

КОГДА НАПЬЁТСЯ УТЁНОК

Утка крякнула, берега звякнули,
море взболталось, вода всколыхалась.
(Присказка)

Жила-была в наших краях «Птичка Хоттабыча» (она же «Пьющий утёнок») – удивительная игрушка и «почти вечный двигатель». Годах в 60-ых прошлого века она исчезла, оставив свои следы лишь на страницах научно-популярных книг. Будучи школьником, я узнал про неё из «Занимательной физики», а затем лет двадцать мечтал об очном знакомстве. Это случилось, когда птичка «прилетела» к нам из-за границы.

Наконец-то заветная игрушка – устройство из трубочки и колбочек с жидкостью в моих руках. Ставлю птичку возле стакана с водой и смачиваю ей голову. Замираю и жду. Через некоторое время она сама наклоняется и опускает клюв в стакан с водой. Без всяких батареек! Действие повторяется. Раз за разом, непрерывно, днем и ночью кланяется птичка, пока в стаканчике не кончится вода.

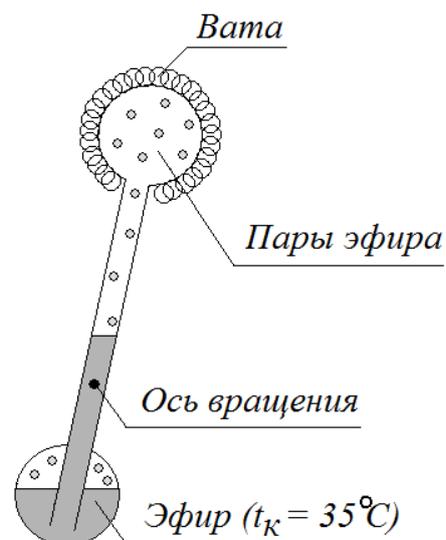
Остроумная и наглядная демонстрация работы термодинамических законов. Возникает желание поделиться своей радостью с окружающими. Не просто показать забавную игрушку, а постичь её суть.

Это задача для Театра Занимательной Науки и его зрителей – любопытных старшеклассников.

– Давайте познакомимся с «Пьющим утёнком», – предлагает Ведущий и раскрывает его устройство по схематическому рисунку.



Раритет 1959 г. выпуска



Это крайне важно, ведь без этого не понять поведения птички.

Внутри герметичного стеклянного корпуса из трубки и двух шариков находится подкрашенный эфир (температура кипения которого 35°C), воздух отсутствует, а голова игрушки покрыта пористым гигроскопичным материалом (ватой).

Заботливый Ведущий наполняет стакан дистиллированной водой (от водопроводных ванн вата со временем покрывается растворёнными в воде солями) и, наклонив игрушку, смачивает ей голову и клюв. Тело птички возвращается в исходное положение. Зрители заворожено наблюдают (это хорошо видно на фоне белого экрана), как цветная жидкость в трубочке поднимается всё выше и выше, а сам утёнок, теряя равновесие, постепенно наклоняется вниз. Без принуждения. Наконец он припадает к стакану, а «испив» водицы, возвращается в исходное положение. Далее всё повторяется: утёнок принимается периодически (несколько раз в минуту) прикладываться к стакану.

– Внимание, вопрос! – озадачивает Ведущий, – когда напьётся утёнок? Под словом «напьётся» – понимаем «перестанет кланяться», – уточняет он и предлагает в тестовом режиме выбрать имеющиеся варианты:

- 1) когда выпьет всю воду;
- 2) если направить на него вентилятор;
- 3) накрыть колпаком;
- 4) заменить воду спиртом;
- 5) *perpetuum mobile* – не остановить!
- 6) ...

Последний вариант – для зрительских фантазий. Но и все предыдущие сами по себе интересны, на каждом хочется остановиться, насладиться и извлечь пользу. «Давайте посмотрим, что сработает» – не наш метод. Сначала – выяснение причин движения («почему кланяется утёнок?»), затем – их устранение (выбор действенного варианта).

Вновь обращаемся к схематическому рисунку устройства и проводим сократическую беседу – ставим перед собеседниками цепочку простых вопросов, шаг за шагом подводящих к более полному видению предмета обсуждения и выводам, изначально не очевидным.

– Куда постепенно исчезает вода, которую якобы пьёт утёнок?..

– Она испаряется.

– В чём суть этого явления?..

– Из жидкости с её поверхности вылетают наиболее быстрые и энергичные молекулы.

– Как испарение влияет на температуру жидкости?..

– Температура понижается.

– Какая часть игрушки за счёт испарения будет иметь более низкую температуру?..

– Её голова.

– Что кроме эфира находится в герметичном теле утёнка?..

– Его насыщенный пар.

– Как изменится давление насыщенного пара в голове утёнка при её охлаждении?..

– Понизится.

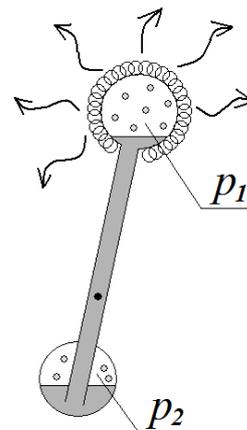
– А в нижней части?..

И так далее, шаг за шагом.

В познавательном диалоге выясняется, что жидкий эфир из-за возникновения разницы давления своих паров ($p_2 - p_1$) поднимается по трубочке вверх, нарушая равновесие игрушки. При её максимальном наклоне (голова – в стакане), по трубочке снизу – вверх устремляется порция насыщенного пара, которая и выравнивает давление. Жидкость сливается обратно в нижний сосуд, и игрушка возвращается в исходное положение. Процесс многократно повторяется.

Для проверки понимания и углубления могут быть затронуты сокровенные вопросы:

Почему игрушка не будет работать, если внутри окажется воздух?



Хорошо для утёнка или плохо, что «давление насыщенного пара не зависит от его объёма»?

Какими свойствами должна обладать жидкость внутри игрушки?

Мы не спешим узнать конечный результат и наслаждаемся процессом поиска. Жаждем понимания и закрепляем достигнутое. Поэтому берём в руки очередную игрушку из своей коллекции – «ручной кипятильник» (или «индикатор любви»). Две колбы, соединённые затейливо изогнутой трубкой, эфир и отсутствие воздуха. Вся жидкость – в нижнем сосуде.

– Давайте придумаем способ переместить её вверх.

В устройстве узнают «пьющую птичку» и предлагают охладить ей «голову». Проверяем с помощью кусочка льда...

Но есть и альтернативный вариант, подсказанный названием – нагреть рукой нижнюю часть...

В каждом случае возникает разность давлений, перегоняющая жидкость снизу-вверх. Пузырьки пара, попадая в верхний сосуд, создают иллюзию кипения (вот вам и «кипяtilьник», а насчёт «любви» – догадайтесь сами).

Возвращаемся к «Пьющему утёнку». Его работа основана на охлаждении (но можно представить и альтернативный вариант игрушки, основанный на нагреве...)

Ключ к решению загадки найден! Основная причина подвижности утёнка в испарении. Устраним испарение – остановим птичку!

Призыв «испарение прекратись!» не срабатывает.

Приступаем к экспериментальной проверке, предложенных ранее тестовых вариантов. Не от безысходности, а с присущим исследовательским интересом.

– Встретились как-то два утёнка. Один другому: «Кря-кря!», а второй, обиженно: «Тю, я тоже самое хотел сказать!»

О чём это мы? О нашей демонстрационной установке, на которой укреплены две одинаковые игрушки. Одна из них уже безостановочно кланяется. Пятнадцать секунд – оценивают зрители период. Вторая – контрольный экземпляр, застывший в ожидании.

Мы нетерпеливы, не дожидаясь пока вода будет выпита, убираем наполненный стакан – утёнок продолжает кланяться, не думая останавливаться. Голова-то мокрая. Можно конечно подождать с пол часика, пока она высохнет, но результат нам нужен «здесь и сейчас». Не наш вариант. Возвращаем стакан с водой на место.

Включаем вентилятор. Тонкие нити, развиваясь в воздушном потоке, указывают его направление. Направляем его на контрольного утёнка. Не реагирует. Зато период колебаний пьющего утёнка заметно уменьшается (примерно вдвое).

Не остановили процесс, а наоборот, ускорили. В чём дело?.. Оказывается, вентилятор сдувает толпу вылетевших из воды молекул, освобождая место для вновь испарившихся. Другими словами, способствует более быстрому испарению влаги с мокрой птичьей головы. Кто-то по делу вспоминает, что влажное бельё, вывешенное для просушки, на ветру сохнет быстрее.

– Интересно, что произойдёт, если вентилятор заменить такой же мощности электрофеном, создающим поток горячего воздуха? – подсказывает идею возможного домашнего эксперимента Ведущий...

Накрываем утёнка прозрачным цилиндром с крышкой. И пока «под колпаком никаких видимых изменений не происходит», переходим к проверке следующего варианта.

Из шприца (пипетки) на голову контрольного утёнка выливаем несколько капель спирта.

«Кря-кря», – начинает он быстро-быстро кланяться. Знакомый эффект.

Припоминаем, как врач перед уколом протирает кожу ваткой со спиртом... И как после этого возникает ощущение прохлады. Действительно, спирт, испаряясь лучше воды,



интенсивнее охлаждает. Как следствие, период колебаний у «спиртового» утёнка меньше, чем у «водяного».

Вновь нами получен обратный эффект. Зато поучительный.

К этому времени зрители с удивлением замечают, что под колпаком произошли изменения. Движение игрушки замедлилось. Под пристальным вниманием она совершает несколько ленивых наклонов и замирает. Утёнок напился! Решение нашлось, но оно ещё не осознано.

Разве испарение прекратилось? Разве перестали вылетать с мокрой головы и из стакана молекулы воды?.. Продолжают, но... Под колпаком образовался насыщенный водяной пар и стопроцентная относительная влажность.

Школьники знают, что «насыщенный пар отличается от ненасыщенного тем, что он уже насытился», поэтому поясняем смысл через динамическое равновесие при котором количество испарившихся молекул в единицу времени примерно равно количеству вернувшихся из пара в жидкость (конденсировавшихся). Испарение забирает у жидкости энергию ($+Q$), а конденсация – возвращает ($-Q$).

– Петя, сколько будет «ку» плюс «ку»? – интересуется Ведущий у воображаемого (за неимением реального) зрителя, который ворон считает, а не за утятами следит.

– «Ку-ку»...

– А в нашем случае – ноль – полная компенсация. Можно считать, что испарение как будто бы «прекратилось» и голова утёнка больше не охлаждается (со всеми вытекающими из этого последствиями).

Опять же, вывешенное после стирки бельё, во влажном воздухе сохнет плохо.

Ведущий предлагает нарушить динамическое равновесие, и самый догадливый зритель снимает крышку с цилиндра...

И вновь полезное «отступление»:

Зачем человек потеет?

Почему сильная жара труднее переносится во влажном климате, чем в сухом?

Чем плоха прорезиненная одежда, которая «не дышит»?

Что необходимо предусмотреть, чтобы космонавт в скафандре не погиб от теплового удара?

Вспомнилось, как когда-то после уроков в кабинете физики кипели страсти – обсуждался проект постройки термодинамического чуда во дворе школы. Прямо под окнами нашего кабинета.

– Представьте себе гигантскую птицу на краю бассейна, – соблазнял я, – к её «ноге» мы привяжем динамо-машину, которая навечно обеспечит школу дармовой электроэнергией.

– А на постаменте оставим о себе скромную надпись, – был принят вызов: «Потомкам от выпускников физико-математического класса, разрешивших проблему грядущего энергетического кризиса».

Заманчиво! Ребята слышали, что «вечный двигатель в природе не существует», и усердно искали подвох.

– Так ведь вода за век испарится... А ещё раньше (зимой) – замёрзнет... Да и механизм долго не протянет, сломается...



С подобными проблемками разобрались быстро. Вечный двигатель (perpetuum mobile) не обязан работать век, достаточно и секунды (!). Погрузились в тему (ради чего всё и задумывалось). Двигатель оказался не «вечным», а обычным тепловым. Даровым! Черпающим энергию буквально из атмосферы: преобразуя её теплоту в механическое движение. Определили рабочее тело, нагреватель, холодильник, оценили предполагаемый КПД и подумали над тем, как его повысить. И даже создали настольный прототип. Он вращал маленькое зубчатое колёсико с храповиком, которое поднимало на нитке небольшой грузик. Но до «памятника» – руки не дошли. «Испугались» порождения культа «пьющей птицы» среди местного населения, да и пришло время поступления в ВУЗы.

Под занавес заметим, что в процессе нашего научного расследования ни один пьющий утёнок не пострадал, зато интерес к науке – возрос.

А ещё, пожелаем всем участникам (и себе хорошим), чтобы логика в наших головах обрела прописку: была хозяином, а не гостем.

30.06.17