

Нам пишут

Рыбаков Александр Борисович

Кандидат физико-математических наук, учитель
физики гимназии №144 г. Санкт-Петербурга.



Процессы переноса в стихах и прозе

Любой материальный объект, любое явление в материальном мире может стать предметом физических рассуждений. Такой предмет можно найти даже в лирических стихах, о чём, скорее всего, не подозревал и их автор.

Стихи, о которых пойдёт речь, очень широко известны, но (будем объективны!) своей известностью они в значительной степени обязаны романсу.

*Растворил я окно, – стало
грустно невмочь, –*

*Опустился пред ним на колени,
И в лицо мне пахнула весенняя
ночь*

Благовонным дыханьем сирени.

Автор этих стихов всегда выступал в печати под псевдонимом К. Р., но ни для кого не было секретом, что это – Великий князь Константин Константинович (1858 – 1915), племянник Александра II, двоюродный брат Александра III.

Обратил ли внимание читатель на то, что в этих строчках есть загадка: зачем герой опустился на колени?

На колени опускаются молящиеся в церкви. На колени подданные опускались перед монархами. Рыцарь мог опуститься на колени перед дамой сердца. Но зачем опускается на колени герой стихотворения?

Давайте разбираться.

Когда сначала я записал эти стихи, понадеявшись на свою память, то в первой строчке написал не «грустно», а «душно». Ведь это было бы так естественно: стало душно – открыл окно. Но стихотворение в целом о том, как поэту грустно на чужбине, как он тоскует о родине.

Цветет сирень. Прохладная майская ночь. Дело, конечно, происходит в дворянской усадьбе. По-видимому, в доме топится камин. Вот и стало герою душно. А воздух за окном – свежий, прохладный. Понятно, что ему захотелось распахнуть окно. Но зачем же – на колени? Из-за того, что человеку грустно, он на колени перед окном не опускается.

По-видимому, герой почувствовал, что внизу окна поток свежего, прохладного воздуха будет заметнее.



Ну, конечно! А почему?

Теперь забудем лирику и перейдём к физике.

Что может привести к возникновению потока воздуха? Только разность давлений. А откуда она может взяться?

Оставим в стороне те очевидные случаи, когда в наших комнатах гуляет сквозняк из-за открытых форточек. Закроем форточки. Все мы знаем, что иногда в наших комнатах возникают вполне заметные потоки воздуха, хотя на первый взгляд, никакой причины для этого нет. Так, поздней осенью, как бы хорошо мы не заделали щели в окнах, мы можем, сидя в комнате, почувствовать поток холодного воздуха от окна. Дело в том, что комнатный воздух, соприкасаясь с холодным стеклом, и сам охлаждается, а значит, становится более тяжёлым. Он «тонет» в окружающем его более тёплом воздухе, скользит вниз вдоль окна и растекается по полу. Наши ноги чувствуют принесённый этим воздухом холод, и мы говорим: «От окна дует! Скорее бы включили отопление». Если у окна воздух опускается вниз, значит, в другой части комнаты, вдали от окна он поднимается вверх. Так возникает циркуляция воздуха в комнате.

Но разность давлений, вызвавшая этот поток воздуха, очень мала. Нет никаких шансов обнаружить её нашими бытовыми барометрами. Сам же поток вполне можно сделать заметным. Найдите кого-нибудь, кто курит. Объясните ему, что курить вредно. Возьмите у него зажжённую сигарету, блюдечко с дымящейся сигаретой поставьте на пол – поток воздуха отклонит струйку дыма от вертикального положения.

Но включённое отопление заметно изменит, «запутает» картину потоков воздуха в комнате. Здесь нель-

зя не заметить, что наша привычка размещать батареи отопления под подоконником и закрывать их шторами приводит к тому, что заметная часть тепла (принесённого к нам потоком горячей воды в трубах) уходит через окна наружу, мы, так сказать, отапливаем улицу. Но ведь «задранный» штора – это очень некрасиво, скажет читатель. Так мы ставим эстетику впереди физики, а потом удивляемся, что в комнате не так тепло, как хотелось бы.



Теперь вернёмся к открытому в ночной сад окну. В этой ситуации роль холодного стекла будет исполнять вся масса прохладного уличного воздуха. Обсудим это подробнее.

Отличаются ли давления воздуха внутри комнаты и снаружи? Нет, давление воздуха за окном и в доме одинаково. Для того чтобы давление в каком-то объёме отличалось от наружного, мы должны были бы герметически изолировать его (но тогда у нас будет не комната, а барокамера). В жилых помещениях такой изоляции, конечно, не добиться. И не зря мы вешаем барометр в комнате, намереваясь отслеживать атмосферное давление.

Но предыдущее утверждение о равенстве давлений внутри дома и



снаружи верно лишь «в целом», «в среднем», «по большому счёту», а теперь давайте разбираться в деталях.

Атмосферное давление обусловлено весом столба воздуха над нашими головами, потому-то оно зависит от высоты (когда мы поднимаемся в горы, давление уменьшается, становится трудно дышать, нам «не хватает воздуха»).

Воздух за окном заметно холоднее (а значит, и тяжелее), это обстоятельство сыграет важную роль в наших рассуждениях.

Перепад давления по вертикали вдоль окна больше для уличного воздуха, чем для комнатного. Поэтому у подоконника давление воздуха снаружи чуть-чуть больше, чем внутри комнаты.

В верхней же части окна все наоборот. Этого «чуть-чуть» хватит для возникновения циркуляции воздуха в оконном проёме: внизу окна прохладный уличный воздух течёт в комнату, наверху тёплый комнатный воздух выходит наружу. Вот для того, чтобы почувствовать освежающий холодок на своем лице, герой стихотворения и опустился на колени. Поэты часто оказываются удивительно точны даже в мелочах.

А мы воспользуемся этим примером, чтобы ввести некоторые физические термины.

Перемещение жидкости или газа как целого физики называют *конвекцией*. Этот термин происходит от латинского слова *convectio* – доставка. Обычно при таком перемещении происходит и перенос тепла, и тогда говорят о *конвективном теплопереносе*. Такой процесс может быть естественным (как в рассмотренном нами примере), так и вынужденным, происходящим под воздействием какого-то устройства. Естественные процессы такого рода играют важную

роль в атмосфере. А также и в наших комнатах, перенося тепло от отопительного прибора по всей комнате.

А «дамы былых времен», обмахиваясь веером, создавали вокруг своей головы, как мог бы сказать физик, *вынужденный конвективный теплоперенос*. Мы же, находясь в положении героя стихотворения К.Р., могли бы воспользоваться для этого вентилятором. Такого рода процессы играют большую роль в разных областях техники.

Но перенос может быть не только конвективным...

* * *

Как-то я, желая нарушить плавное течение урока, изложил условие известной школьной задачи в стихах.

*Поздняя осень. Грачи улетели.
Дождь за окошком. Дворы опустели.
Сохнет у Марьи на кухне бельё...
Сохнет – да не высыхает оно!
Эта проблема школьницу гложет.
Пёрышкин Маше, увы, не поможет.*

*Ей не поможет «Физика в школе»,
Ей не поможет друг её Коля,
Ей не помогут советы отличницы,
Ей не помогут Ландау и Лифшиц!
Школьный учитель – и тот не может!*

*Что же ей делать?! Господи боже!
Кто же подскажет, как Машеньке быть?*

Форточку, что ли, на кухне открыть?

Сначала необходимые пояснения к тексту стихотворения. Первая строчка, конечно, позаимствована у Н. Некрасова. А.В. Пёрышкин – «патриарх» школьной физики, автор многочисленных учебников. «Физика в школе», как легко догадаться, журнал для учителей. Коля – неустановленное лицо. Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц – академики, авторы известного на весь мир многотомного



курса теоретической физики. Едва ли Маша его читала. И пусть читатель простит автору нагнетание драматизма в тексте стихотворения, это сделано лишь для привлечения внимания учеников.

Теперь приступим к обсуждению сути дела. А суть дела в том, как повлияет открывание форточки на кухне на скорость высыхания белья.

Первые две строчки невнимательному читателю могут показаться просто пейзажной зарисовкой. Но это не так. Содержащиеся в них указания на время года и погоду очень важны.



Что даёт нам указание на то, что дело происходит поздней осенью, а не в июле, например? Для наших дальнейших рассуждений важно, что существует большая разница температур на кухне и за окошком. Мы не слишком ошибёмся, приняв, что поздней осенью в наших широтах днём около 5°C . А что в квартире? Отопление, наверно, уже работает. Можно думать, что на кухне, как и во всей квартире, как обычно в наших жилых помещениях, около 20°C .

Какая ещё характеристика воздуха, кроме температуры, для нас важна?

Во второй строчке стихотворения мы видим указание на затяжной

дождь. При таком дожде водяной пар в воздухе становится *насыщенным* (это строгий физический термин), т. е. больше водяного пара в воздухе (при данной температуре) быть не может. При таких условиях бельё, вывешенное на балконах или открытых верандах, не сохнет. И на первый взгляд кажется, что впускать такой воздух на кухню, открыв форточку, нет никакого смысла.

Но не будем торопиться.

Важная характеристика воздуха – плотность содержащегося в нем водяного пара, т. е. масса водяного пара в одном кубическом метре воздуха. Но опыт показывает, что самочувствие человека, сохранность тканей и картин и многое другое зависит не от этой величины, а от другой – от относительной влажности. Относительная влажность воздуха φ – это отношение плотности водяного пара в воздухе при интересующих нас условиях к плотности насыщенного водяного пара при той же температуре. Вот и скорость испарения воды с мокрой ткани зависит от относительной влажности воздуха и его температуры (ещё, конечно, и от скорости ветра, но какой ветер на кухне). Чем больше φ , тем меньше скорость испарения, тем хуже сохнет бельё.

Какая же относительная влажность на кухне у Маши?

Многочисленные источники указывают, что наиболее благоприятная для человека относительная влажность около 60%. Наверно, в комнатах Машиной квартиры влажность именно такая. Но на кухне, где развешено мокрое бельё, влажность может быть значительно больше, потому-то бельё и не сохнет. Если бы кухня была герметически изолирована, то при сушке белья там создалась бы относительная влажность 100% (т. е. водяной пар стал бы насыщенным). Но, в



жилом доме есть, конечно, кое-какая вентиляция, потому примем для оценок, что на кухне у Маши $\varphi = 90\%$. Такие условия человек будет ощущать, как некомфортные.

А что будет происходить, когда Маша откроет форточку? Что будет происходить именно с молекулами водяного пара? Будут ли они заходить в кухню с улицы или наоборот уходить из кухни?

Что происходит с молекулами ароматического вещества, когда мы открываем флакон с духами? Они распространяются по всей комнате. Кто их гонит подальше от флакона? Никто не гонит. Каждая молекула движется совершенно хаотично, сталкиваясь с молекулами воздуха. Но из-за этого хаотичного движения каждой молекулы «облако» всех молекул вполне закономерно «расплывается» по комнате. Этот процесс физики называют *диффузией* (термин происходит от латинского слова *diffusion* – растекание, распространение).

Мы видим, что диффузия стремится выровнять плотность какой-то «примеси», «добавки» в воздухе (в нашем примере – ароматического вещества) по всему доступному объёму.

В примере с сушкой белья такой «добавкой» в воздухе является водяной пар.

Теперь мы понимаем, что если Маша откроет форточку, диффузия будет выравнивать плотность водяного пара с двух сторон форточки. В какую же сторону будет направлен диффузионный поток? Для ответа на этот вопрос нам осталось только узнать, где плотность пара больше – на кухне или на улице.

Обычно в конце школьных задачников есть таблица зависимости плотности насыщенного пара от температуры воздуха – вот к ней и обратимся. При температуре воздуха 20°C плотность насыщенного водяного пара $17,3 \text{ г/м}^3$, а при температуре 5°C – $8,3 \text{ г/м}^3$. Вспомним, что у Маши на кухне относительная влажность 90% , поэтому плотность водяного пара там $17,3 \cdot 0,9 = 15,6 \text{ г/м}^3$.

Итак, плотность водяного пара на кухне чуть ли не в два раза больше, чем на улице. Поэтому, как это ни странно на первый взгляд, Маше стоит открыть форточку – бельё высохнет быстрее. Учи физику, Маша!

Много лет я с грустью наблюдаю, как у школьников очень быстро формируется неправильное представление о физике, как о предмете, где самое главное – подстановка чисел в формулы. И известное выражение «Физика – точная наука» сбивает учеников с толку. Они понимают его как указание на необходимость проведения точных расчётов всегда и везде. В действительности же в работе физика очень велика роль грубых оценок – оценок по порядку величины, как обычно говорят. Например, того типа, как проведённые нами выше. Зачастую они позволяют полностью решить возникший вопрос. Читатель мог подумать, что мы уж слишком свободно выбираем конкретные значения используемых в оценках величин. Но в том-то и дело, что от конкретных значений физических величин, принятых нами, окончательный ответ практически не зависит.

И наши качественные (без формул) рассуждения о диффузии и конвекции – это тоже самая настоящая физика.