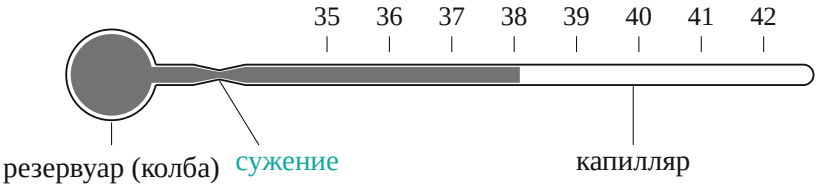
Почему медицинский термометр не остывает

Задача 3. [ИОШ 2025/26, отборочный этап, 9 класс, задача 3] Все мы измеряли температуру своего тела… И все мы знаем, что при охлаждении медицинского термометра ртуть не возвращается сама в колбу термометра, и поэтому перед использованием его нужно «встряхивать». А вот термометры, которые измеряют температуру на улице, — нет.

1. Почему? Какой элемент конструкции медицинского термометра ответственен за такое его поведение?
2. Зачем это сделано в медицинском термометре?
3. Что происходит при встряхивании термометра?



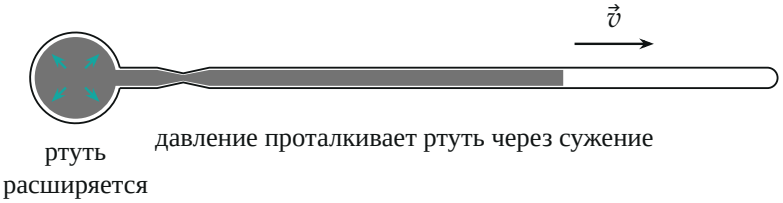
Поясняющий рисунок: медицинский термометр. Ртуть (серая) заполняет колбу и часть капилляра; у самой колбы капилляр сужен.

▲ **Решение. Что происходит.** Любой жидкостный термометр работает на тепловом расширении: ртуть в колбе нагревается, расширяется, и лишний объём вытесняется в тонкий капилляр — столбик растёт. При охлаждении ртуть сжимается, и столбик в уличном термометре уходит обратно. В медицинском термометре этого не происходит из-за одной детали конструкции — сужения капилляра у колбы. Это задача-объяснение: разберём по очереди нагрев, охлаждение и встряхивание.

Обозначения. Колба — резервуар с ртутью, капилляр — тонкая трубка со шкалой, сужение — короткий участок капилляра около колбы, где его просвет в несколько раз меньше.

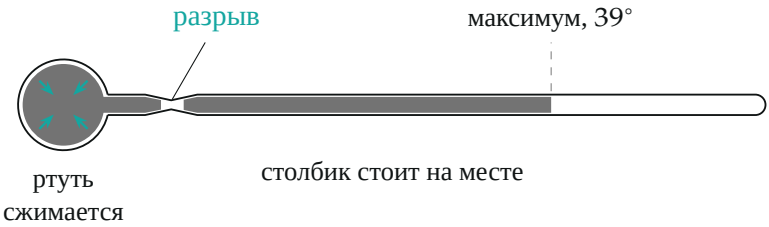
Пункт 1. Почему ртуть не возвращается и что за это отвечает.

Нагрев. Ртуть в колбе расширяется. Колба почти не меняет объём, поэтому ртуть сжата и давит на столбик: давление, созданное расширением, проталкивает её через сужение в капилляр. Сила здесь большая (жидкость почти несжимаема), и сужение легко проходится.



Нагрев: ртуть в колбе расширяется (бирюзовые стрелки) и выдавливает столбик в капилляр.

Охлаждение. Ртуть в колбе сжимается. Чтобы столбик вернулся, его нужно втянуть обратно через узкое место. Толкать его некому: сжатие не создаёт давления, а «тянуть» жидкость за собой ртуть не может — в колбе при этом лишь уменьшилось бы давление. Удержать же тонкую нить ртути в сужении способно поверхностное натяжение. Поэтому нить ртути рвётся именно в сужении: ртуть в колбе сжимается сама по себе, а столбик в капилляре остаётся там, где был при наибольшей температуре.



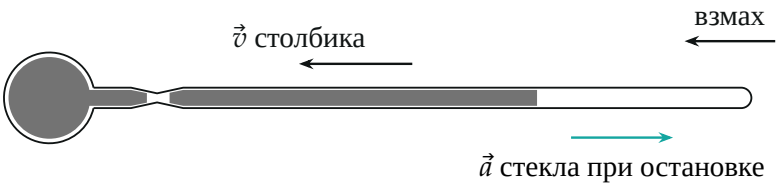
Охлаждение: ртуть в колбе сжалась, нить ртути разорвалась в сужении, столбик в капилляре остался на отметке наибольшей температуры.

В уличном термометре сужения нет, капилляр везде одинаковый, и нить ртути (или подкрашенного спирта) не рвётся: при охлаждении столбик уходит в колбу вслед за сжимающейся жидкостью. Ответ на пункт 1: за «память» отвечает **сужение капилляра около колбы**.

Пункт 2. Зачем это нужно. Температуру тела нужно знать с точностью до десятых долей градуса: 37,0° и 37,5° — разные диагнозы. Термометр, вынутый из подмышки, сразу остывает на воздухе, и за те секунды, пока мы на него смотрим, обычный термометр «соврал» бы на

несколько десятых градуса. Сужение превращает медицинский термометр в *максимальный*: он хранит наибольшую температуру, которую измерил, сколько угодно долго после измерения. Уличному термометру это, наоборот, вредно: он должен показывать текущую температуру, которая и растёт, и падает.

Пункт 3. Встряхивание. Термометр резко двигают колбой вперёд и затем резко останавливают. Пока термометр с ртутью движется, у столбика есть скорость $\vec{v}$, направленная к колбе. При резкой остановке стекло тормозит, а столбик по инерции продолжает двигаться к колбе: стенки капилляра на него почти не действуют вдоль трубки, а сила поверхностного натяжения в сужении слишком мала, чтобы за короткое время остановить столбик. Столбик проскакивает сужение и сливается с ртутью в колбе.

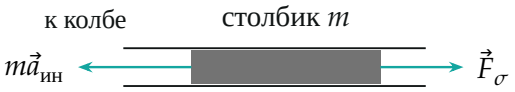


Встряхивание: термометр вместе с ртутью движется колбой вперёд (взмах) и резко тормозит. Ускорение стекла $\vec{a}$ направлено назад, а столбик по инерции сохраняет скорость $\vec{v}$ к колбе и проходит сужение.

Обратите внимание: встряхивают колбой вниз и вперёд, как молоток при ударе: важна именно резкая остановка. Если тормозить плавно, стенки успеют увлечь столбик силами трения и поверхностного натяжения, и ртуть останется в капилляре.

Оценка, почему нужен именно рывок. В системе отсчёта стекла при торможении с ускорением a на столбик массы m действует сила инерции ma, направленная к колбе. Удержать столбик может лишь сила поверхностного натяжения в сужении — порядка $\sigma \cdot \pi d$, где d — диаметр сужения. Для $d \sim 0{,}05$ мм и $\sigma \approx 0{,}5$ Н/м это $\approx 8 \cdot 10^{-5}$ Н. Столбик ртути длиной 5 см в капилляре диаметром 0,1 мм имеет массу $\sim 5 \cdot 10^{-6}$ кг, вес $\sim 5 \cdot 10^{-5}$ Н; поэтому для разрыва нужна перегрузка больше $\sim 1{,}5\,g$, а

при спокойном переворачивании термометра (одна сила тяжести) столбик стоит на месте. Резкий взмах рукой даёт ускорения в десятки g — с запасом.



Силы на столбик вдоль капилляра в системе отсчёта стекла при торможении: сила инерции $m\vec{a}_{ин} = -m\vec{a}$ тянет к колбе, поверхностное натяжение в сужении $\vec{F}_\sigma$ удерживает. Столбик уходит, когда $ma > F_\sigma$.

Проверка. Логика сходится с опытом: термометр «держит» показание сколько угодно, пока его не встряхнут; уличный термометр без сужения показывает и рост, и падение температуры. Оценка показывает, что сил, удерживающих столбик, хватает против силы тяжести, но не против рывка в десятки g.

Смысл: сужение — односторонний клапан для ртути: давление расширения его открывает, а сжатие закрыть обратно не может; обратный путь открывает только инерция.

Ответ. 1) Сужение капилляра у колбы: при нагреве расширяющаяся ртуть давлением проталкивается через него, а при охлаждении давления нет, нить ртути рвётся в сужении и столбик остаётся на месте. У уличного термометра сужения нет. 2) Чтобы термометр хранил наибольшую измеренную температуру и не остывал до прочтения: он максимальный. 3) При резкой остановке столбик по инерции движется к колбе, проходит сужение и сливается с ртутью в колбе.