

Физика-7

Урок 11-12 Испарение и конденсация. Влажность воздуха

1. Введение

Приветствие и актуализация знаний.

Здравствуйте! Мы ежедневно сталкиваемся с процессами перехода веществ из одного агрегатного состояния в другое. Вода в лужах исчезает после дождя, мокрое белье сохнет, запотевают окна, образуется туман. Сегодня мы разберёмся с физикой этих явлений: что такое испарение и конденсация, от чего они зависят и как их рассчитать. А также поговорим о важной характеристике воздуха — его влажности.

2. Теоретическая часть

2.1. Испарение и конденсация

Испарение — это процесс парообразования, происходящий с поверхности жидкости при любой температуре.

Механизм: Молекулы жидкости движутся с разными скоростями. Если быстрая молекула (обладающая большей кинетической энергией) находится у поверхности и направлена наружу, она может преодолеть притяжение соседних молекул и вылететь в пар. Жидкость покидают самые «энергичные» частицы.

Конденсация — процесс, обратный испарению. Переход вещества из газообразного состояния в жидкое.

Механизм: Молекулы пара, попадая в область с более низкой температурой или сталкиваясь с холодной поверхностью, теряют скорость, силы притяжения возвращают их обратно в жидкость.

2.2. Поглощение и выделение энергии

Так как жидкость покидают самые быстрые молекулы, средняя кинетическая энергия оставшихся молекул уменьшается. Это означает, что внутренняя энергия жидкости при испарении понижается, следовательно, жидкость охлаждается.

Чтобы процесс испарения продолжался, жидкости необходим приток энергии извне.

Пример: Вспотевший человек чувствует прохладу, потому что тепло, выделяемое телом, расходуется на испарение пота.

При конденсации пара происходит обратный процесс: молекулы возвращаются в жидкость, их внутренняя энергия уменьшается (они тормозятся), но при этом они отдают эту энергию окружающим телам. Внутренняя энергия вещества при конденсации уменьшается, но окружающая среда нагревается.

Пример: Ожог паром опаснее ожога кипятком именно из-за выделения огромной дополнительной энергии при конденсации пара на коже.

2.3. Насыщенный пар

Представим закрытый сосуд с жидкостью. Сначала количество молекул, покидающих жидкость (испарение), больше, чем возвращающихся (конденсация). По мере накопления молекул пара над поверхностью, процесс конденсации усиливается.

Динамическое равновесие — это состояние, при котором процессы испарения и конденсации компенсируют друг друга: сколько молекул вылетело из жидкости за секунду, столько же и вернулось обратно.

Насыщенный пар — это пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью.

Ненасыщенный пар — пар, не достигший динамического равновесия (обычно в открытом сосуде).

Важно: Давление насыщенного пара зависит только от рода жидкости и ее температуры. При повышении температуры давление насыщенного пара растет очень быстро (так как больше молекул способны покинуть жидкость).

2.4. Расчет количества теплоты. Удельная теплота парообразования

Чтобы превратить жидкость в пар при постоянной температуре, необходимо затратить энергию. Количество теплоты, необходимое для превращения 1 кг жидкости в пар без изменения температуры, называется удельной теплотой парообразования (обозначается буквой L).

Единица измерения в СИ: $[L] = \text{Дж/кг}$

Формула для расчёта количества теплоты: $Q = L \cdot m$

где: Q — количество теплоты, необходимое для парообразования (или выделяющееся при конденсации), Дж;

L — удельная теплота парообразования жидкости, Дж/кг;

m — масса жидкости, превратившейся в пар (или масса пара, сконденсировавшегося), кг.

Важно: Эта же формула работает и для конденсации. При конденсации пара массой

m выделяется точно такое же количество теплоты $Q = L \cdot m$.

Табличные значения L для воды при 100°C

$L = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ (или $2,3 \text{ МДж/кг}$). Это огромная величина. Для сравнения: чтобы нагреть 1 кг воды от 0°C до 100°C , нужно всего $4200 \text{ Дж/кг} \cdot 100^\circ \text{C} = 420\,000 \text{ Дж}$ ($0,42 \text{ МДж}$). На парообразование требуется энергии в 5 раз больше!

2.5. Влажность воздуха

Воздух всегда содержит водяной пар. Характеристики влажности важны для самочувствия человека, в сельском хозяйстве, технике.

Абсолютная влажность

ρ — показывает, сколько граммов водяного пара содержится в 1 м^3 воздуха. Фактически это плотность водяного пара (г/м^3).

Относительная влажность φ — самая важная характеристика. Показывает, насколько пар близок к насыщению. Это отношение абсолютной влажности к плотности насыщенного пара при данной температуре, выраженное в процентах.

$$\varphi = \rho / \rho_0 \cdot 100\% = p / p_0 \cdot 100\%$$

(Так как плотность и давление насыщенного пара связаны, можно использовать и отношение давлений).

Точка росы — это температура, до которой должен охладиться воздух, чтобы содержащийся в нем пар достиг состояния насыщения (т.е. $\varphi = 100\%$).

Приборы для измерения влажности: гигрометры (конденсационные, волосные) и психрометры.

3. Решение задач (15 минут)

Задача 1. (На прямую формулу)

Какое количество энергии нужно затратить, чтобы обратить в пар 500 г спирта, взятого при температуре кипения? (Удельная теплота парообразования спирта $L = 0,9 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$).

Дано:

$$m = 500 \text{ г} = 0,5 \text{ кг}$$

$$L = 0,9 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$$

Найти: Q

Решение:

$$Q = L \cdot m = 0,9 \cdot 10^6 \cdot 0,5 = 0,45 \cdot 10^6 = 4,5 \cdot 10^5 \text{ Дж.}$$

Ответ: $Q = 450000 \text{ Дж}$ (450 кДж).

Задача 2. (На конденсацию)

При конденсации пара массой 2 кг при 100°C выделилось $4,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ энергии. Определите по этим данным удельную теплоту парообразования воды.

Дано:

$$m = 2 \text{ кг}$$

$$Q = 4,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Найти: L

Решение:

Так как при конденсации выделяется $Q = L \cdot m$, то $L = mQ$.

$$L = 24,6 \cdot 10^6 = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг.}$$

Ответ: $L = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг.}$ (Что совпадает с табличным значением).

Задача 3. (Комбинированная)

Какое количество теплоты потребуется для нагревания 1,5 кг воды от 20°C до кипения и полного ее испарения? (Удельная теплоёмкость воды $c = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ \text{C)}$, $L = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$).

Дано:

$$m = 1,5 \text{ кг}$$

$$t_1 = 20^\circ \text{C}$$

$$t_2 = 100^\circ \text{C}$$

$$c = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ \text{C)}$$

$$L = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$$

Найти: $Q_{\text{общ}}$

Решение:

Процесс состоит из двух этапов:

Нагрев воды от 20°C до 100°C : $Q_1 = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$.

Парообразование при 100°C : $Q_2 = L \cdot m$.

4. Интересные факты (5 минут)

Ожог паром. Почему говорят, что обжечься паром можно сильнее, чем кипятком? Когда пар попадает на кожу, он сначала конденсируется (выделяя огромное количество энергии L), превращаясь в воду при 100°C . А уже эта вода потом остывает, отдавая дополнительное тепло. Суммарная энергия, переданная коже, получается колоссальной.

Испарение железа. Мы привыкли, что испаряются вода или спирт. Но при высоких температурах испаряются и металлы. В электрических лампах накаливания вольфрамовая нить, раскаляясь до 2500-3000°C, постепенно испаряется, оседая на стенках колбы и делая её тёмной. Поэтому лампы со временем перегорают и темнеют.

Сушка белья на морозе. Мокрое бельё, вывешенное на улице в мороз (-20°C), сначала замерзает, становится "колом". Но через несколько дней оно становится сухим. Куда делся лёд? Он испарился! Твёрдые тела тоже могут испаряться, этот процесс называется сублимация (возгонка). Молекулы льда на морозе, минуя жидкую фазу, переходят сразу в пар. Поэтому бельё всё-таки сохнет зимой, хоть и медленнее, чем летом.

Влажность и самочувствие. Самой комфортной для человека считается относительная влажность 40-60%. При высокой влажности (80-90%) пот испаряется плохо, нарушается терморегуляция, и жара переносится очень тяжело (тропики). При низкой влажности (менее 20% — как в пустыне или в отопительный сезон в квартире) пересыхают слизистые оболочки, появляется кашель, быстро устают глаза.

Круговорот воды в природе. Ежесекундно с поверхности Земли под воздействием солнечного света испаряется около 16 миллионов тонн воды! Эта вода конденсируется в атмосфере, образуя облака, и затем выпадает в виде осадков, замыкая глобальный цикл.

5. Заключение (2-3 минуты)

Подведение итогов: мы узнали о механизмах испарения и конденсации, научились рассчитывать тепловые процессы и определять влажность.

Ответы на вопросы учеников.

Домашнее задание: решить задачи на карточках (аналогичные классным) и, используя психрометр (или данные с погодных сайтов), определить влажность воздуха в классе/дома и сравнить с комфортной нормой.