

XIII Всероссийская летняя школа учителей физики

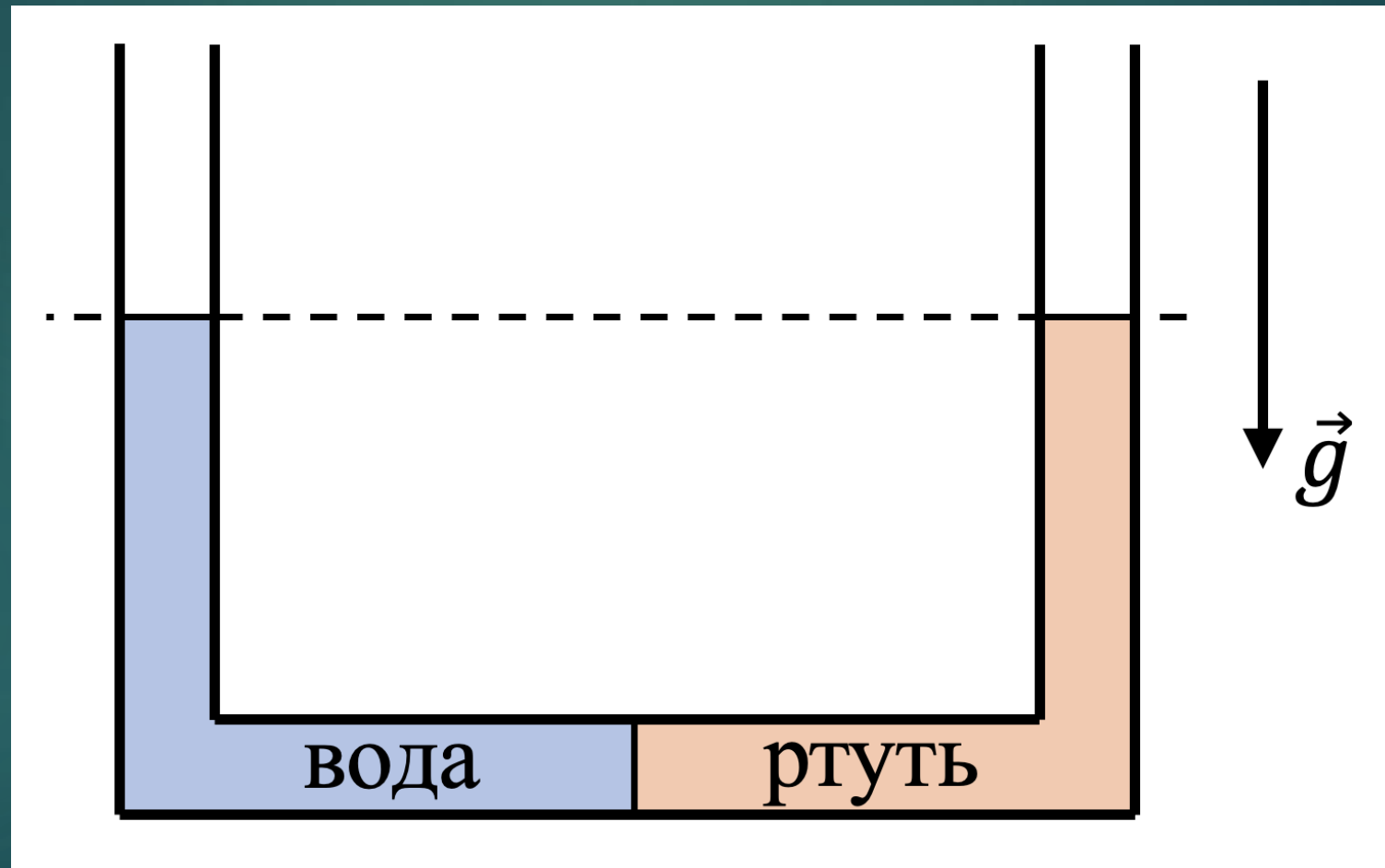
Равновесие жидкости и сила Архимеда в движущемся сосуде

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
Ассистент Шевцов Владислав Сергеевич

июнь-июль 2025 года

ВОЗМОЖНО ЛИ ТАКОЕ?

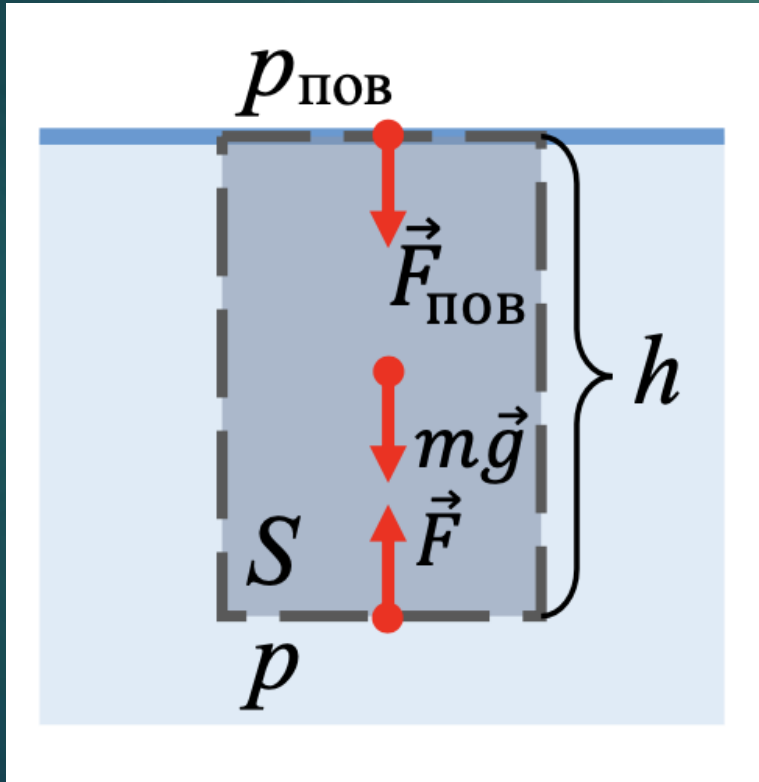
2



Гидростатическое давление

3

Гидростатическим давлением называется давление жидкости на покоящееся в ней тело



$$F = F_{\text{пов}} + mg$$

$$pS = p_{\text{пов}}S + \rho Shg$$

$$p = p_{\text{пов}} + \rho gh$$

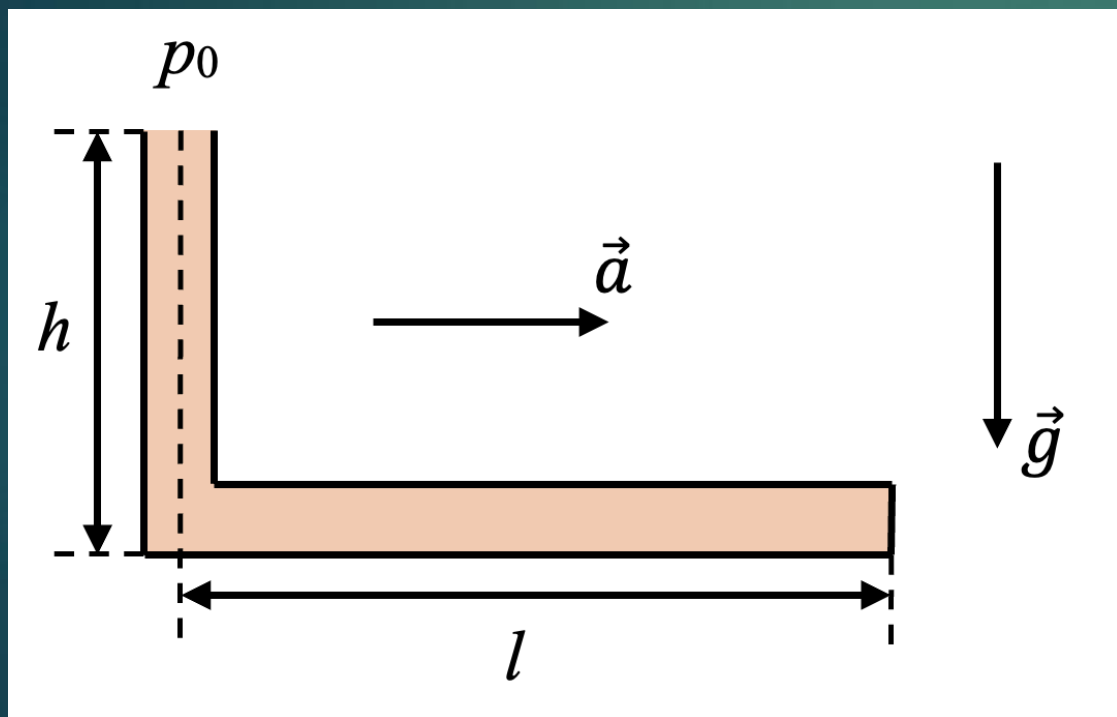
ДОБАВИМ УСКОРЕНИЕ

ЧТО ИЗМЕНИТСЯ?

Задача 1

5

При каком минимальном ускорении a_0 ртуть выльется из сосуда?



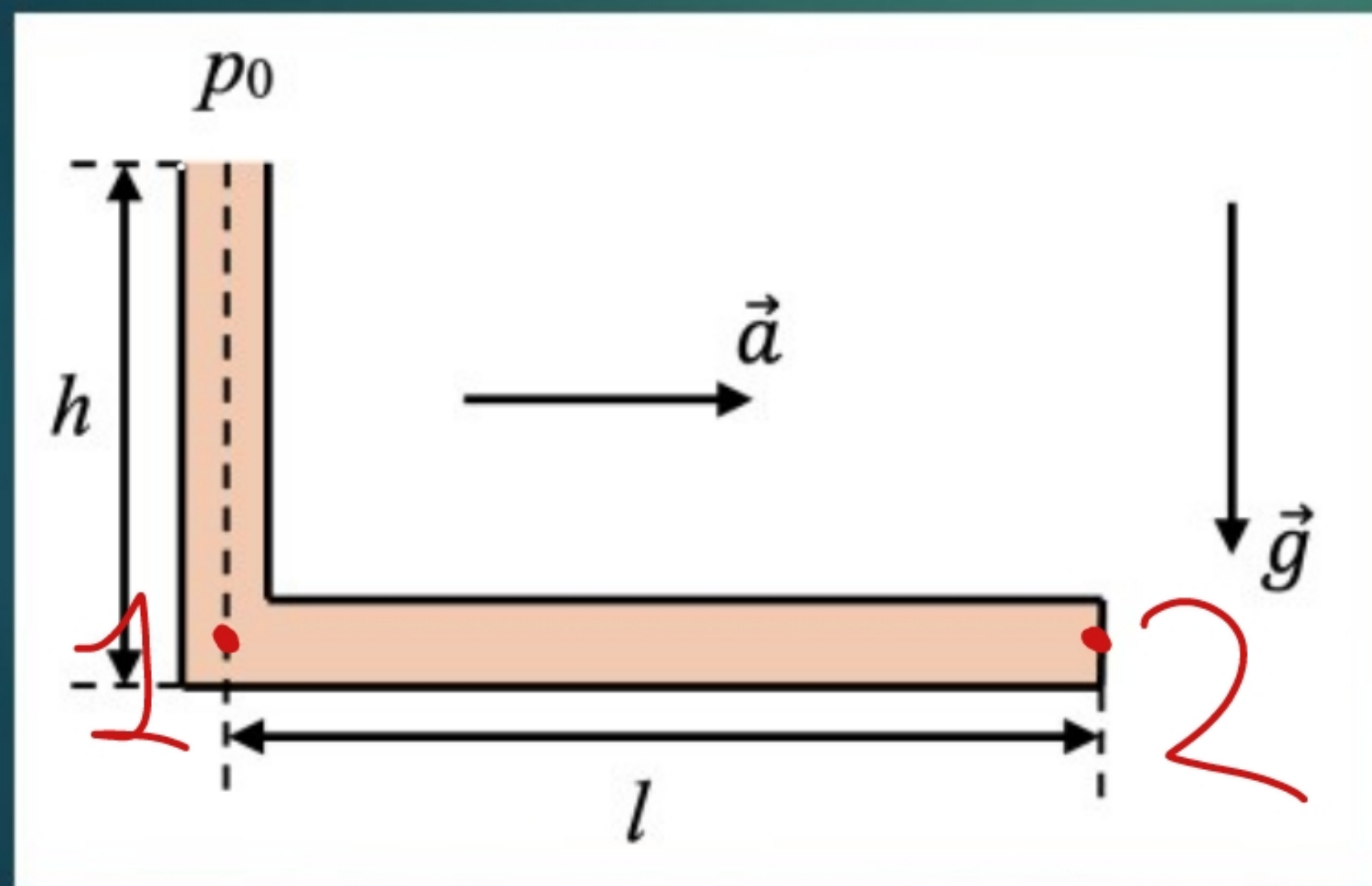
тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

плотность ртути ρ

Задача 1

5

При каком минимальном ускорении a_0 ртуть выльется из сосуда?



тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

плотность ртути ρ

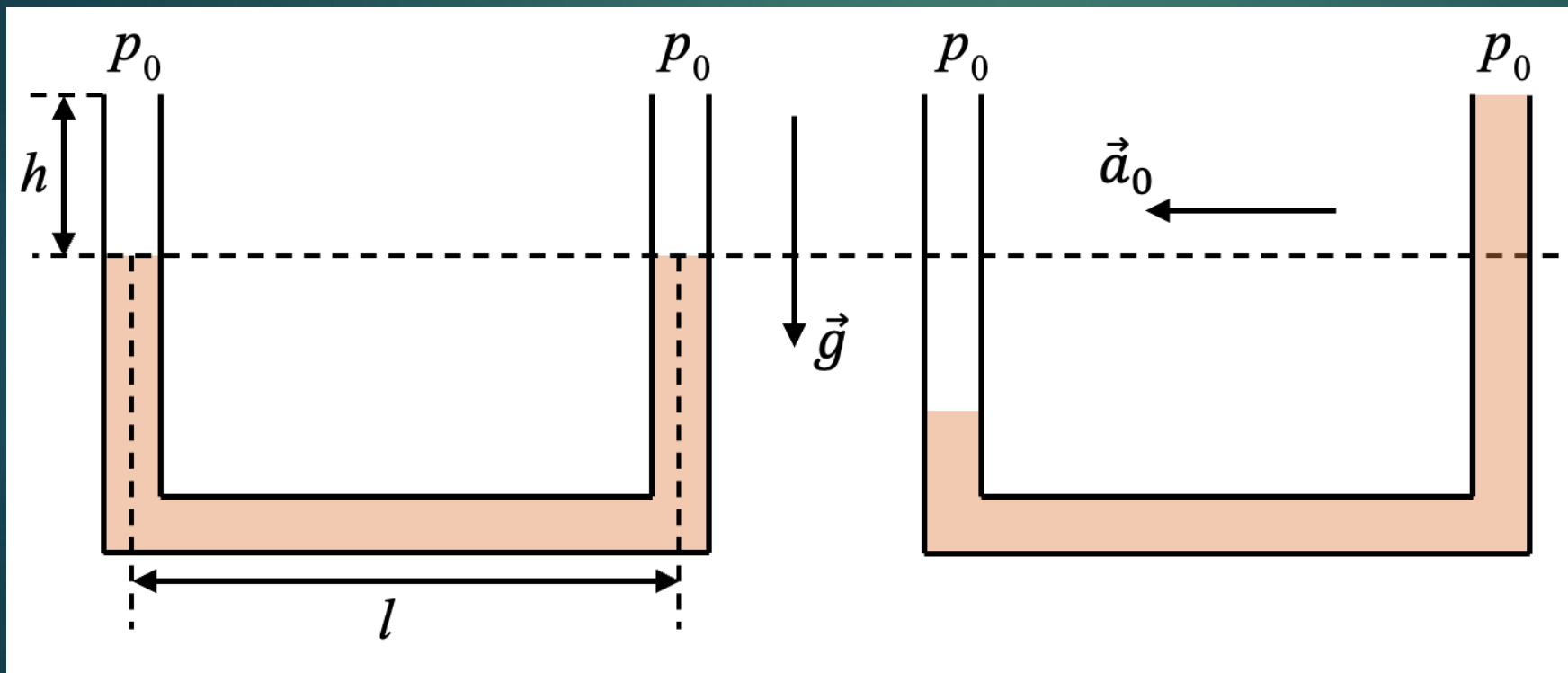
$$\begin{cases} \rho \delta h g + p_0 \delta = p_1 \delta \\ \rho \delta l a_0 = p_1 \delta - p_2 \delta \end{cases}$$

$$a_0 \geq \frac{p_0 + \rho g h}{\rho l}$$

Задача 2

6

При каком минимальном ускорении a_0 ртуть выльется из сосуда?



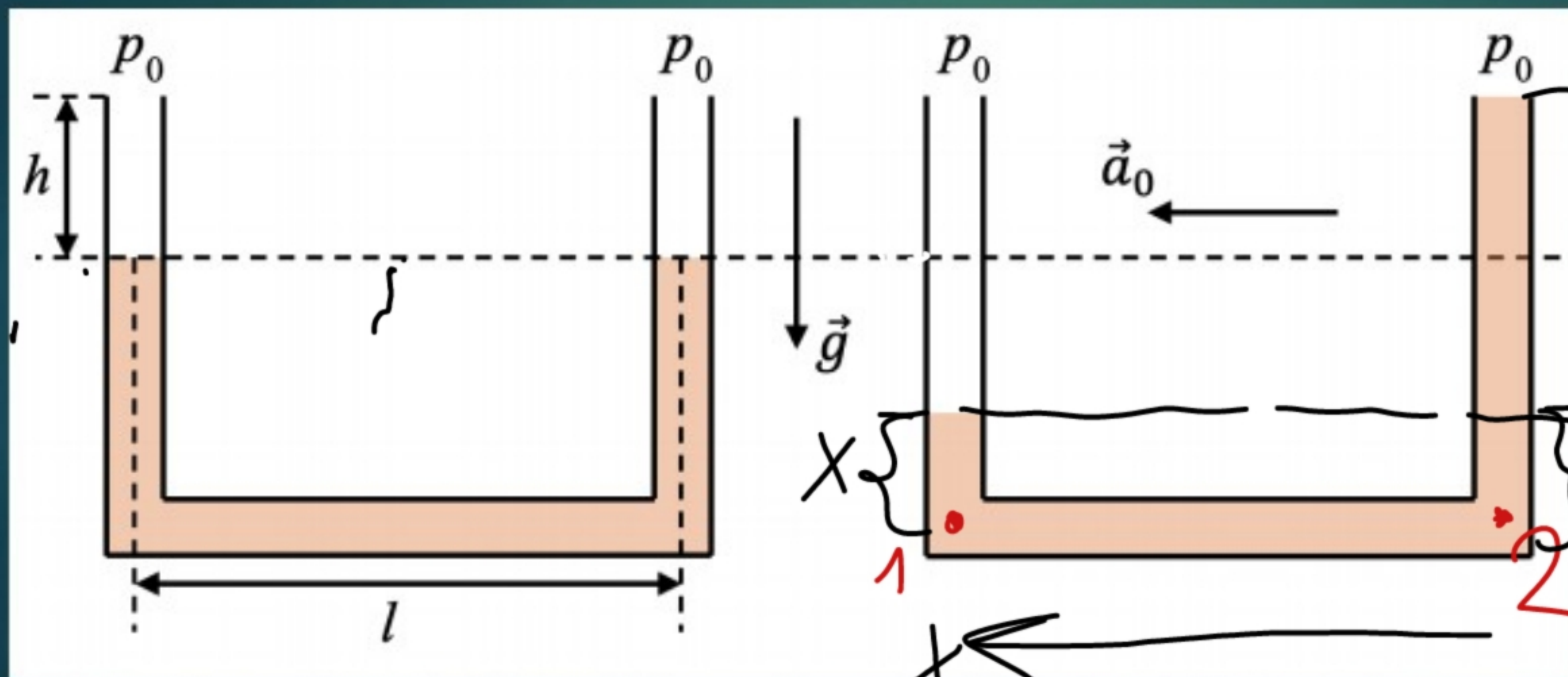
тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

плотность ртути ρ

Задача 2

6

При каком минимальном ускорении a_0 ртуть выльется из сосуда?



тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

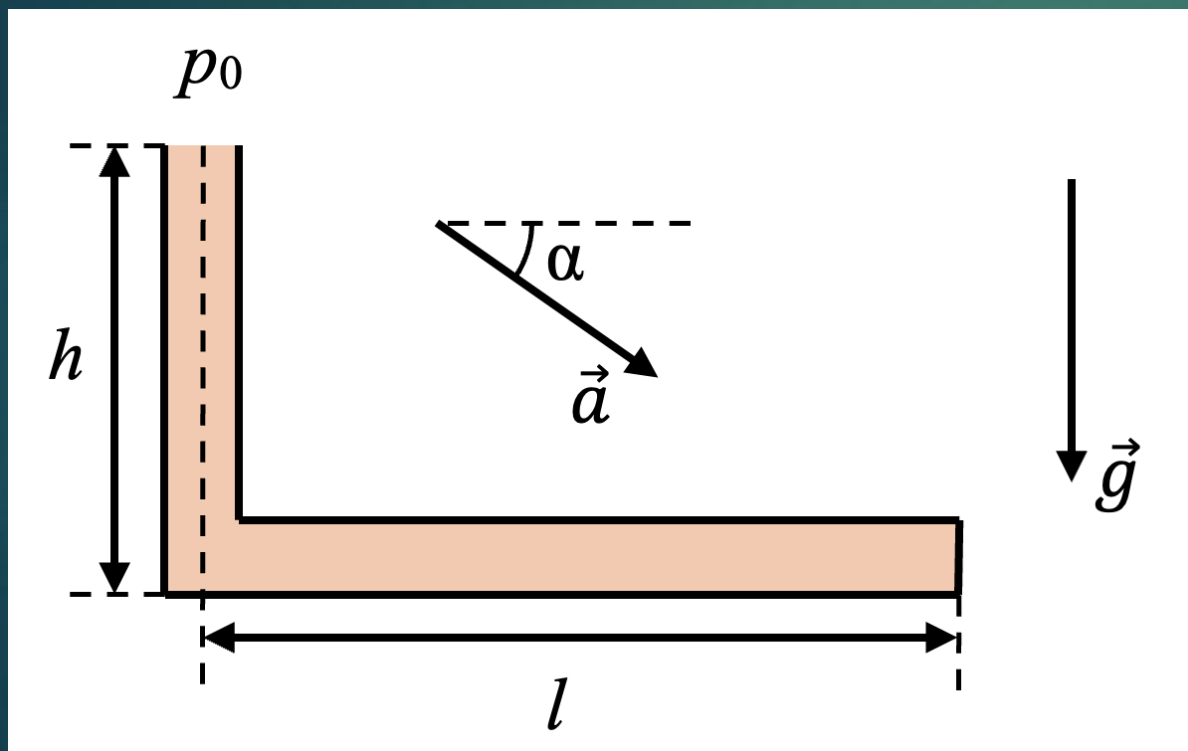
плотность ртути ρ

$$\begin{aligned} P_1 &= P_0 + \rho g x \\ 2h P_2 &= P_0 + \rho g (x + 2h) \\ \rho l a_0 &= P_2 - P_1 \\ \rho l a_0 &= 2\rho g h \\ a_0 &= g \frac{2h}{l} \end{aligned}$$

Задача 3 (а если так?)

7

При каком минимальном ускорении a_0 ртуть выльется из сосуда?



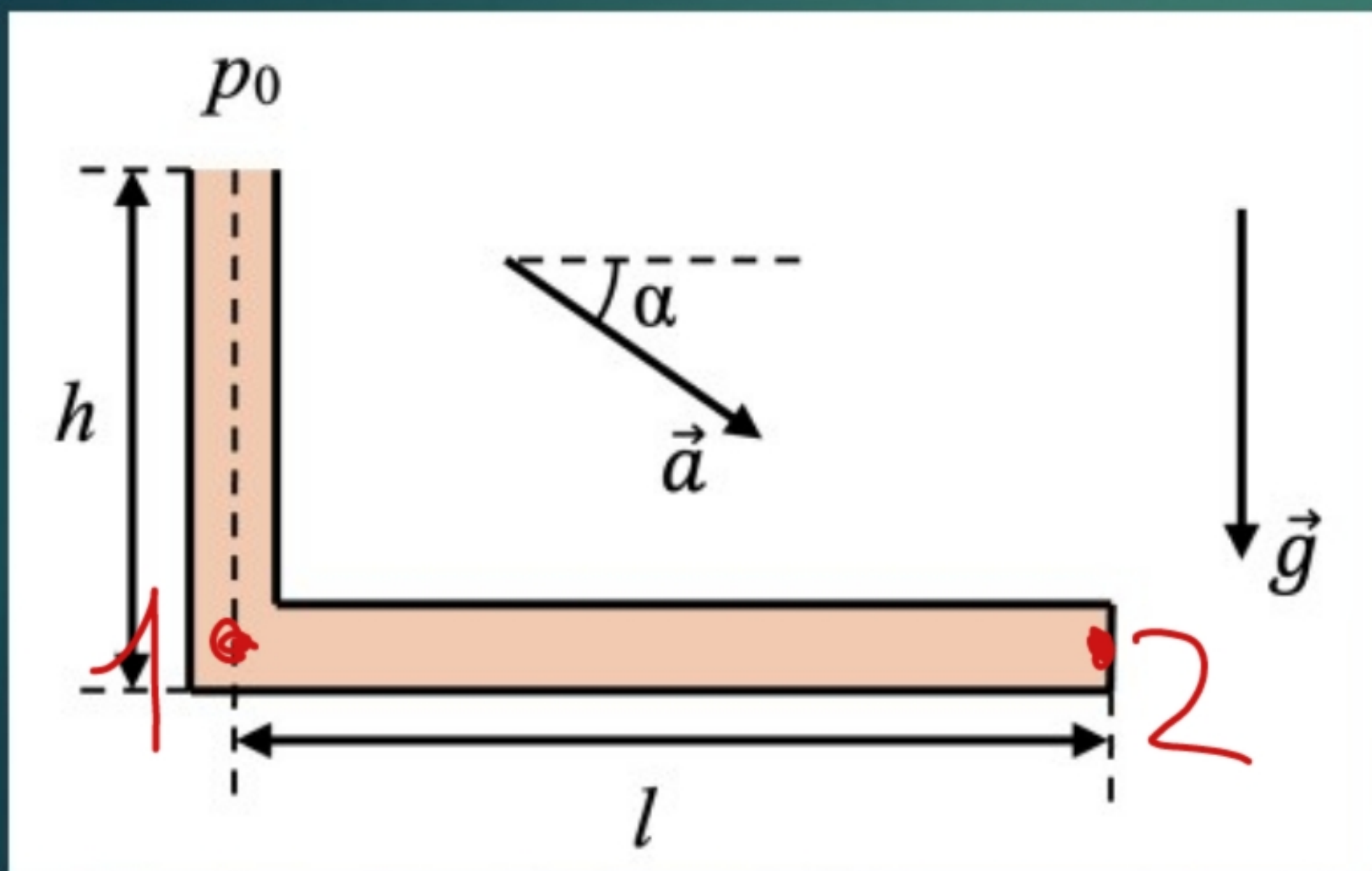
тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

плотность ртути ρ

Задача 3 (а если так?)

7

При каком минимальном ускорении a_0 ртуть выльется из сосуда?



тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

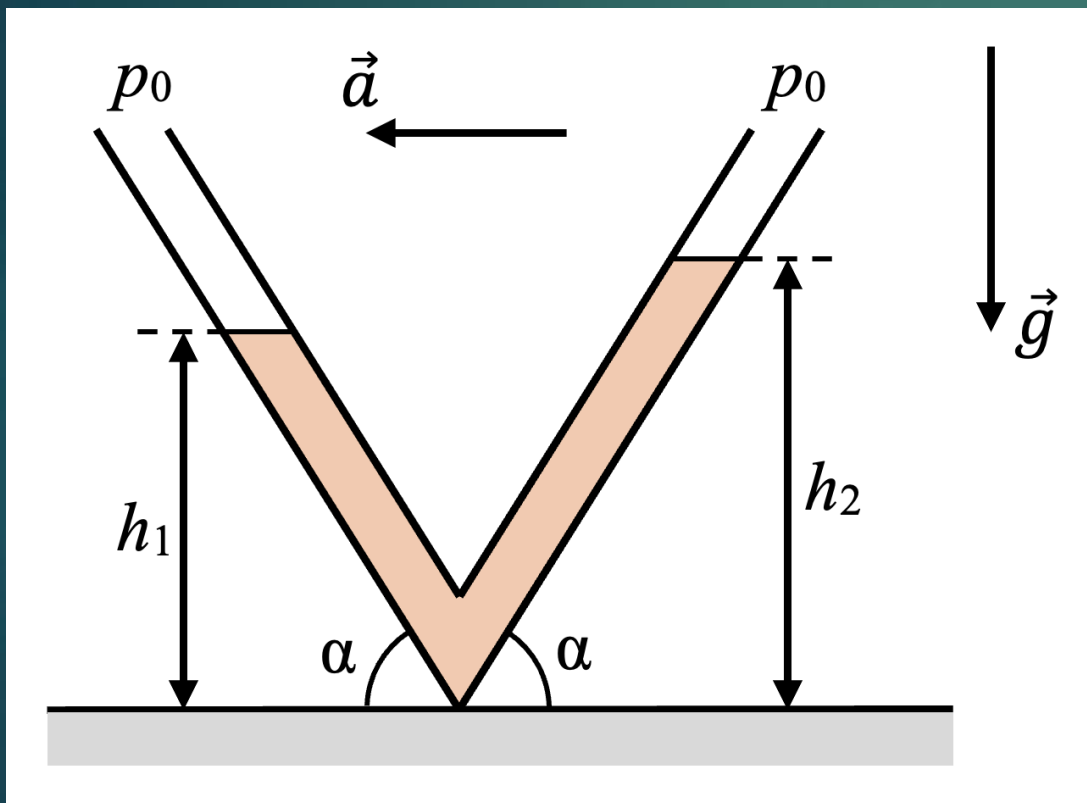
плотность ртути ρ

$$\begin{cases} \rho S h a \sin \alpha = \rho S h g + (p_0 - p_1) S \\ \rho S l a \cos \alpha = (p_1 - p_2) S \end{cases}$$

Задача 4

8

С каким ускорением a движется сосуд с ртутью?



тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

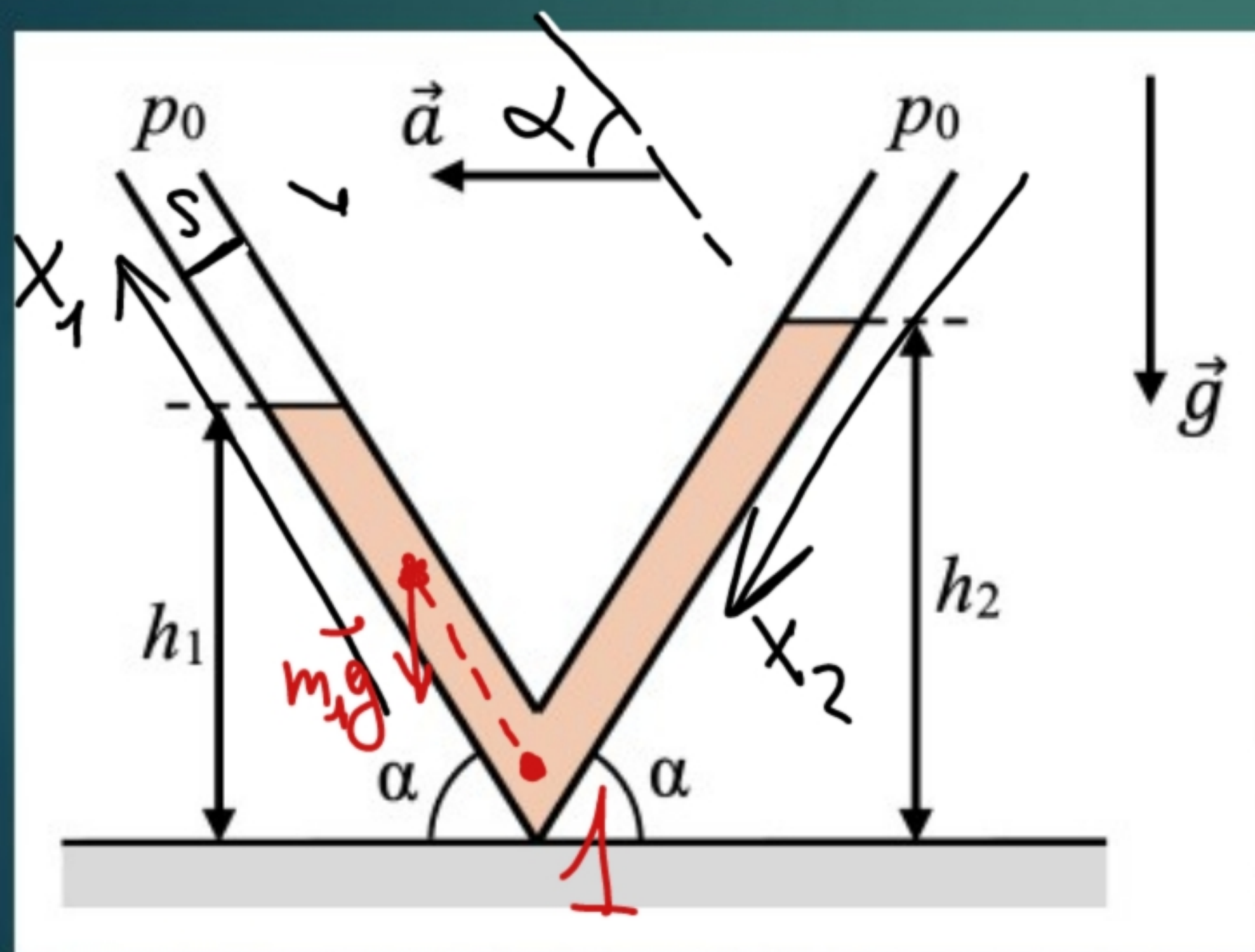
плотность ртути ρ

Задача 4

$$\sin \alpha = \frac{h_2}{l_2} = \frac{h_1}{l_1}$$

8

С каким ускорением a движется сосуд с ртутью?



$$gS \frac{h_1}{\sin \alpha} \cdot a \cos \alpha = (p_1 - p_0)S -$$

$$- gS \frac{h_1}{\sin \alpha} g \sin \alpha$$

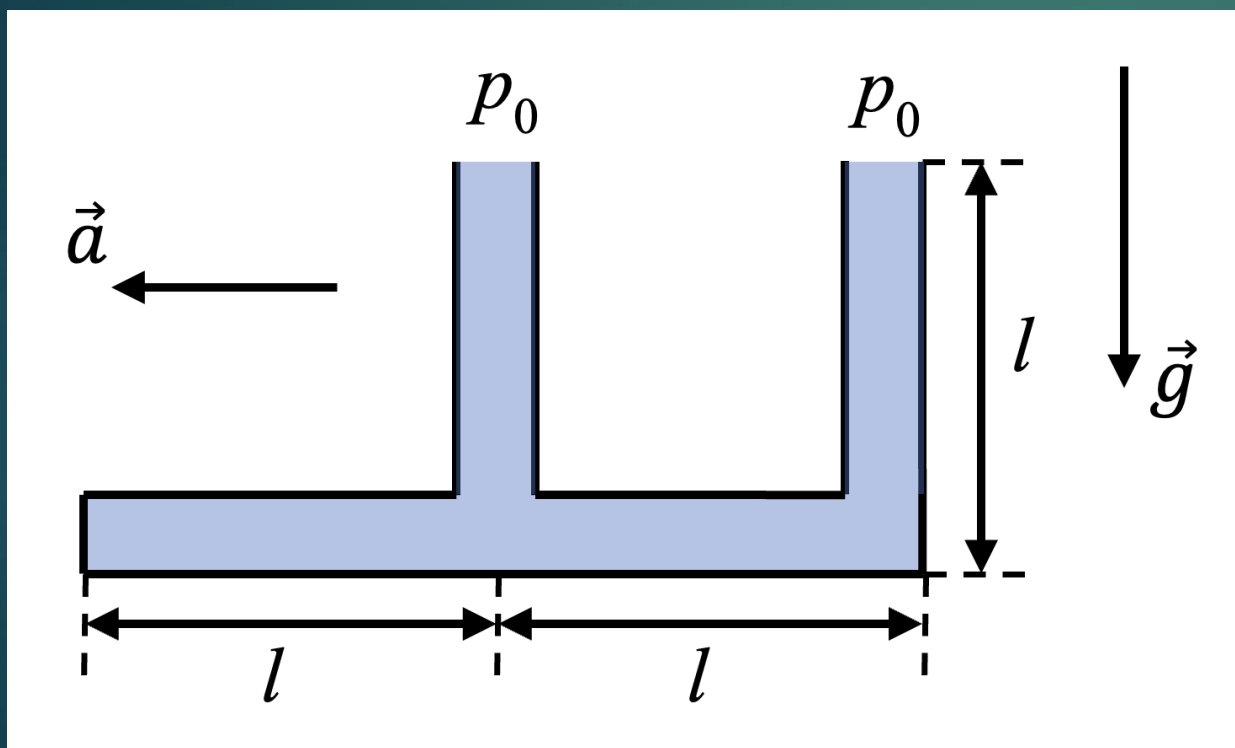
тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

плотность ртути ρ

Задача 5

9

При каком ускорении a_0 выльется 1/8 часть воды?



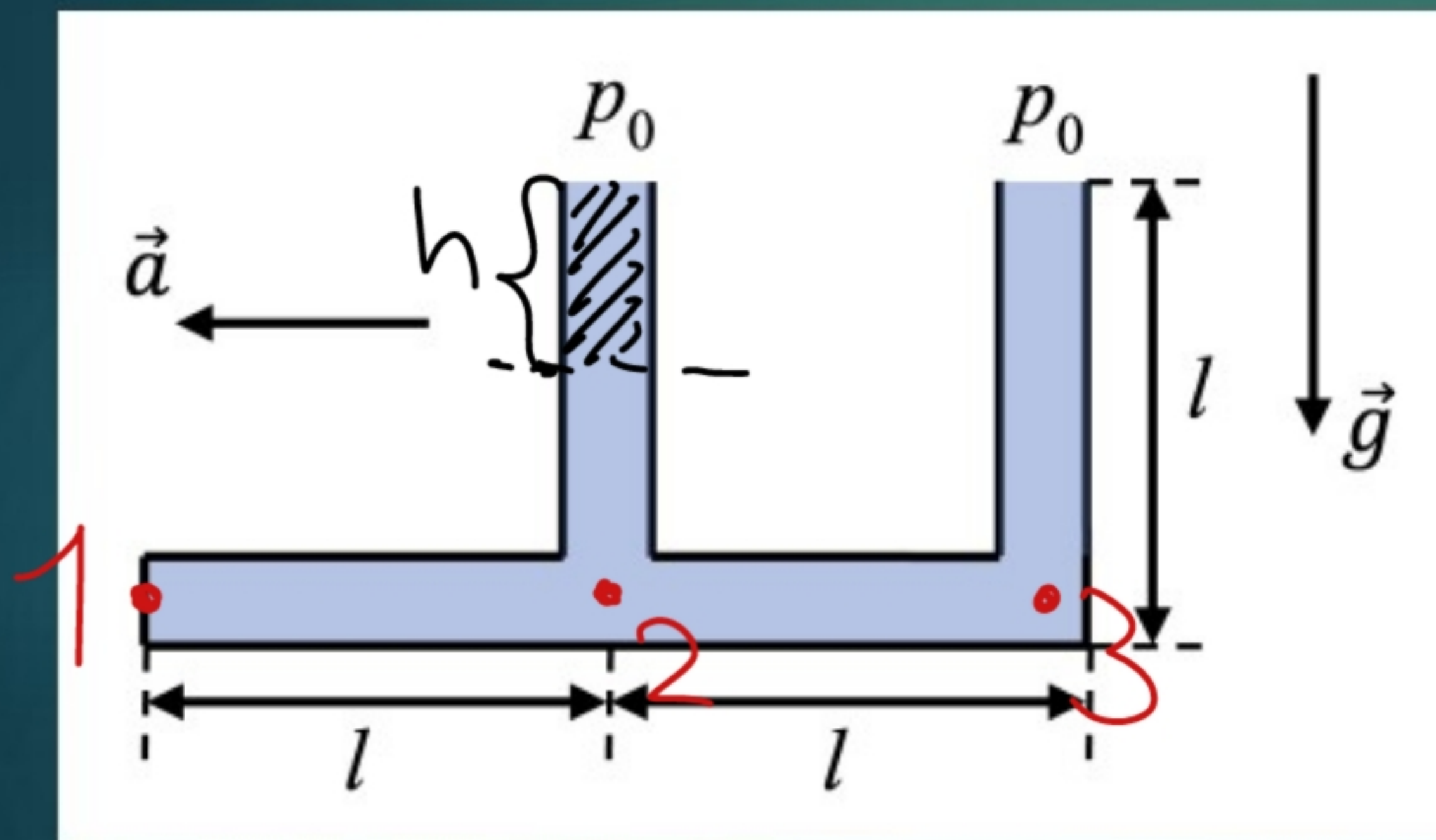
тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

плотность воды ρ

Задача 5

9

При каком ускорении a_0 выльется 1/8 часть воды?



тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

плотность воды ρ

$$\begin{cases} p_3 = p_0 + \rho g l \\ p_2 = p_0 + \rho g (l - h) \\ \rho l S a = (p_3 - p_2) S \end{cases}$$

$h = e/2$

$$\rho l a = \rho g h \Rightarrow \boxed{a = g \frac{h}{l} = \frac{g}{2}}$$

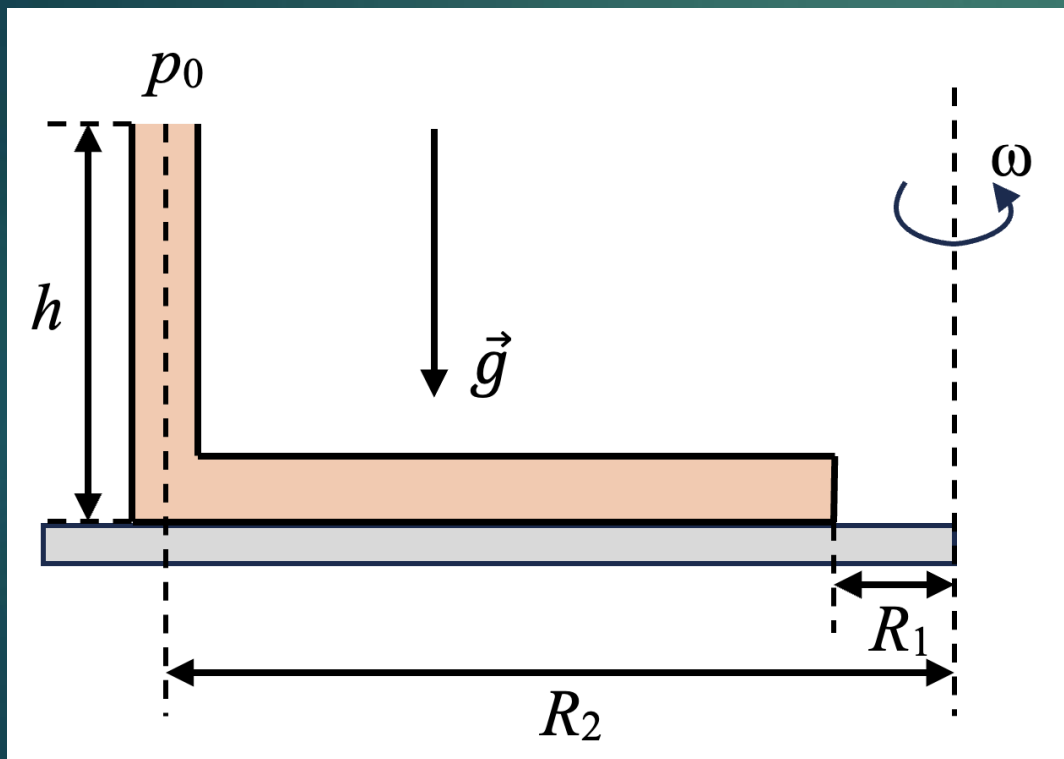
ДОБАВИМ ВРАЩЕНИЕ

ЧТО ИЗМЕНИТСЯ ТЕПЕРЬ?

Задача 6

11

При какой минимальной угловой скорости ω_0 ртуть выльется из сосуда?



тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

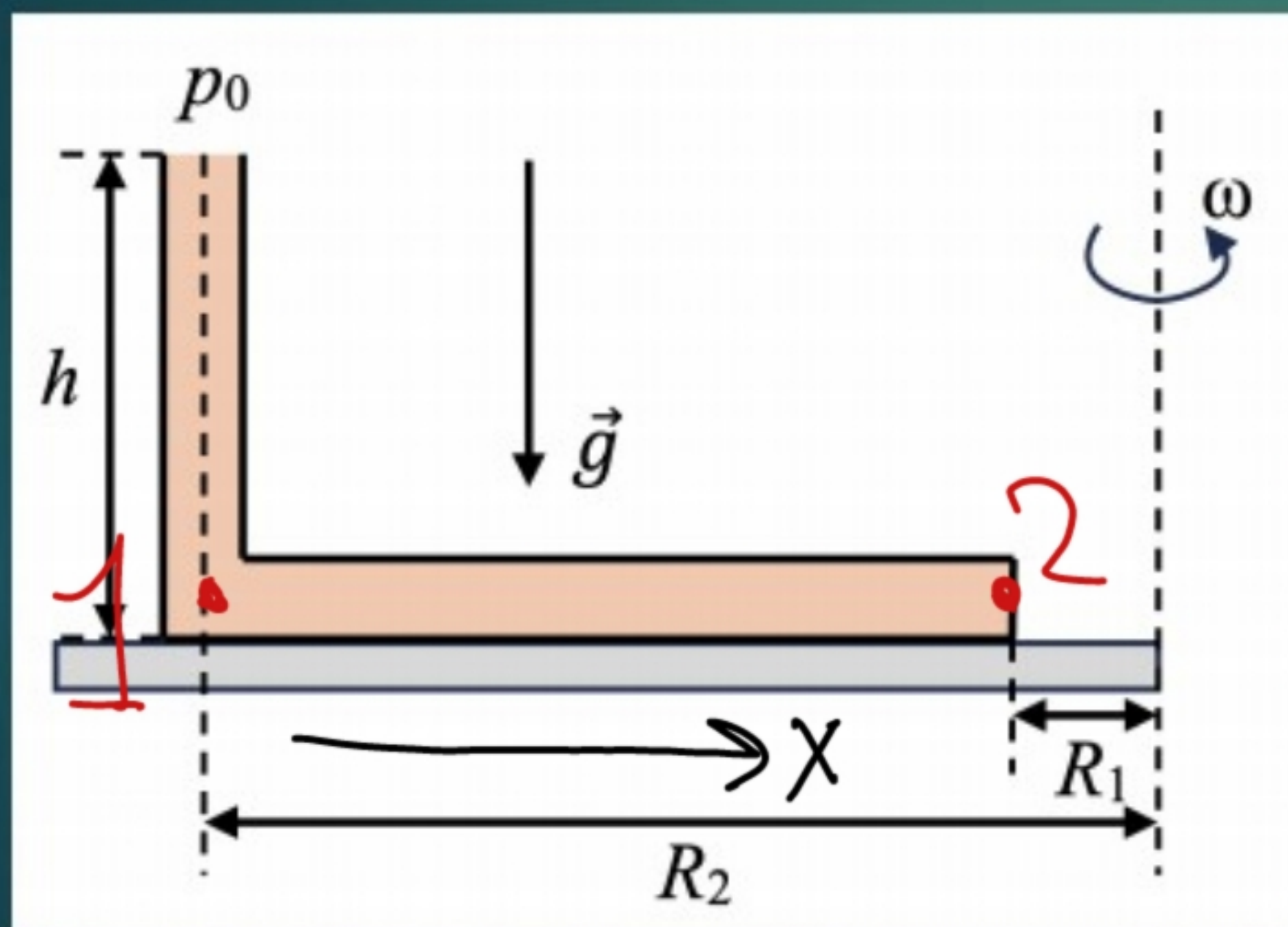
плотность ртути ρ

Задача 6

$$a_{yc} = \omega^2 r$$

11

При какой минимальной угловой скорости ω_0 ртуть выльется из сосуда?



тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

плотность ртути ρ

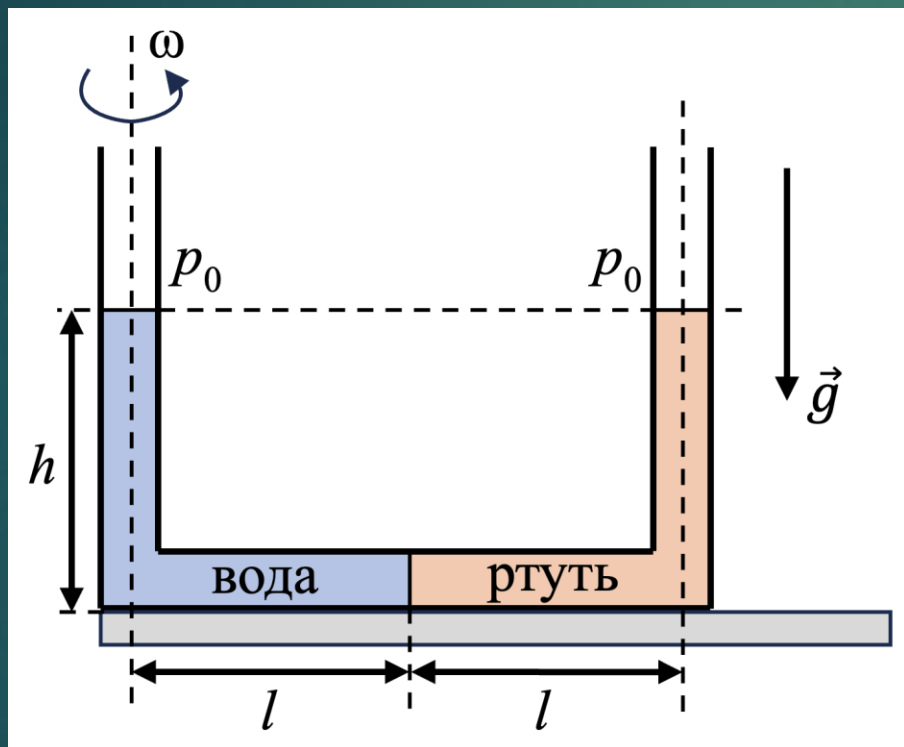
$$\begin{cases} p_1 = p_0 + \rho g h \\ \rho \delta (R_2 - R_1) < a_{yc} = (p_1 - p_2) \delta \\ < a_{yc} > = \omega_0^2 \frac{R_1 + R_2}{2} \end{cases}$$

$$\frac{\rho \omega_0^2}{2} (R_2^2 - R_1^2) = p_0 + \rho g h$$

Задача 7

12

При какой угловой скорости ω реализуется ситуация, показанная на рисунке?



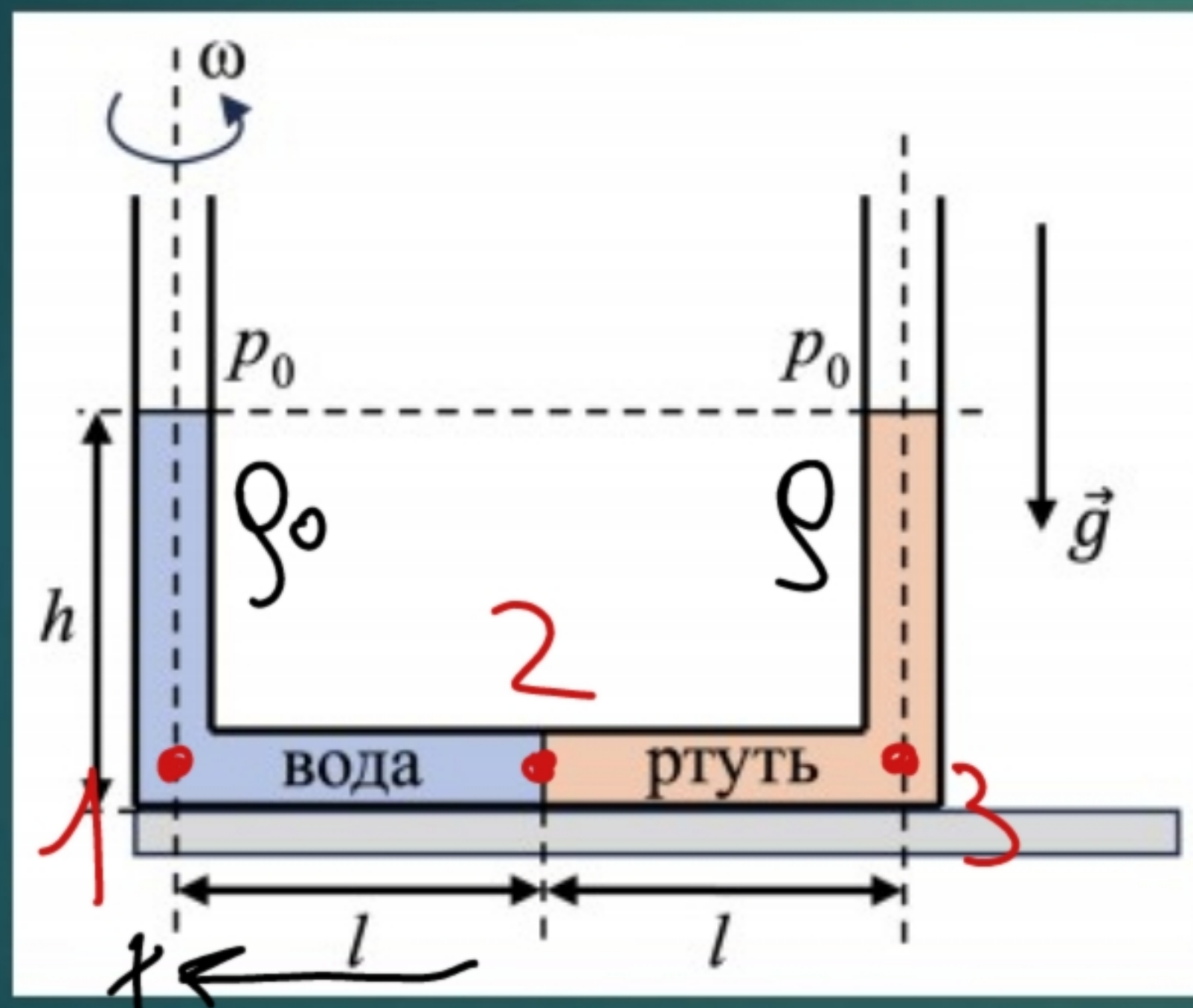
тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

плотность воды ρ_0 , плотность ртути ρ

Задача 7

12

При какой угловой скорости ω реализуется ситуация, показанная на рисунке?



тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

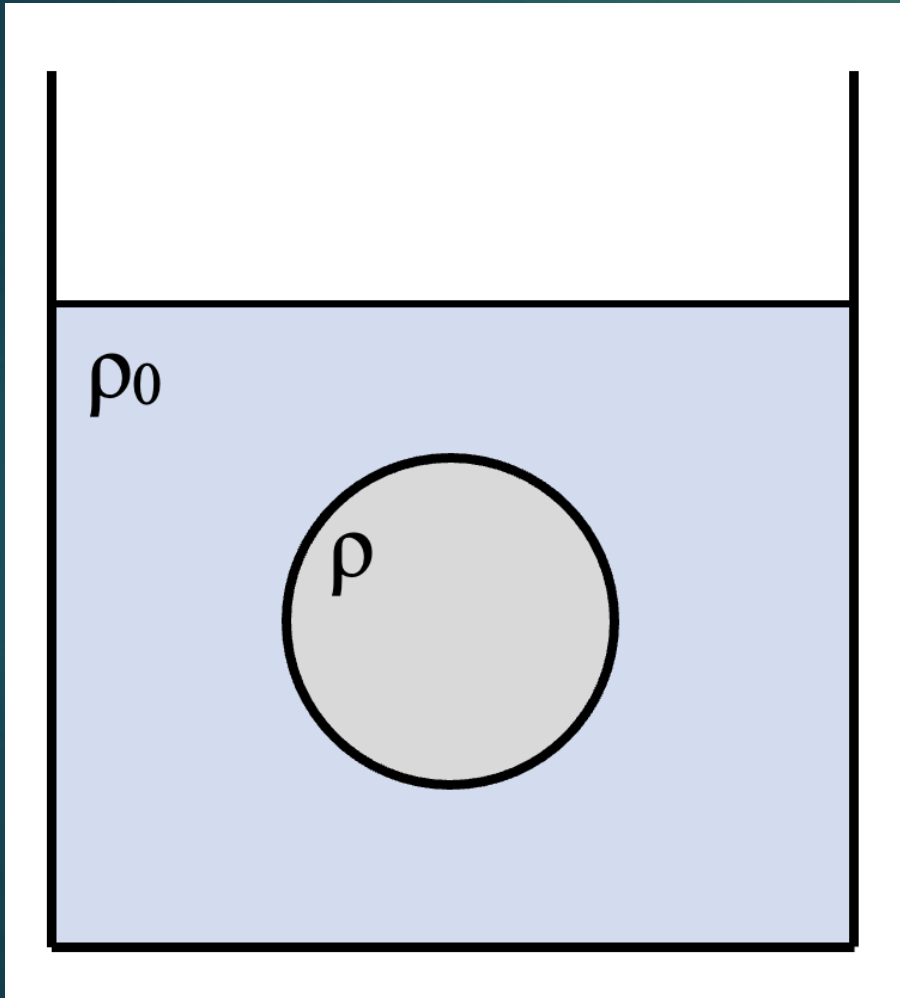
плотность воды ρ_0 , плотность ртути ρ

$$\begin{cases} p_1 = p_0 + \rho_0 g h; & p_3 = p_0 + \rho g h \\ \rho_0 \delta l \omega^2 \frac{l}{2} = (p_2 - p_1) \delta \\ \rho \delta l \omega^2 \frac{3l}{2} = (p_3 - p_2) \delta \end{cases} +$$

$$\frac{\omega^2 l^2}{2} (3\rho + \rho_0) = (\rho - \rho_0) g h$$

А ВОЗМОЖНО ЛИ ТАКОЕ?

13



Может ли шарик без полостей плотностью ρ оставаться неподвижным относительно жидкости плотностью ρ_0 при:

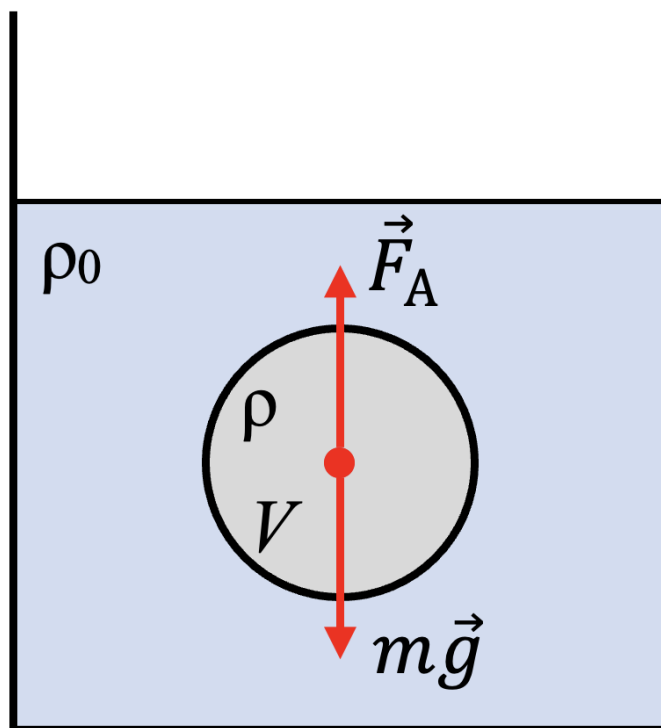
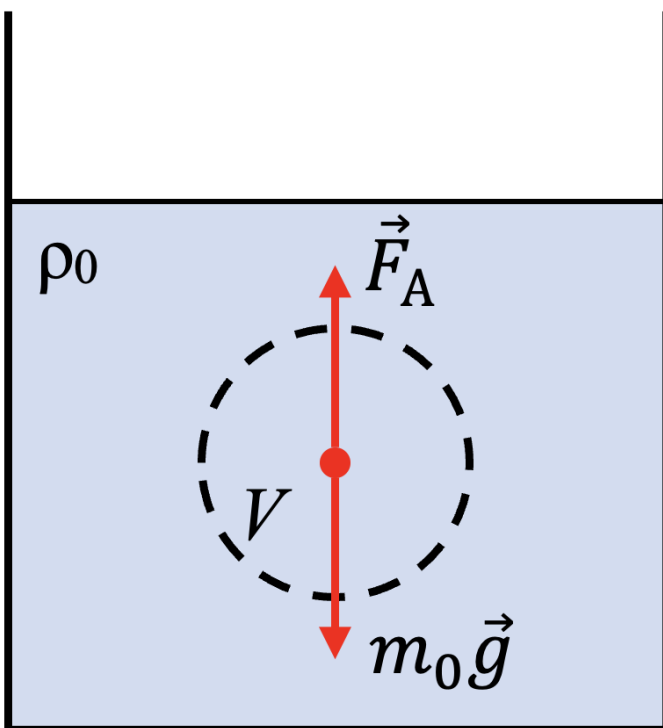
1) $\rho > \rho_0$

2) $\rho < \rho_0$

Сила Архимеда (гидростатика)

14

Силой Архимеда называется сумма сил **гидростатического** давления, действующих на тело, **покоящееся** внутри жидкости.



$$F_A = m_0 g$$

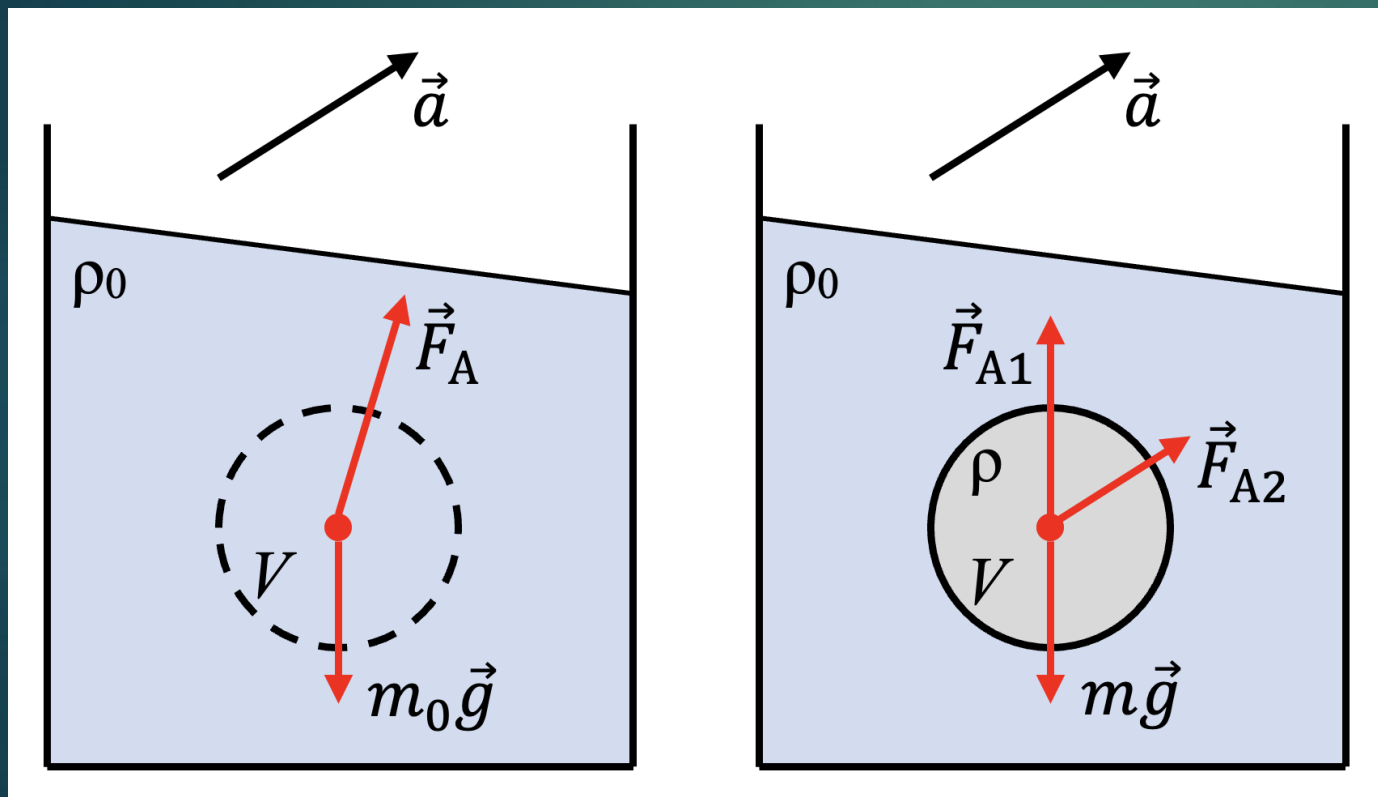
$$F_A = \rho_0 g V$$

ДОБАВИМ УСКОРЕНИЕ

ЧТО ИЗМЕНИТСЯ?

Сила Архимеда (движущийся сосуд)

16



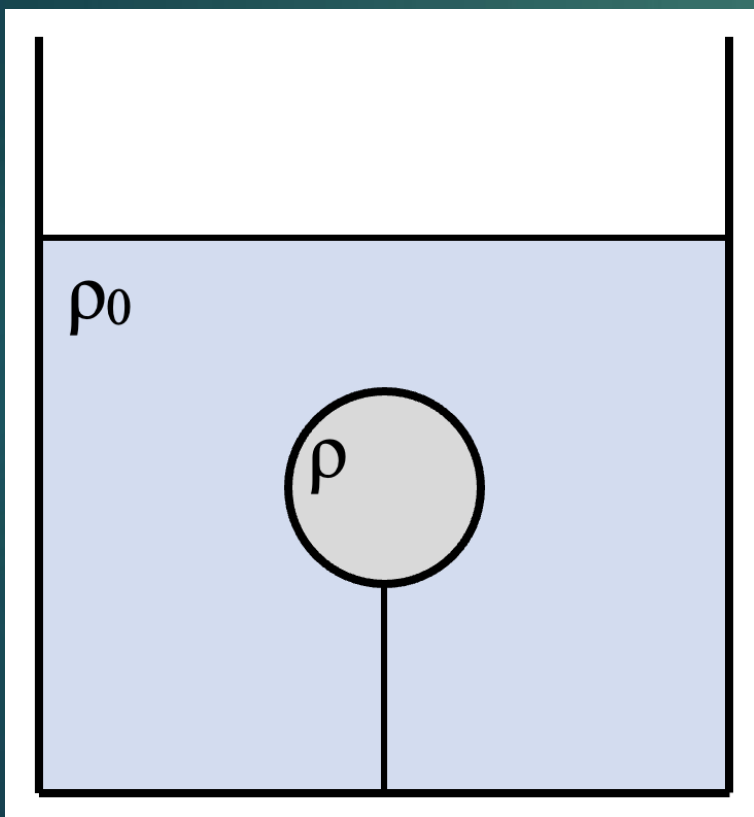
$$m_0 \vec{a} = \vec{F}_A + m_0 \vec{g}$$

$$\vec{F}_A = \underbrace{-\rho_0 \vec{g} V}_{\vec{F}_{A1}} + \underbrace{\rho_0 \vec{a} V}_{\vec{F}_{A2}}$$

Задача 8

17

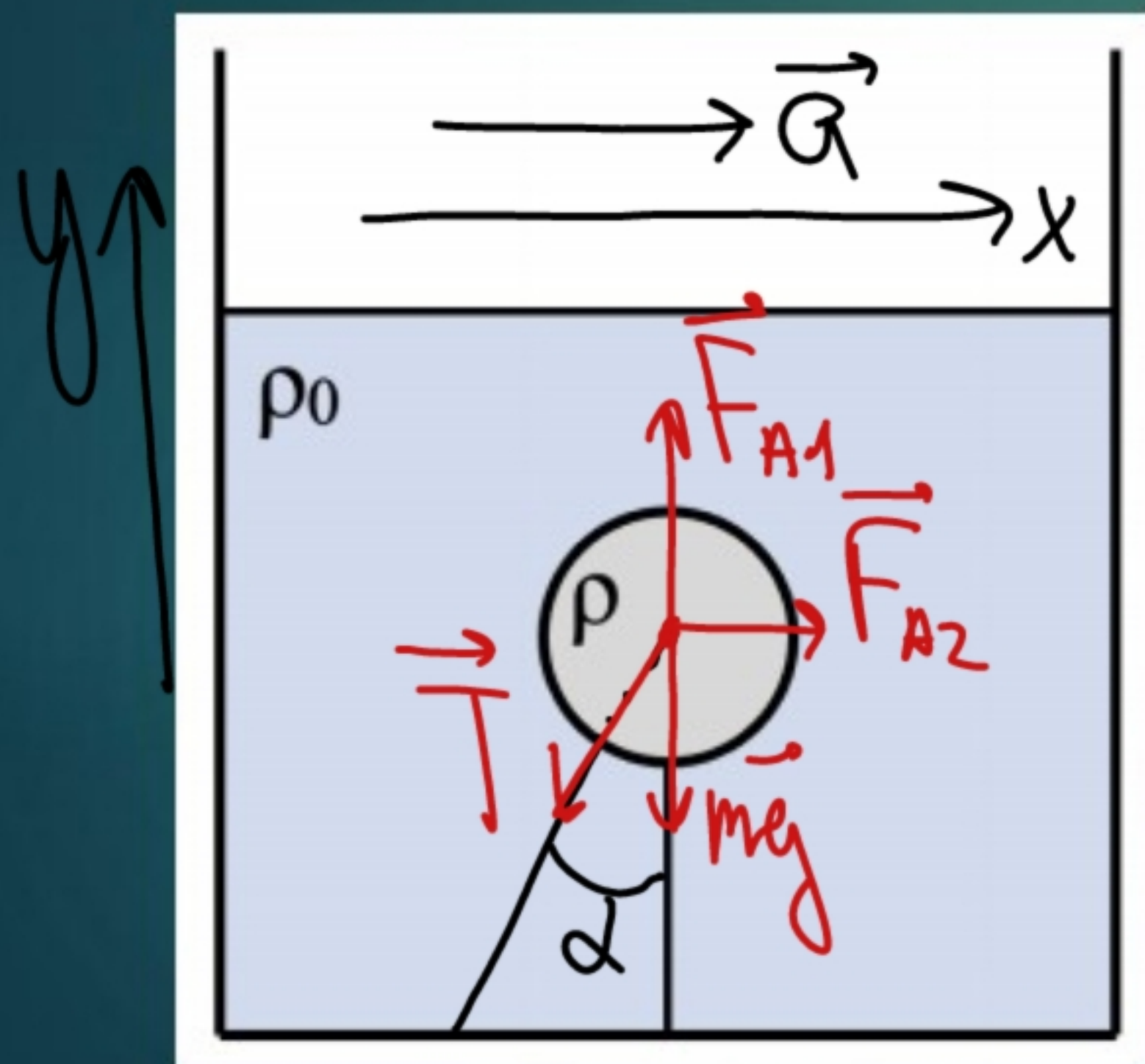
Каков угол отклонения нити при движении сосуда по горизонтали с ускорением a ? ($\rho < \rho_0$)



Задача 8

17

Каков угол отклонения нити при движении сосуда по горизонтали с ускорением a ? ($\rho < \rho_0$)



$$ma = F_{A2} - T \sin \alpha$$

$$F_{A1} = mg + T \cos \alpha$$

$$F_{A1} = \rho_0 g V; F_{A2} = \rho_0 a V; m = \rho g V$$

$$T \sin \alpha = \rho_0 a V - \rho a V$$

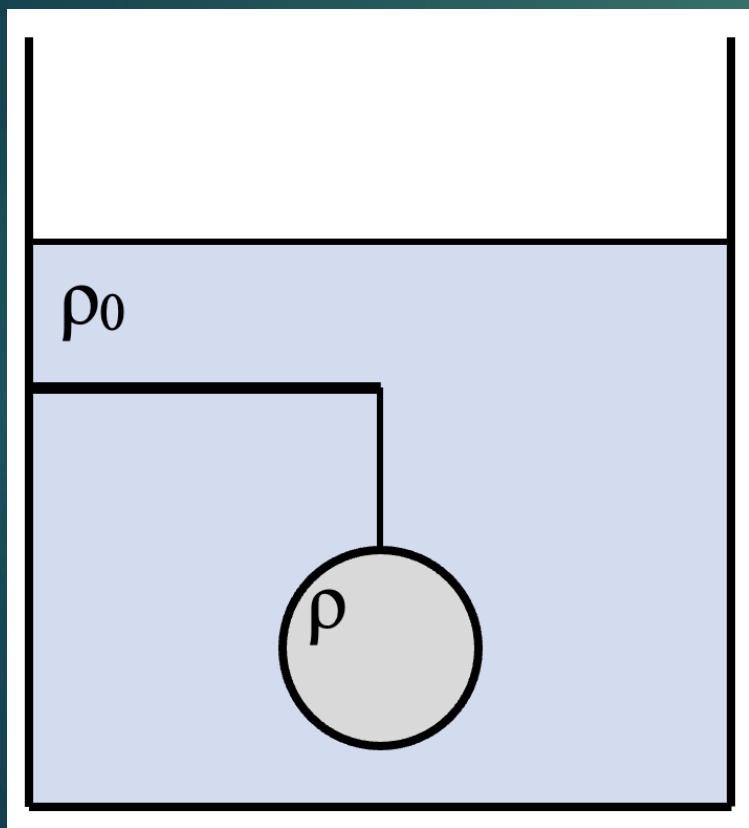
$$T \cos \alpha = \rho_0 g V - \rho g V$$

$$\boxed{\tan \alpha = \frac{a}{g}}$$

Задача 9

18

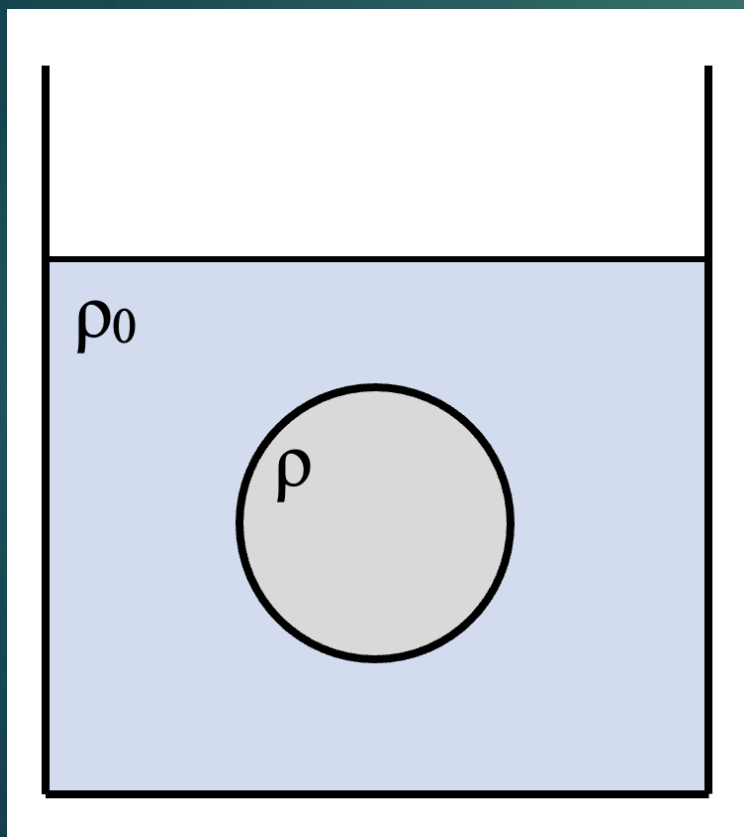
Каков угол отклонения нити при движении сосуда по горизонтали с ускорением a ? ($\rho > \rho_0$)



Задача 10

19

С каким ускорением должен двигаться сосуд, чтобы шарик оставался неподвижным относительно жидкости?

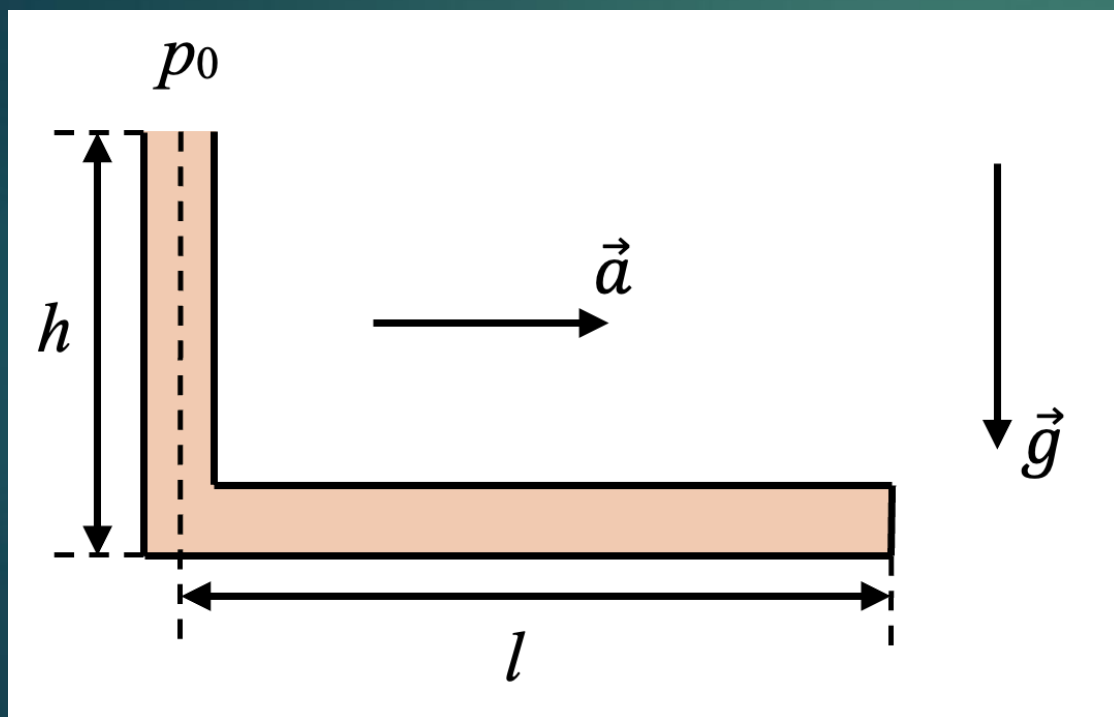


ОТВЕТЫ

Задача 1

21

При каком минимальном ускорении a_0 ртуть выльется из сосуда?



тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

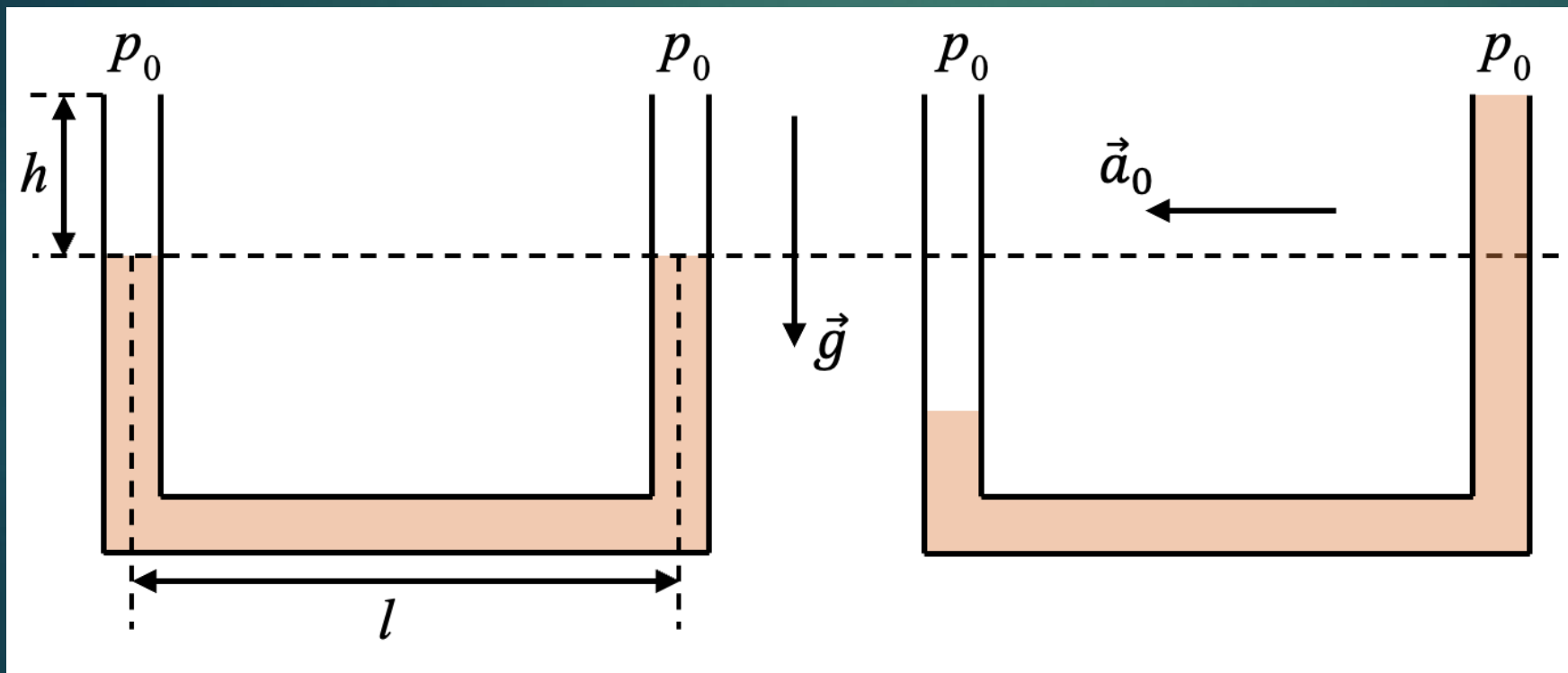
плотность ртути ρ

$$a_0 = \frac{p_0 + \rho g h}{\rho l}$$

Задача 2

22

При каком минимальном ускорении a_0 ртуть выльется из сосуда?



тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

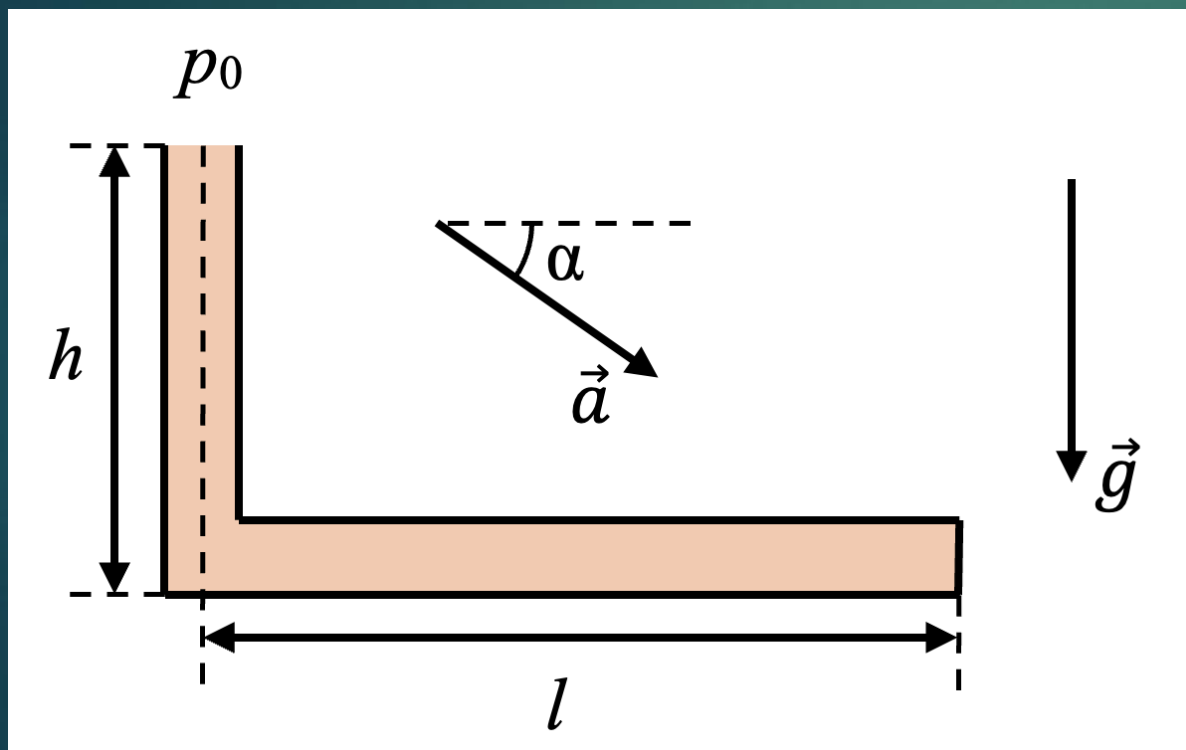
плотность ртути ρ

$$a_0 = g \frac{2h}{l}$$

Задача 3 (а если так?)

23

При каком минимальном ускорении a_0 ртуть выльется из сосуда?



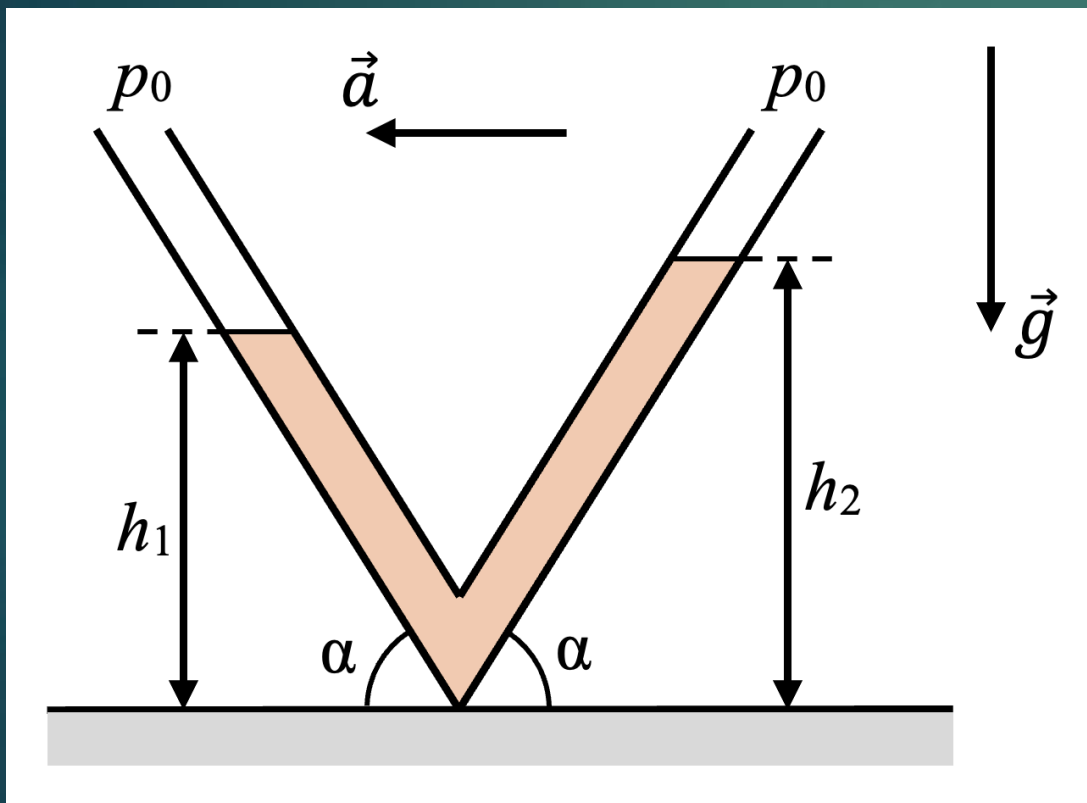
тонкая трубка постоянного внутреннего сечения
плотность ртути ρ

$$a_0 = \frac{p_0 + \rho g h}{\rho(l \cos \alpha + h \sin \alpha)}$$

Задача 4

24

С каким ускорением a движется сосуд с ртутью?



тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

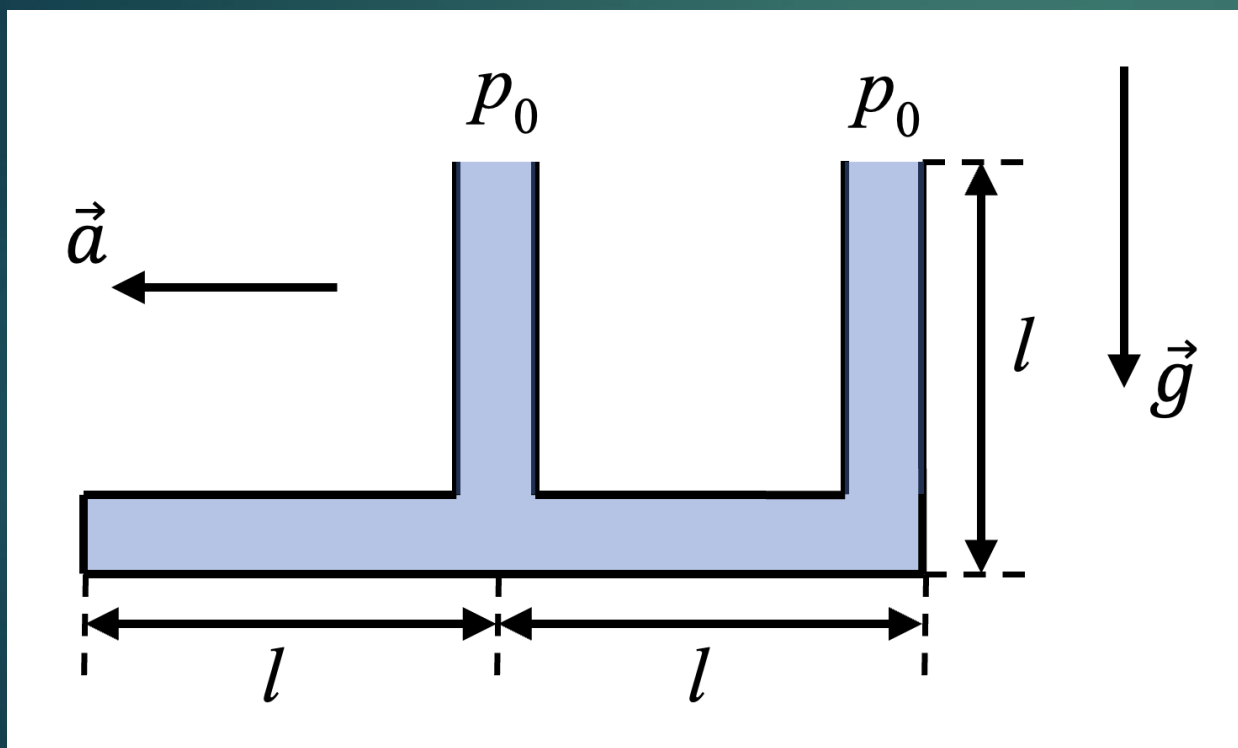
плотность ртути ρ

$$a = g \operatorname{tg} \alpha \frac{h_2 - h_1}{h_2 + h_1}$$

Задача 5

25

При каком ускорении a_0 выльется 1/8 часть воды?



тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

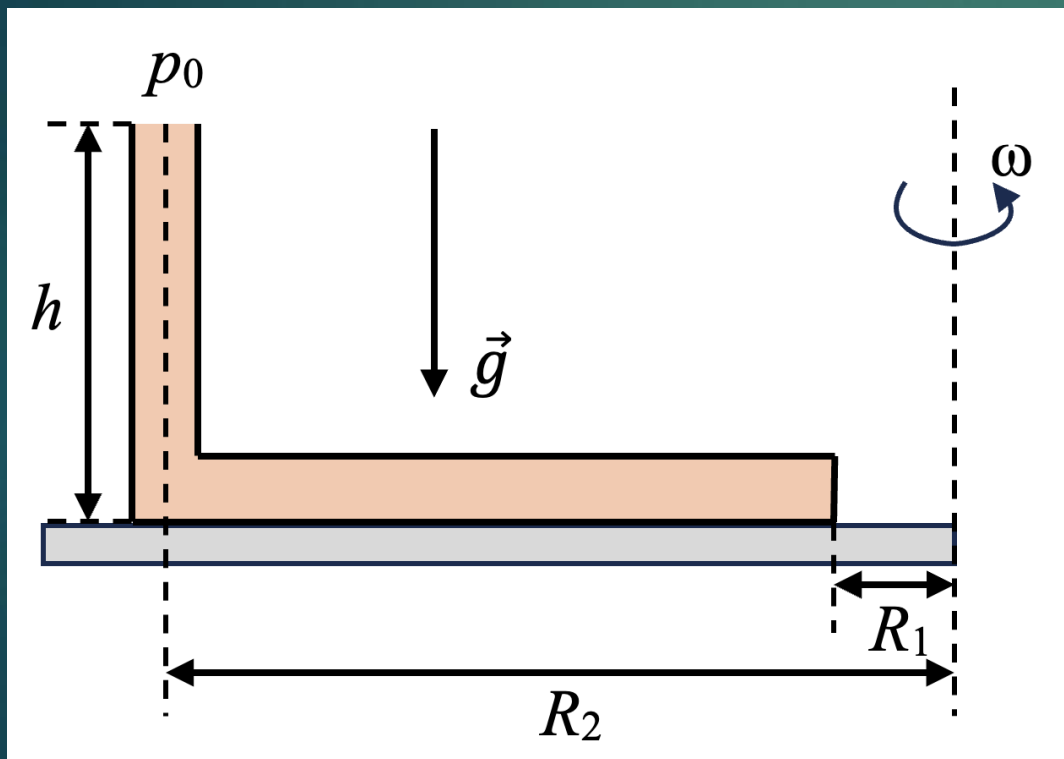
плотность воды ρ

$$a_0 = \frac{g}{2}$$

Задача 6

26

При какой минимальной угловой скорости ω_0 ртуть выльется из сосуда?



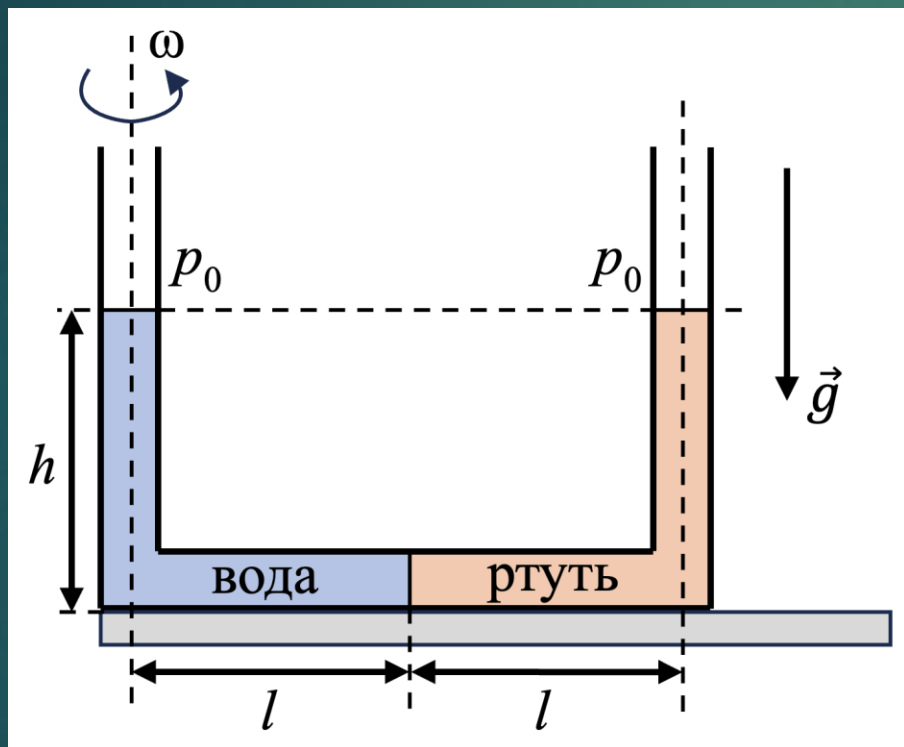
тонкая трубка постоянного внутреннего сечения
плотность ртути ρ

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2(p_0 + \rho gh)}{\rho(R_2^2 - R_1^2)}}$$

Задача 7

27

При какой угловой скорости ω реализуется ситуация, показанная на рисунке?



тонкая трубка постоянного внутреннего сечения

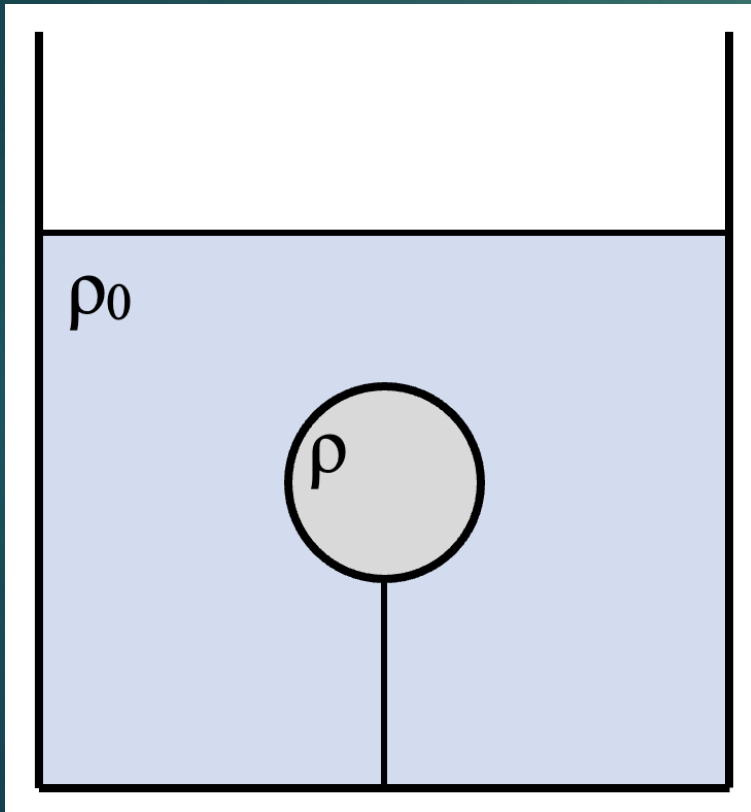
плотность воды ρ_0 , плотность ртути ρ

$$\omega = \frac{1}{l} \sqrt{2gh \frac{\rho - \rho_0}{3\rho + \rho_0}}$$

Задача 8

28

Каков угол отклонения нити при движении сосуда по горизонтали с ускорением a ? ($\rho < \rho_0$)

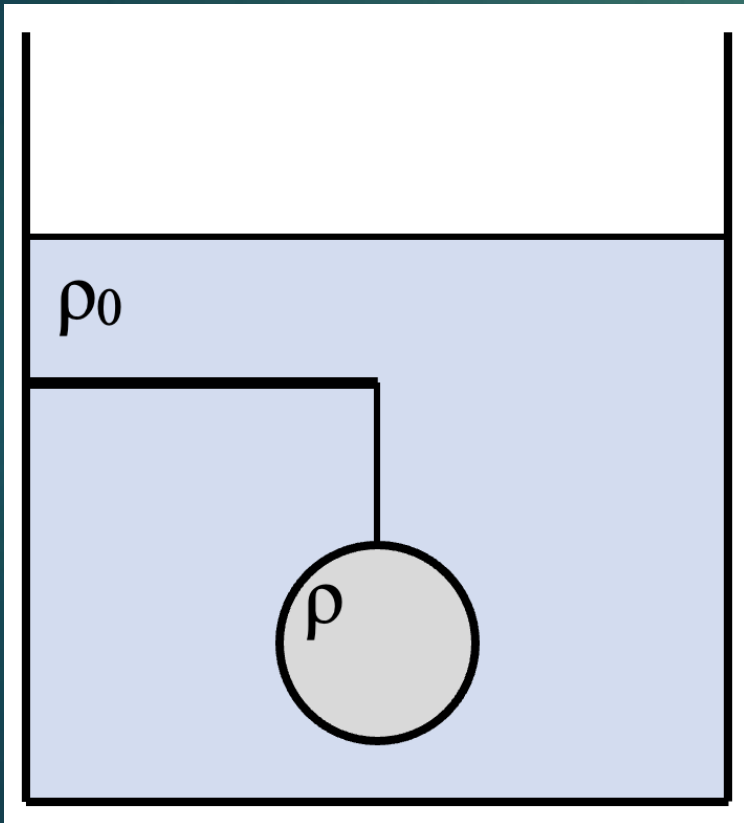


$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{g}$$

Задача 9

29

Каков угол отклонения нити при движении сосуда по горизонтали с ускорением a ? ($\rho > \rho_0$)

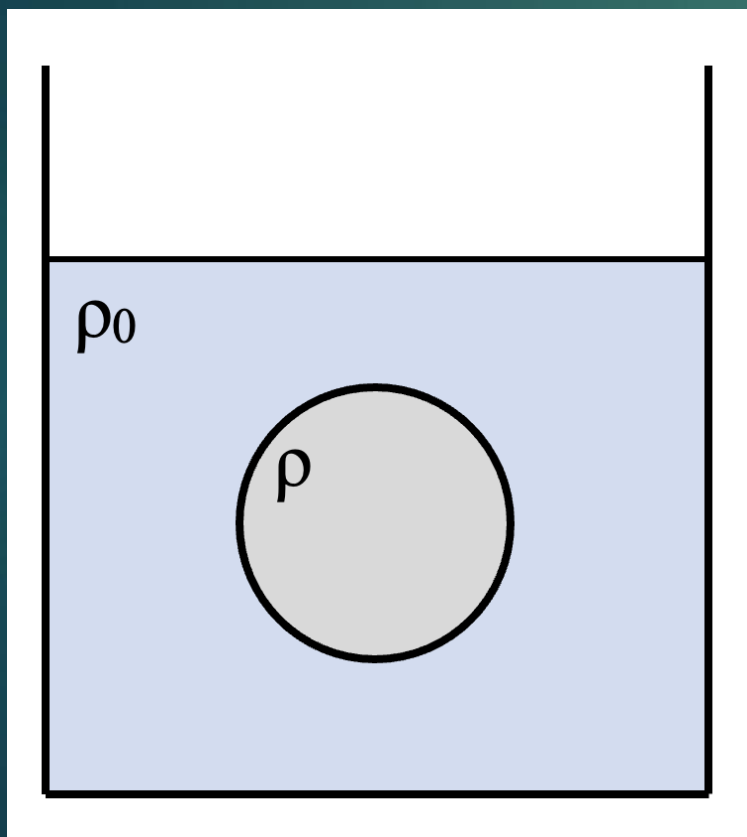


$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{g}$$

Задача 10

30

С каким ускорением должен двигаться сосуд, чтобы шарик оставался неподвижным относительно жидкости?



$$\vec{a} = \vec{g}$$