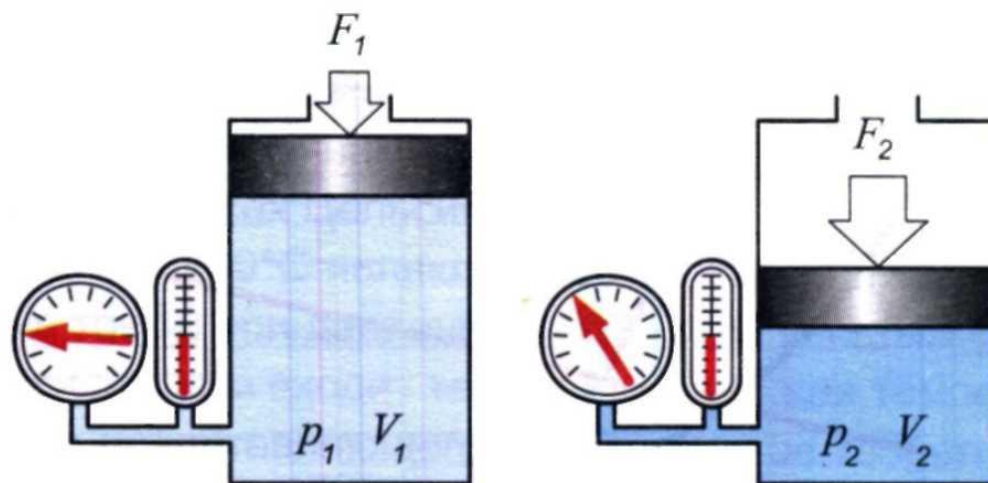
*Вязкост  
ь*

# Основные газовые

## законы Иллюстрация закона Бойля — Мариотта

$$T = \text{const}$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = \text{const}$$



*Решение задачи.*

*Закон Бойля – Мариотта.*

Атмосферный воздух объёмом  $1\text{ м}^3$  был сжат при неизменной температуре до избыточного давления 6 бар. Какова степень сжатия воздуха? Какой объём будет занимать сжатый воздух?

## *Решение задачи.*

### *Закон Бойля – Мариотта.*

Атмосферный воздух объёмом  $1\text{ м}^3$  был сжат при неизменной температуре до избыточного давления 6 бар. Какова степень сжатия воздуха? Какой объём будет занимать сжатый воздух?

Дано:

$$V_1 = 1\text{ м}^3$$

$$p_1 = 1,013 \text{ бар}$$

$$p_{2\text{изб}} = 6 \text{ бар}$$

Найти :

$$V_1/V_2; V_2$$



## *Решение задачи.*

### *Закон Бойля – Мариотта.*

Атмосферный воздух объёмом  $1\text{ м}^3$  был сжат при неизменной температуре до избыточного давления 6 бар. Какова степень сжатия воздуха? Какой объём будет занимать сжатый воздух?

Дано:

$$V_1 = 1\text{ м}^3$$

$$p_1 = 1,013 \text{ бар}$$

$$p_{2\text{изб}} = 6 \text{ бар}$$

Решение:

$$V_1 / V_2 = p_2 / p_1;$$

$$V_1 / V_2 = 6 + 1,013 / 1,013 = 7,013 / 1,013 \approx 6,923.$$

$$V_2 = p_1 V_1 / p_2; V_2 = 1,013 * 1 / 7,013 \approx 0,144\text{ м}^3$$

Найти :

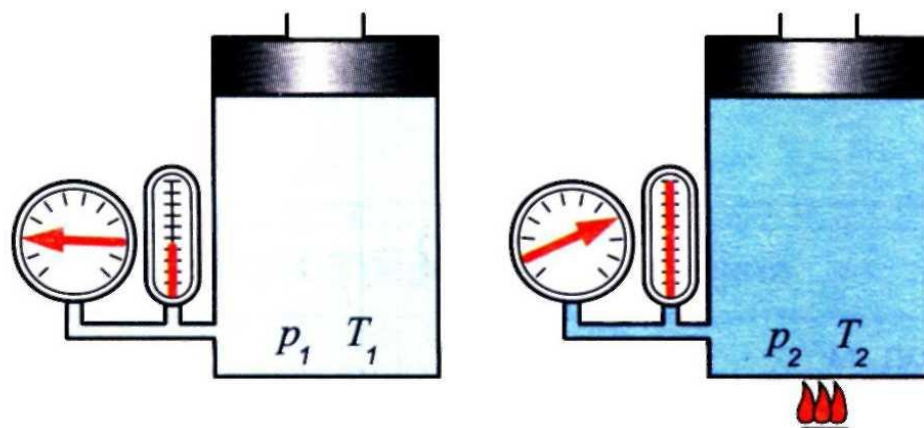
$$V_1 / V_2; V_2$$

Ответ:  $V_1 / V_2 \approx 6,923; V_2 \approx 0,144\text{ м}^3.$

# Иллюстрация закона Шарля

$V = const$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$



## *Решение задачи.*

### *Закон Шарля.*

В ресивере (пневматической ёмкости) находится воздух под избыточным давлением 5 бар при температуре окружающей среды  $18^{\circ}\text{C}$ . Каковы будут показания манометра, установленного на ресивере, если температура сжатого воздуха в нем повысится на  $10^{\circ}\text{C}$ ?

Дано:

$$p_{1\text{изб}} = 5 \text{ бар};$$

$$t_1 = 18^{\circ}\text{C};$$

$$t_2 = 28^{\circ}\text{C};$$

Найти:

$$P_{2\text{изб}}.$$

## *Решение задачи.*

### *Закон Шарля.*

В ресивере (пневматической ёмкости) находится воздух под избыточным давлением 5 бар при температуре окружающей среды 18°C. Каковы будут показания манометра, установленного на ресивере, если температура сжатого воздуха в нем повысится на 10°C?

Дано:

$$p_{1\text{изб}} = 5 \text{ бар};$$

$$t_1 = 18^\circ\text{C};$$

$$t_2 = 28^\circ\text{C};$$

Найти:

$$P_{2\text{изб}}.$$

Решение:

$$p_2 = p_1 * T_2/T_1.$$

$$p_1 = 5 + 1,013 = 6,013 \text{ бар};$$

$$T_1 = 273,15 + 18 = 291,15\text{K};$$

$$T_2 = 273,15 + 28 + 301,15 \text{ K}.$$

$$p_2 = 6,013 * 301,15/291,15 \approx 6,220 \text{ бар};$$

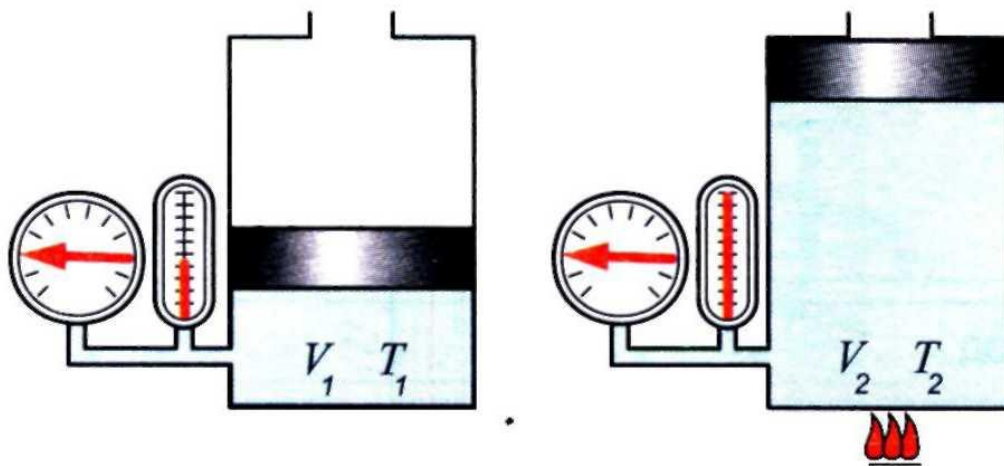
$$p_{2\text{изб}} = 6,220 - 1,013 \approx 5,207 \text{ бар}.$$

Ответ:  $p_{2\text{изб}} \approx 5,207 \text{ бар}.$

# Иллюстрация закона Гей-Люссака

$$p = \text{const}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$



## *Решение задачи.*

### *Закон Гей – Люссака.*

При температуре окружающей среды  $22^{\circ}\text{C}$  воздух, находящийся под избыточным давлением 6 бар, занимает объем  $1\text{ м}^3$ . Какой объем будет занимать воздух, если его температура понизится на  $10^{\circ}\text{C}$ , а давление останется неизменным?

Дано:

$$V_1 = 1\text{ м}^3;$$

$$t_1 = 22^{\circ}\text{C};$$

$$t_2 = 12^{\circ}\text{C};$$

Найти:  $V_2$

## *Решение задачи.*

### *Закон Гей – Люссака.*

При температуре окружающей среды  $22^{\circ}\text{C}$  воздух, находящийся под избыточным давлением 6 бар, занимает объем  $1\text{ м}^3$ . Какой объем будет занимать воздух, если его температура понизится на  $10^{\circ}\text{C}$ , а давление останется неизменным?

Дано:

$$V_1 = 1\text{ м}^3;$$

$$t_1 = 22^{\circ}\text{C};$$

$$t_2 = 12^{\circ}\text{C};$$

Решение:

$$V_2 = V_1 * T_2 / T_1$$

$$T_1 = 273,15 + 22 = 295,15\text{K};$$

$$T_2 = 273,15 + 12 = 285,15\text{K}$$

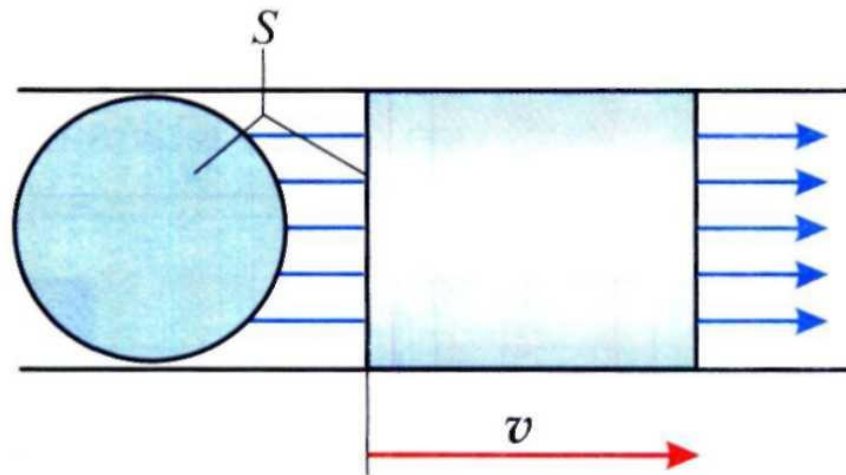
$$V_2 = 1,3 * 285,15 / 295,15 \approx 1,256 \text{ м}^3$$

Найти:  $V_2$

Ответ:  $V_2 \approx 1,256 \text{ м}^3$

# Течение

## газ $\mathcal{Q}$ асход (Q)



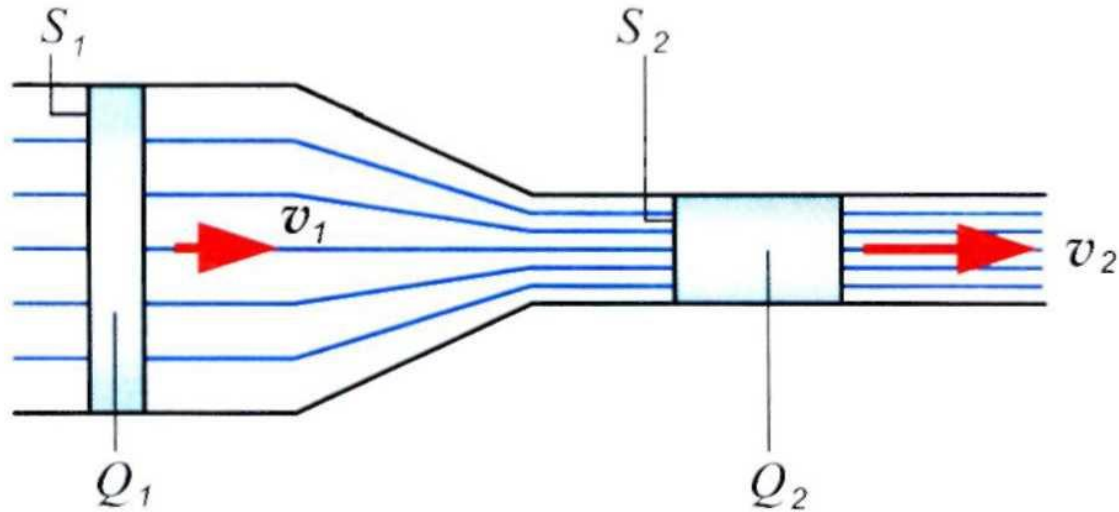
$$Q = u S,$$

где  $u$  — средняя по сечению скорость потока, м/с;

$S$  — площадь поперечного сечения трубопровода, м<sup>2</sup>



## *Расход жидкости при течении по трубе переменного сечения.*



Исходя из закона сохранения вещества, а также из предположения о сплошности (неразрывности) потока для установившегося течения несжимаемой жидкости, можно утверждать, что объемный расход через любое сечение одинаков

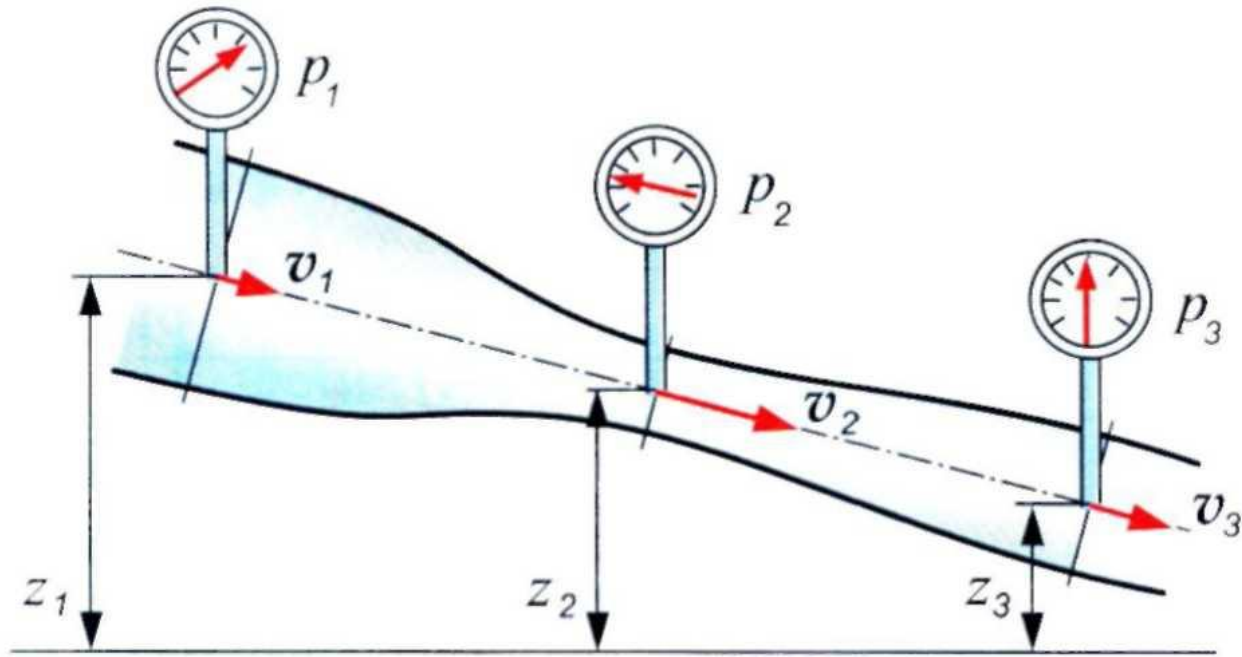
Это явление описывается *уравнением неразрывности*

$$Q_1 = S_1 v_1 = S_2 v_2 = Q_2 = \text{const.}$$

Из данного уравнения следует, что в узком сечении трубы поток ускоряется:

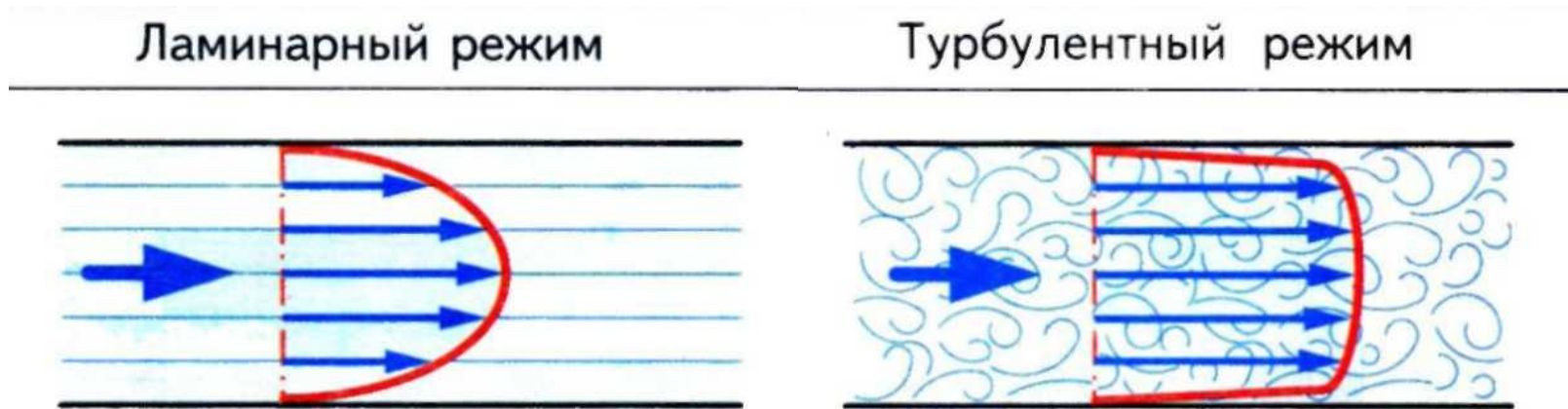
$$v_2 = v_1 S_1 / S_2$$

# Уравнение Бернулли



$$gz_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = gz_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} = gz_3 + \frac{p_3}{\rho} + \frac{v_3^2}{2}$$

# Режимы течения



*Рис. Эпюры скоростей при различных режимах течения*

Ламинарный режим характеризуется упорядоченным движением (слоями) жидкости или газа, причем скорости внешних слоев меньше, чем внутренних. Когда скорость движения превысит некоторую критическую величину, слои начинают перемешиваться, образуются вихри; течение становится турбулентным, возрастают потери энергии.



Чебоксарский  
Электромеханический  
Колледж