

Система кровообращения человека обладает
минимальным сечением

в области аорты, равным примерно 8 см^2 ,
и максимальным сечением в области капилляров.

Оцените примерную суммарную
площадь сечения капилляров в теле человека
и общее их количество, если скорость
течения крови уменьшается от $0,4 \text{ м/с}$
в аорте до $0,005 \text{ м/с}$ в капиллярах.

Диаметр капилляра считать равным 10^{-5} м .

Эластичностью сосудов пренебречь.

Все данные переводятся в СИ:

$$S_A = 8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Уравнение неразрывности:

$$v_A S_A = v_K S_{\Sigma K}$$

$$S_{\Sigma K} = \frac{v_A S_A}{v_K}$$

$$N_K = \frac{S_{\Sigma K}}{\frac{\pi d_K^2}{4}} = \frac{4 S_{\Sigma K}}{\pi d_K^2}$$

При нормальной частоте сокращений сердца полный кругооборот крови происходит за 60 с.

Считая объём крови равным 5 л, определите общее сопротивление кровотоку.

Перепад давления в сердце принять равным 13,3 кПа.

$$M_K = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$\Delta p = 13,3 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$Q_V = \frac{\Delta p}{R_{\Gamma V}} \Rightarrow R_{\Gamma V} = \frac{\Delta p}{Q_V}$$

$$Q_V = \frac{V_K}{t}$$

$$R_{\Gamma V} = \frac{\Delta p \cdot t}{V_K}$$

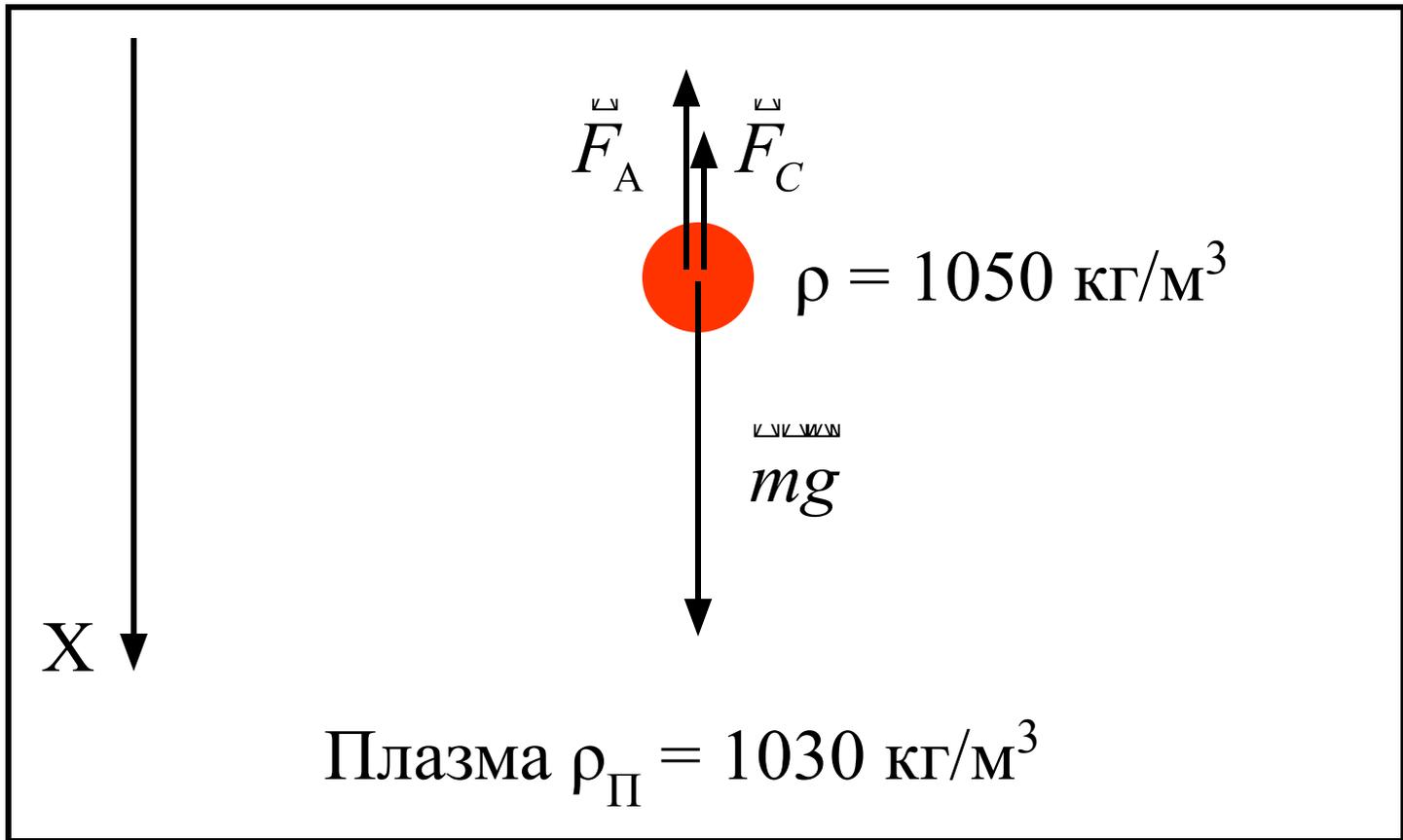
$$[R_{\Gamma V}] = \frac{[\Delta p] \cdot [t]}{[M_K]} = \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}^3}$$

Определите скорость оседания эритроцитов в плазме крови (в мм/ч)

исходя из предположения, что они имеют форму шариков диаметром 7 мкм и не склеиваются между собой. Вязкость крови 5 мПа·с, плотность крови 1050 кг/м³, плотность плазмы крови 1030 кг/м³.

$$d_k = 7 \cdot 10^{-6}$$

$$\eta = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$



$$\vec{v} = \text{const}$$

$$\sum \vec{F}_i = \vec{mg} + \vec{F}_A + \vec{F}_C = 0$$

$$mg - F_A - F_C = 0$$

$$mg = \rho Vg = \rho \frac{1}{6} \pi d^3 g$$

$$F_C = 6\eta v = 3\pi\eta d$$

$$F_A = \rho_{\Pi} Vg = \rho_{\Pi} \frac{1}{6} \pi d^3 g$$

$$\rho \frac{1}{6} \pi d^3 g - \rho_{\Pi} \frac{1}{6} \pi d^3 g - 3\pi\eta d v = 0 \quad \times \frac{6}{\pi d}$$

$$\rho d^2 g - \rho_{\Pi} d^2 g - 18\eta v = 0$$

$$v = \frac{(\rho - \rho_{\Pi}) d^2 g}{18\eta}$$

$$[v] = \frac{m}{c} = \frac{10^3 \text{ мм}}{\frac{1}{3600} \text{ час}} = 3,6 \cdot 10^6 \frac{\text{мм}}{\text{час}}$$

Оцените сопротивление кровотоку
в капилляре длиной 0,7 мм и диаметром 8 мкм.

$$l = 0,7 \cdot 10^{-3}$$

$$R = 4 \cdot 10^{-6}$$

$$R_{\text{ГМ}} \approx \frac{8\eta l}{\pi \rho R^4}$$

$$\eta = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$$

$$[R_{\Gamma M}] = \frac{[\eta][l]}{[\rho][R]^4} = \frac{\Pi a \cdot c \cdot m}{\frac{\kappa \mathcal{Z}}{m^3} m^4} = \frac{\Pi a \cdot c}{\kappa \mathcal{Z}}$$

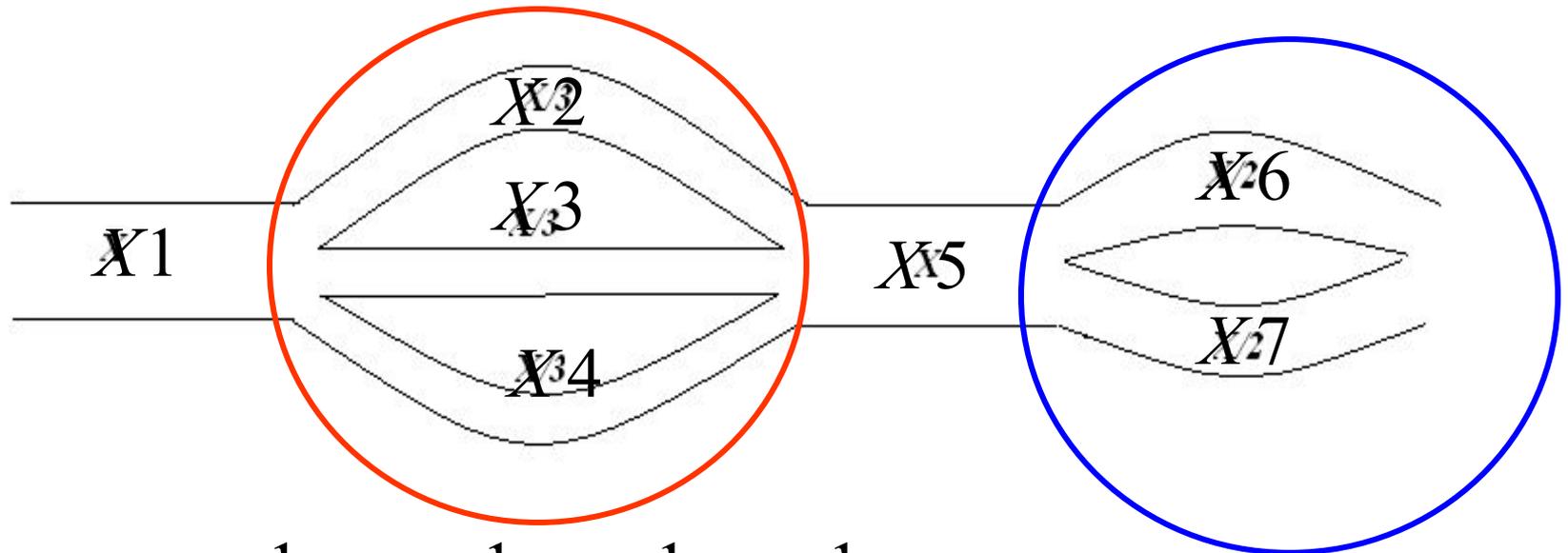
$$[R_{\Gamma V}] = \frac{\Pi a \cdot c}{m^3}$$

$$[R_{\Gamma V}] = \frac{\Pi a \cdot c}{m^3} = [R_{\Gamma M}][X] = \frac{\Pi a \cdot c}{\kappa \mathcal{Z}}[X]$$

$$[X] = \frac{\kappa \mathcal{Z}}{m^3}$$

$$R_{\Gamma V} = \rho R_{\Gamma M}$$

Оцените общее гемодинамическое сопротивление системы сосудов.



$$\frac{1}{X_{(2-4)}} = \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3} + \frac{1}{X_4}$$

$$\frac{1}{X_{(6-7)}} = \frac{1}{X_6} + \frac{1}{X_7}$$

$$X = X_1 + X_{(2-4)} + X_5 + X_{(6-7)}$$

При атеросклерозе критическое число Рейнольдса в некоторых сосудах становится равным 1060.

Оцените скорость, при которой возможен переход ламинарного течения крови в турбулентное в сосуде диаметром 15 мм.

$$d = 15 \cdot 10^{-3}$$

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta}$$

$$v = \frac{Re \cdot \eta}{\rho \cdot d}$$

$$\eta = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$$

Доплеровский сдвиг частоты при отражении механической волны от движущихся эритроцитов равен 50 Гц, частота генератора равна 100 кГц.

Определите скорость движения крови в кровеносном сосуде. Скорость механической волны 1540 м/с.

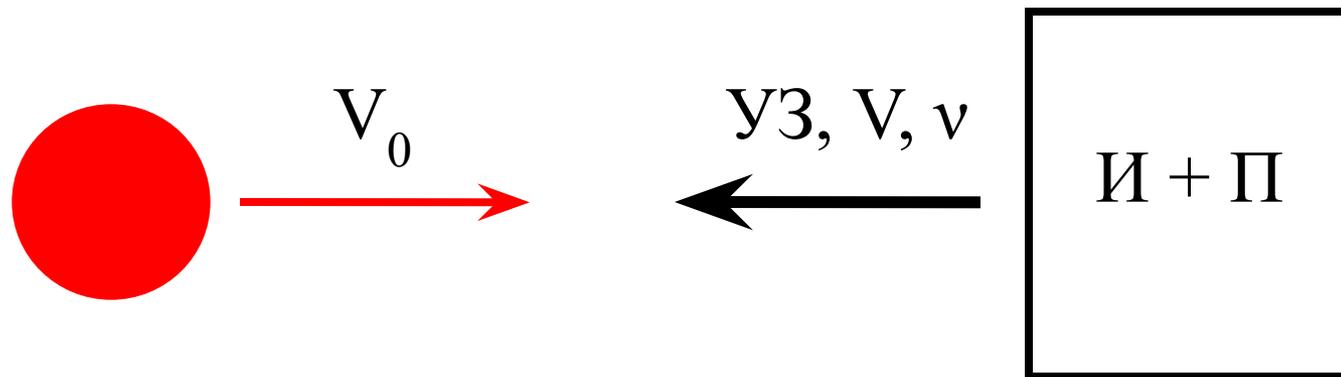
$$\nu = 100 \cdot 10^3 \text{ Гц}$$

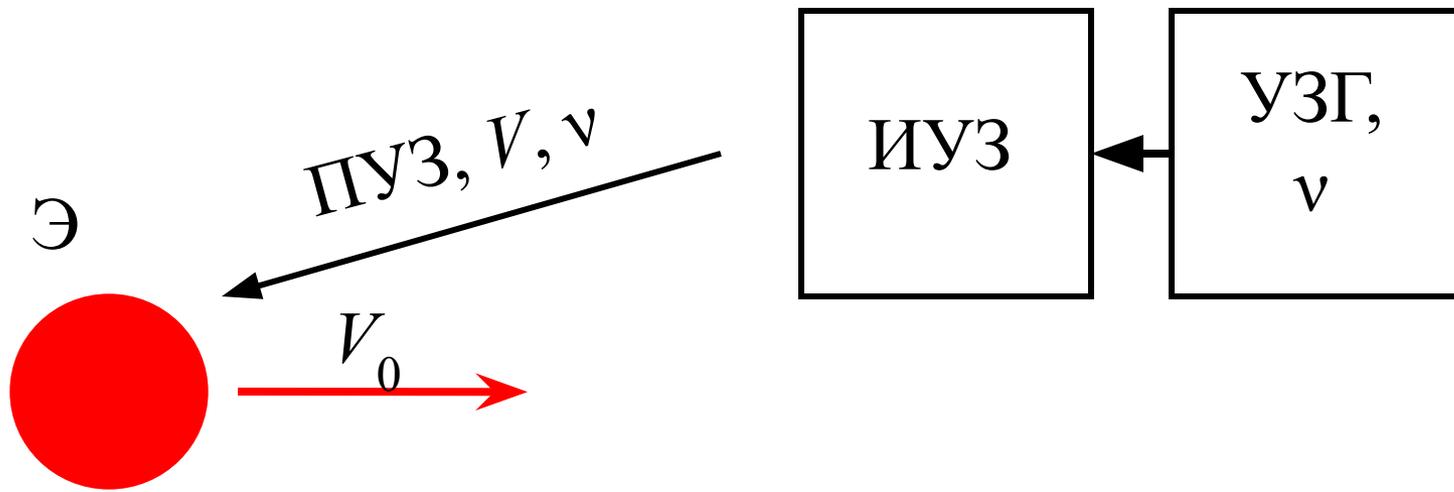
$$\Delta\nu = 50 \text{ Гц}$$

$$V = 1540 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Эффект Доплера – изменение частоты волн, регистрируемых приемником, вследствие относительного движения источника и приемника

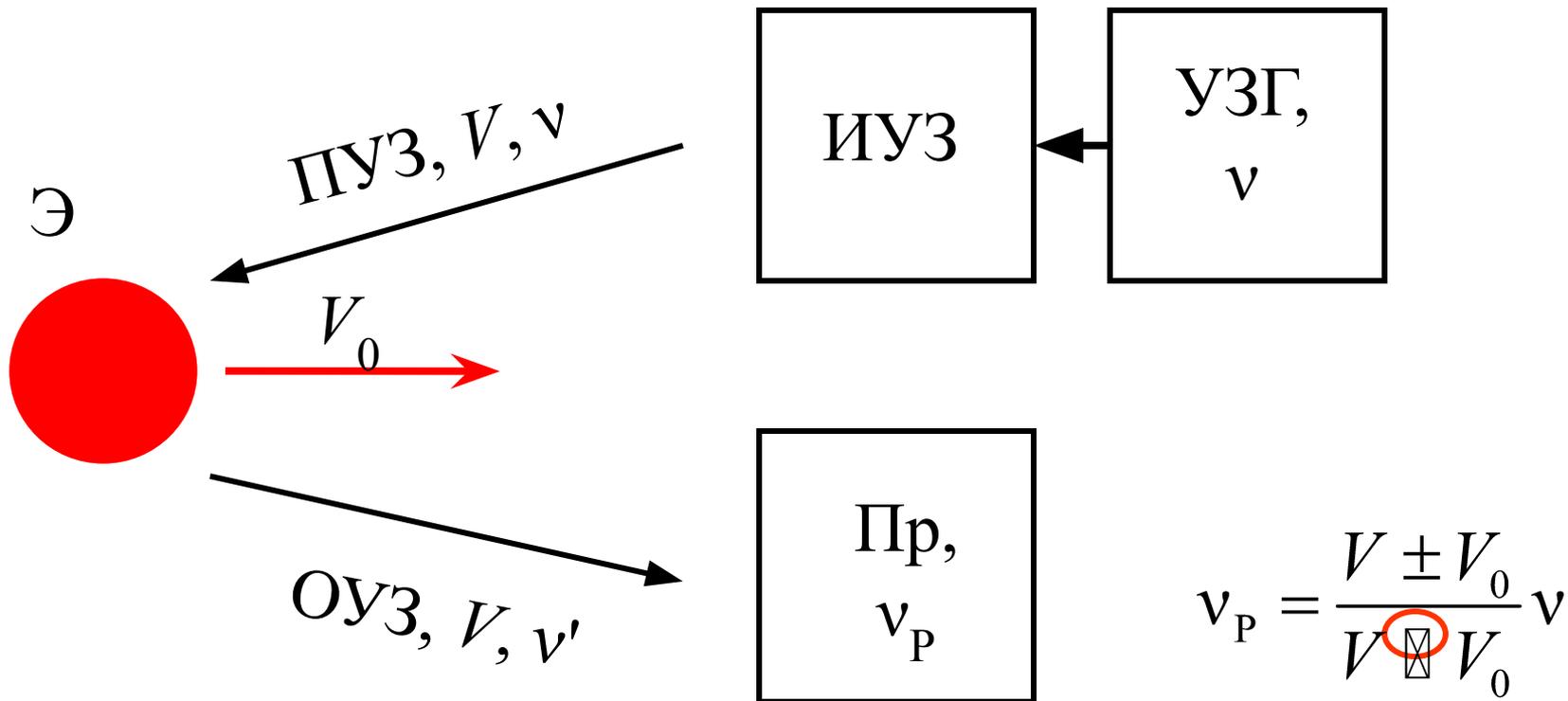
$$\nu_P = \frac{V \pm V_{\Pi}}{V \mp V_S} \nu$$





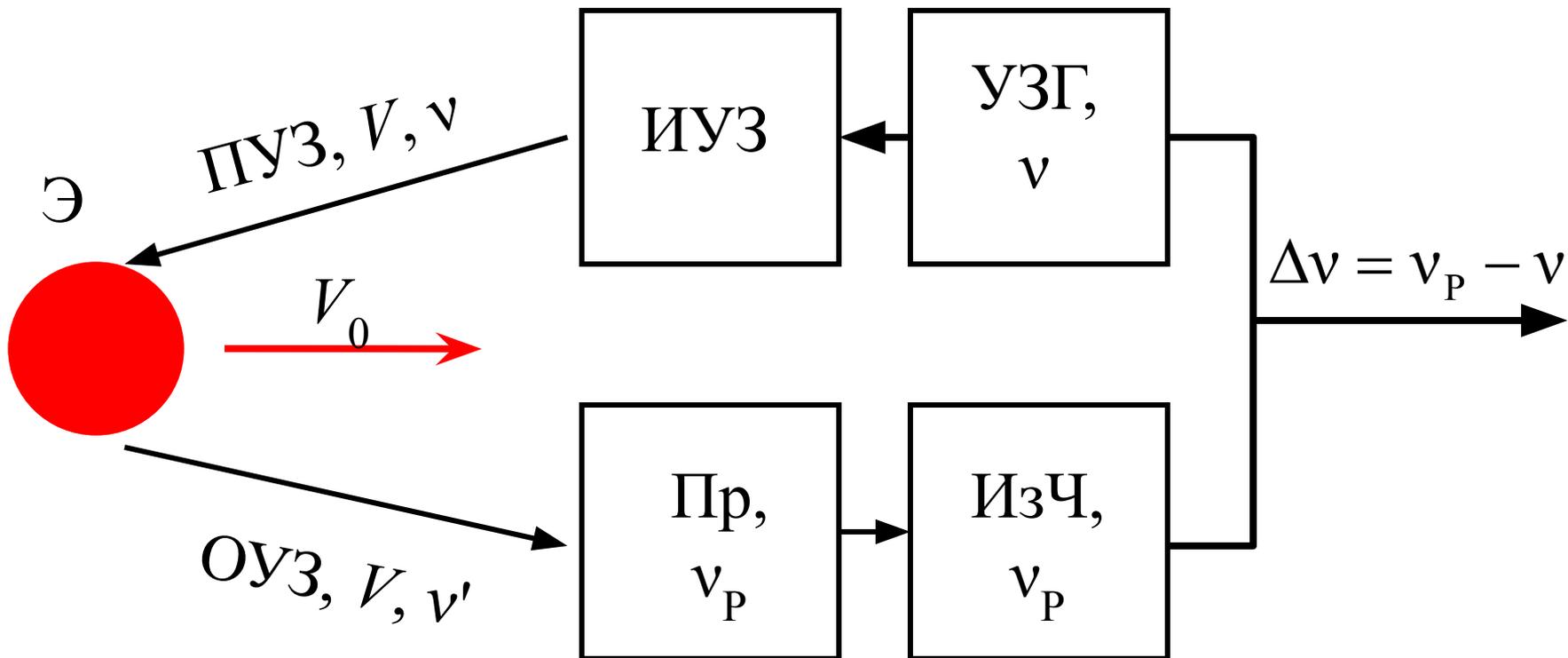
$$v_P = \frac{V \oplus V_0}{V \boxtimes V_S} v$$

Для ИУЗ: Э – приемник УЗ, движущийся навстречу
с относительной скоростью $V_{\Pi} = V_0$



Для приемника: Э – источник УЗ (отраженного), движущийся навстречу с относительной скоростью

$$V_S = V_0$$



$$v_P = \frac{V + V_0}{V - V_0} v$$

$$\Delta \mathbf{v} = \frac{V + V_0}{V - V_0} \mathbf{v} - \mathbf{v}$$

$$\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v} \left(\frac{V + V_0}{V - V_0} - 1 \right) \approx \frac{2V_0}{V} \mathbf{v}$$

$$V_0 = \frac{\Delta \mathbf{v} V}{\mathfrak{Q}}$$

Проанализировать:

$$A_{1C} = A_{\Lambda} + A_{\Pi} = 1,2 A_{\Lambda} = 1,2 \left(p_{CT} V_{y\partial ap} + \frac{\rho V_{y\partial ap} v^2}{2} \right)$$

$$\frac{A_{\Lambda}}{A_{\Pi}} = \frac{N_{\Lambda}}{P_{\Pi}} = 5$$

$$A_{\Lambda} = A_{\partial} + A_{\nabla}$$

$$A_{\partial} = p_{CT} V_{y\partial ap}$$

$$A_{\nabla} = \frac{\rho V_{y\partial ap} v^2}{2}$$

$$\frac{A_V^{\boxtimes}}{A_{1C}} = \frac{\frac{\rho V_{y\partial ap} v^2}{2}}{p_{CT} V_{y\partial ap} + \frac{\rho V_{y\partial ap} v^2}{2}}$$

$$\frac{A_V^{\boxtimes}}{A_{1C}} = \frac{\rho v^2}{2 p_{CT} + \rho v^2}$$

$$\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$$

$$v \approx 0,5 \text{ м/с}$$

$$p_{CT} = \frac{p_c + p_d}{2} = \frac{120 + 80}{2} = 100$$

$$\frac{1000}{4} = 250$$

$$\frac{A_V}{A_{1C}} = \frac{\rho v^2}{\beta p_{CT} + 2} = \frac{1050 \cdot 0,5^2}{133 + 250} =$$

$$\approx \frac{250}{250 \cdot 100} \approx 0,01 \quad (1\%)$$

На зачетное занятие по «Гемодинамике» иметь:

1. Чистая бумага;
2. Авторучки;
3. Калькулятор

Не иметь (даже в мыслях):

1. Полиграфия;
2. Гаджеты