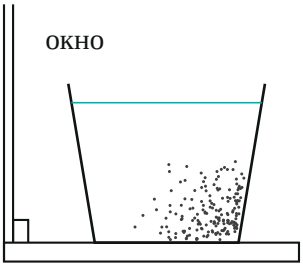
Песчинки в стакане у окна

Задача 1. [ИОШ 2016/17, отборочный этап, 11 класс, задача 1] В стакане с водой комнатной температуры находится взвесь маленьких песчинок, которые тонут очень медленно благодаря силе сопротивления воды. Песчинки тщательно размешали, а стакан поставили на подоконник около окна. Через некоторое время песчинки в стакане расположились так, как показано на рисунке. Какая за окном погода?



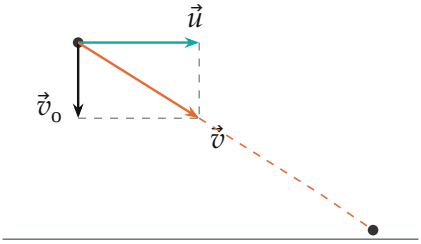
▲ **Решение. Что происходит.** Песчинки сами по горизонтали не движутся: тонут они вертикально и медленно, а сдвинуть их вбок может только течение воды. Значит, в стакане есть течение. Без внешней причины вода в стакане покоится, а причиной может быть разность температур стенок: около окна вода охлаждается или нагревается, меняется её плотность — возникает *конвекция*. Задача качественная: по картине осадка определить направление конвекционного круговорота, а по нему — знак разности температур.

Обозначения. ρ — плотность воды комнатной температуры, ρ' — плотность воды у стенки, обращённой к окну; $\vec{u}$ — скорость течения воды; $\vec{v}_0$ — скорость оседания песчинки относительно воды.

1. Что делает с песчинкой течение. Песчинка маленькая, сила сопротивления быстро выравнивает её скорость: относительно воды она тонет с постоянной малой скоростью $\vec{v}_0$. Относительно стакана её скорость по закону сложения скоростей

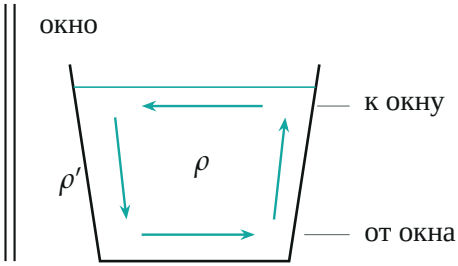
$$\vec{v} = \vec{u} + \vec{v}_0.$$

Значит, где вода у дна течёт вправо, песчинки, опускаясь, сносятся вправо и копятся у правой стенки.



Скорость песчинки относительно стакана — сумма оседания относительно воды и скорости самой воды. Течение у дна вправо сносит оседающие песчинки вправо.

2. Какой круговорот нужен. На рисунке условия песок собрался внизу у правой стенки — той, что дальше от окна. Значит, у дна вода течёт от окна в комнату. Вода в замкнутом стакане течёт по кругу: у дна — от окна, у дальней стенки — вверх, у поверхности — к окну, у стенки со стороны окна — вниз. Круговорот против часовой стрелки на рисунке.

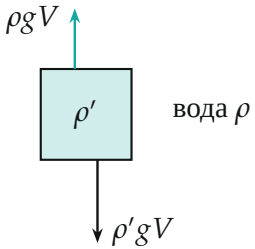


Круговорот воды, который даёт картину условия: у стенки со стороны окна вода опускается, у дна течёт в комнату.

3. Почему вода у окна опускается. Порция воды у стенки, обращённой к окну, окружена водой плотности ρ. По закону Архимеда на неё действует выталкивающая сила $\rho g V$, вниз — сила тяжести $\rho' g V$. Равнодействующая направлена вниз при

$$\rho' g V > \rho g V \quad \Leftrightarrow \quad \rho' > \rho.$$

Вода у окна тяжелее окружающей. У воды комнатной температуры (выше 4°C) плотность растёт при охлаждении, значит, вода у окна холоднее комнатной: стекло отбирает у неё теплоту.



Порция охлаждённой воды у окна: сила тяжести больше выталкивающей, порция тонет.

4. Вывод о погоде. Вода у окна охлаждается — значит, окно холоднее комнаты, а за окном холоднее, чем в комнате: на улице холодно. Если бы за окном было теплее, вода у окна поднималась бы, у дна текла бы к окну, и песок собрался бы у стенки со стороны окна.

Обратите внимание. Сами песчинки разность температур не чувствуют: их переносит вода. Поэтому рассуждение идёт по цепочке «картина осадка → течение у дна → круговорот → где вода тяжелее → где холоднее», и ни одно звено нельзя пропустить.

Проверка. Обратный случай: тёплое окно (жаркий день, солнце) даёт круговорот по часовой стрелке и осадок у стенки со стороны окна — картина зеркальная условию. Значит, ответ однозначен. Смысл: стакан работает как индикатор конвекции, а значит, и разности температур.

Ответ. На улице холодно: вода у окна охлаждается и опускается, у дна течёт в комнату и сносит оседающие песчинки к дальней от окна стенке.