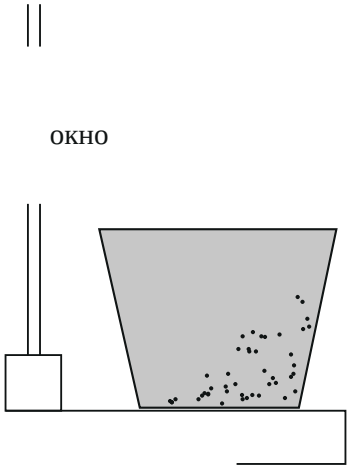
Песчинки в стакане у окна

Задача 2. [ИОШ 2016/17, отборочный этап, 9 класс, задача 2] 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 тонут очень медленно, поэтому сами по себе за время опыта они осели бы равномерно по всему дну. Собраться в одном углу их могло заставить только движение воды, которое сносит их вбок. В стоящем стакане такое движение — конвекция: остывшая вода тяжелее и опускается, тёплая поднимается. Задача качественная: по направлению потока у дна понять, с какой стороны воду охлаждают.

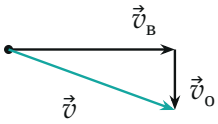
Обозначения. $\vec{v}_в$ — скорость воды в данном месте; $\vec{v}_о$ — скорость оседания песчинки относительно воды (вниз, мала); $\vec{v}$ — скорость песчинки относительно стакана.

1. Как движется песчинка. Песчинка мала и тонет медленно, поэтому относительно воды она движется только вниз с малой скоростью $\vec{v}_о$,

а вместе с водой её несёт поток. По закону сложения скоростей (переход из системы отсчёта воды в систему стакана)

$$\vec{v} = \vec{v}_в + \vec{v}_о.$$

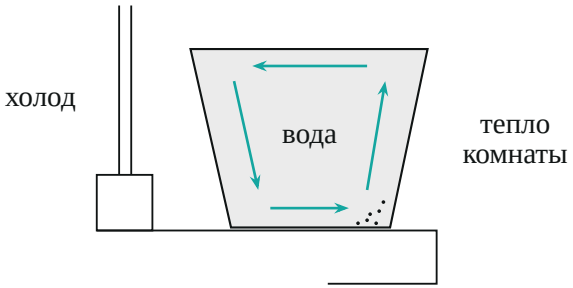
Значит, песчинка оседает там, куда её сносит поток в нижней части стакана.



Скорость песчинки у дна: поток $\vec{v}_в$ несёт её вбок, а сама она медленно оседает со скоростью $\vec{v}_о$ относительно воды.

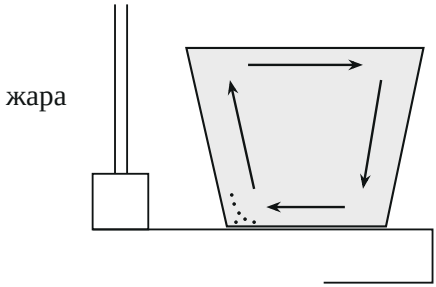
2. Куда течёт вода у дна. Песчинки собрались у дальней от окна (комнатной) стороны дна. Значит, у дна вода течёт *от окна в комнату*. По закону сохранения массы воды (вода несжимаема, стакан полон) поток замкнут: у дна — от окна, у комнатной стенки — вверх, у поверхности — к окну, у стенки со стороны окна — вниз.

3. Почему у окна вода опускается. Опускается та вода, которая плотнее окружающей, то есть холоднее (при комнатной температуре вода при охлаждении сжимается и становится тяжелее). Вода у стенки со стороны окна опускается — значит, она остывает: окно холоднее комнаты. Остывшая у окна вода стекает на дно, растекается по нему к комнатной стороне, там нагревается от комнаты и поднимается. Песчинки, оседая, захватываются нижним потоком и сносятся к комнатной стенке, где поток поворачивает вверх, а у дна вода почти стоит.



Конвекция в стакане: у окна вода остывает и опускается, у дна течёт в сторону комнаты, у комнатной стенки нагревается и поднимается. Песчинки сносит к комнатной стороне дна.

4. Проверка обратного случая. Если бы на улице было теплее, чем в комнате, вода у окна нагревалась бы и поднималась, петля шла бы в обратную сторону: у дна — к окну. Тогда песчинки собрались бы у стенки со стороны окна, а не так, как на рисунке условия. Если бы температура на улице и в комнате была одинаковой, конвекции не было бы, и песчинки легли бы ровным слоем.



Если бы снаружи было теплее, петля пошла бы в обратную сторону и песок собрался бы у окна. Так в условии не вышло.

Обратите внимание. Песчинки собрались не у окна, а у противоположной стенки. Первое желание — решить, что «окно отталкивает» песчинки теплом. На самом деле песок оседает туда, куда течёт вода у *дна*, а нижний поток начинается там, где вода опускается, то есть у холодной стенки.

Проверка. Второй способ — через давление: остывшая у окна вода плотнее, столб воды у окна тяжелее, давление у дна со стороны окна больше, и вода у дна выдавливается в сторону комнаты — тот же вывод. Смысл: стакан с песком работает как индикатор направления конвекции, а она показывает, где холоднее.

Ответ. На улице холодно (холоднее, чем в комнате).