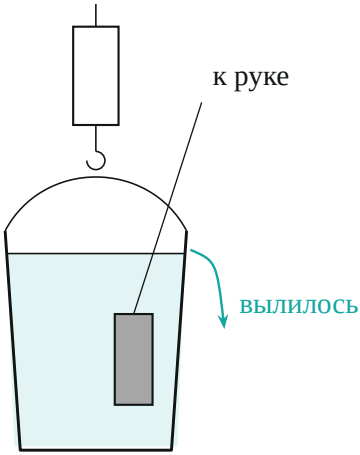
# Кирпич в ведре с водой

**Задача 1.** [Курчатов 2015/16, 8 класс, задача 1] На крючке ручных пружинных весов висит ведро с водой. Весы показывают 9,5 кг. В воду полностью погрузили кирпич массой 2,5 кг с размерами 5 см × 10 см × 20 см, удерживая его на тонкой верёвочке. Кирпич стенок и дна ведра не касается. Теперь весы показывают 10 кг. Найдите массу воды, вылившейся из ведра. Плотность воды 1000 кг/м$^3$.




*Поясняющий рисунок: ведро на крючке весов, кирпич полностью в воде на верёвочке; лишняя вода переливается через край.*

▲ **Решение.** **Что происходит.** Это задача на закон Архимеда и третий закон Ньютона. Вода действует на кирпич выталкивающей силой вверх, а кирпич по третьему закону Ньютона давит на воду с такой же силой вниз — эта сила через воду и дно передаётся ведру и весам. Значит, после погружения весы «чувствуют» вес ведра с оставшейся водой плюс силу Архимеда. Вылившаяся вода, наоборот, уменьшает показание.

**Обозначения.** $M = 9{,}5$ кг — начальное показание (ведро с водой); $m_к = 2{,}5$ кг — масса кирпича; $V$ — его объём; $\Delta m$ — масса вылившейся воды; $M' = 10$ кг — новое показание; $\rho_в = 1000$ кг/м$^3$. Весы показывают силу, с которой тянут их крючок, делённую на $g$.

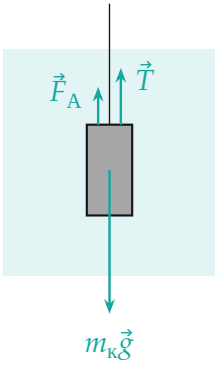
**1. Сила Архимеда.** Кирпич погружён полностью, поэтому вытесняет воду объёмом

$$V = 0{,}05\text{ м} \cdot 0{,}1\text{ м} \cdot 0{,}2\text{ м} = 1 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3,$$

$$F_\text{А} = \rho_\text{в} V g = 1000 \cdot 10^{-3} \cdot g = (1\text{ кг}) \cdot g.$$

Сила тяжести кирпича $(2{,}5\text{ кг}) \cdot g$ больше, поэтому кирпич держит верёвочка (рисунок 2):

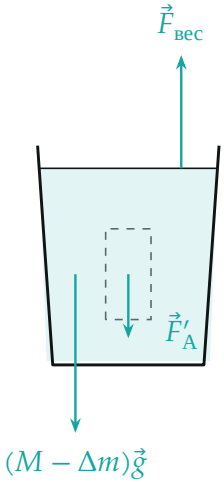
$$T = m_\text{к} g - F_\text{А} = (1{,}5\text{ кг}) \cdot g.$$




*Силы, действующие на кирпич: тяжесть, натяжение верёвочки и выталкивающая сила; длины стрелок — в отношении* 2,5 : 1,5 : 1.

**2. Силы, действующие на ведро с водой: третий закон Ньютона.** Вода действует на кирпич силой $\vec{F}_\text{А}$ вверх, значит, кирпич действует на воду силой $F_\text{А}$ вниз. Вода с ведром неподвижны, поэтому весы тянут их вверх с силой (рисунок 3)

$$F_\text{вес} = (M - \Delta m)g + F_\text{А}.$$



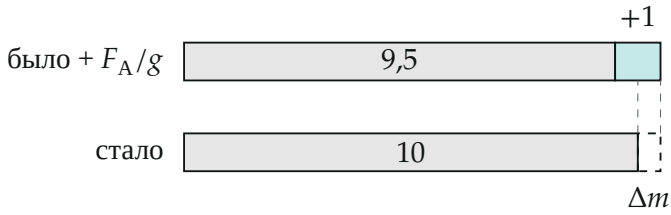

*Силы, действующие на ведро с оставшейся водой: тяжесть, сила $\vec{F}'_A$ со стороны кирпича ($F'_A = F_A$) и сила со стороны крючка весов. Пунктир — место кирпича.*

**3. Показание весов — уравнение на $\Delta m$.** Делим на $g$:

$$M' = M - \Delta m + \frac{F_{\text{A}}}{g} \quad \Longrightarrow \quad \Delta m = M + \frac{F_{\text{A}}}{g} - M',$$

$$\Delta m = 9{,}5\ \text{кг} + 1\ \text{кг} - 10\ \text{кг} = 0{,}5\ \text{кг}.$$

Баланс масс наглядно — на рисунке 4.




*Показания весов в килограммах: к начальным 9,5 добавился 1 от силы Архимеда, а получилось 10 — недостающие 0,5 вылились.*

**4. Второй способ: система «ведро + вода + кирпич».** Внешние силы: тяжесть $(M-\Delta m+m_{\text{к}})g$ вниз, натяжение верёвочки $T$ и сила весов вверх.

Равновесие:

$$F_{\text{вес}} = (M - \Delta m + m_{\text{к}})g - T =$$

$$= (M - \Delta m + m_{\text{к}})g - (m_{\text{к}}g - F_{\text{A}}) = (M - \Delta m)g + F_{\text{A}},$$

то же, что в шаге 2.

**Обратите внимание.** Масса кирпича 2,5 кг в ответ не входит: часть его веса держит рука через верёвочку, а на весы передаётся только сила Архимеда. Если бы ведро было неполным и ничего не вылилось, показание выросло бы ровно на 1 кг.

**Ответ:**

$$\Delta m = M + \rho_{\text{в}}V - M' = 0{,}5 \text{ кг}.$$

**Проверка.** Размерность: $\rho_{\text{в}}V$ — масса. Предел: если ведро было налито до краёв, вылился бы весь вытесненный объём, $\Delta m = 1$ кг, и весы показали бы 9,5 кг; здесь вылилась половина — ведро было не совсем полным. Второй способ (шаг 4) даёт то же.

**Ответ.** 0,5 кг.