Испарение, кипение, конденсация и влажность воздуха

Почему лужа высыхает при любой погоде, а кипит вода только при определённой температуре; как по точке росы найти относительную влажность воздуха и сколько энергии уходит на превращение воды в пар. Два опыта — кипение при пониженном давлении и определение точки росы — и расчёты по справочным таблицам.

Физика · 8 класс | 45 минут | план урока

План урока

Связь с программой

Предмет, класс	Тема программы
Физика, 8	«Раздел «Тепловые явления»: «Парообразование и конденсация. Испарение. Кипение. Удельная теплота парообразования. Зависимость температуры кипения от атмосферного давления. Влажность воздуха»; демонстрация «Наблюдение кипения»; лабораторные работы «Исследование процесса испарения», «Определение относительной влажности воздуха»»
Физика, 8	«Предметные результаты: «различать явления (...испарение, конденсация... кипение...)»; «проводить опыты по наблюдению... скорость испарения воды от температуры жидкости и площади её поверхности»; «выполнять прямые измерения температуры, относительной влажности воздуха...»»

ПРЕДМЕТНЫЕ
Различать испарение и кипение; объяснять зависимость скорости испарения от температуры, площади поверхности, ветра и рода жидкости; объяснять зависимость температуры кипения от давления; рассчитывать количество теплоты при парообразовании и конденсации ($Q = Lm$); определять относительную влажность по точке росы.

МЕТАПРЕДМЕТНЫЕ
Выдвигать гипотезу и проверять её опытом, пользоваться справочной таблицей, объяснять природные явления (роса, туман, иней, облака) на основе молекулярно-кинетической теории.

ЛИЧНОСТНЫЕ
Понимание роли испарения и конденсации в круговороте воды и погоде; осторожность с горячим паром.

Оборудование: Для опыта 1 (учитель): пластиковый шприц без иглы с заглушкой для наконечника, стакан тёплой воды (около 50–60 °C), термометр. Для опыта 2 на группу: металлический стаканчик (или тонкостенный стакан), спиртовой термометр, вода комнатной температуры, кусочки льда в миске, чайная ложка для перемешивания; ещё один термометр — для воздуха. Психрометр и психрометрическая таблица из учебника — для сравнения. Таблица плотности насыщенного водяного пара (задание 1).

Ход урока

0–4 **Мотивация**
Два вопроса: «Почему бельё сохнет даже на морозе?» и «Правда ли, что на вершине Эвереста вода кипит примерно при 70 °C?» Обещаем ответить к концу урока.

4–12 **Испарение и конденсация**
Модель: с поверхности вылетают самые быстрые молекулы, оставшаяся жидкость охлаждается. Факторы: температура, площадь поверхности, ветер, род жидкости, влажность воздуха. Конденсация — обратный процесс: роса, туман, запотевшее стекло (игра «Запотевшее окно»).

12–20 **Кипение**
Пузырьки пара растут по всему объёму, температура при кипении не меняется. Опыт 1: вода около 50–60 °C «закипает» в шприце, когда давление под поршнем падает. Вывод: температура кипения зависит от внешнего давления.

20–27 **Теплота парообразования**
$Q = Lm$, для воды $L = 2{,}3 \cdot 10^6$ Дж/кг. Сравнение с нагреванием (задание 2, вопрос 1). При конденсации та же энергия выделяется — поэтому ожог паром опаснее.

27–38 **Влажность воздуха**
Насыщенный пар, абсолютная и относительная влажность, $\varphi = \rho : \rho_н \cdot 100\ \%$, точка росы. Опыт 2 в группах и расчёт по таблице (задание 1, вопрос 1); сравнение с психрометром.

38–43 **Вода в атмосфере**
Роса, иней, туман, облака — конденсация при охлаждении воздуха до точки росы. Показать «Погодную лабораторию» или путешествие капли в «Круговороте воды».

43–45 **Итог, домашнее задание**
Ответы на вопросы из начала урока. Домашнее задание — исследование испарения дома.

Вопросы классу и ожидаемые ответы

Чем испарение отличается от кипения?
Ответ: Испарение идёт только с поверхности и при любой температуре. Кипение — парообразование по всему объёму с образованием пузырьков пара при определённой температуре (температуре кипения), которая зависит от внешнего давления.

Почему при испарении жидкость охлаждается?
Ответ: Из жидкости вылетают самые быстрые молекулы; средняя кинетическая энергия оставшихся уменьшается — температура падает. Так организм охлаждается потом.

От чего зависит скорость испарения?
Ответ: От температуры жидкости, площади её поверхности, движения воздуха (ветер уносит пар), рода жидкости и влажности воздуха. Поэтому бельё сохнет быстрее в тёплый ветреный день.

Почему в горах вода закипает при более низкой температуре?
Ответ: Атмосферное давление там ниже, а пузырёк пара растёт, когда давление пара в нём сравнивается с внешним; при меньшем давлении это происходит при меньшей температуре. На вершине Эвереста вода кипит примерно при 70 °C.

Почему ожог паром опаснее, чем ожог кипятком той же температуры?
Ответ: Конденсируясь на коже, пар отдаёт удельную теплоту парообразования — около $2{,}3 \cdot 10^6$ Дж на каждый килограмм, — и только потом остывает как горячая вода.

Что такое относительная влажность и точка росы?
Ответ: Относительная влажность — отношение плотности водяного пара в воздухе к плотности насыщенного пара при той же температуре, в процентах. Точка росы — температура, до которой нужно охладить воздух, чтобы пар стал насыщенным и начал конденсироваться.

Почему летним утром на траве роса, а зимой на окне — ледяные узоры?
Ответ: Ночью трава остывает ниже точки росы, и пар оседает каплями. Зимой стекло холоднее 0 °C, и пар из тёплой комнаты сразу превращается в кристаллики льда.

Домашнее задание: Исследование испарения дома. Налить по две столовые ложки воды в широкое блюдце и в узкий стакан и поставить рядом, третью порцию — в такое же блюдце у батареи. Два дня утром и вечером отмечать, сколько воды осталось, и сделать вывод о влиянии площади поверхности и температуры. Задача: сколько энергии нужно, чтобы превратить в пар 0,5 кг воды, уже нагретой до 100 °C?

Опыты

Ничего не пробовать на вкус, посуду — на поднос, после работы вымыть руки. Особые меры — в каждом опыте.

8 класс · 5 минут

Опыт 1. Кипение при пониженном давлении (демонстрация)

Нужно: пластиковый шприц без иглы, заглушка (колпачок) для наконечника, стакан тёплой воды около 50–60 °C, термометр

1. Измерить температуру воды в стакане, набрать в шприц воду примерно на треть объёма и выпустить пузырьки воздуха.
2. Плотно закрыть наконечник заглушкой и резко потянуть поршень на себя, удерживая его.
3. Наблюдать, как вода «закипает» — по всему объёму появляются и растут пузырьки. Отпустить поршень: пузырьки исчезают.

Что увидим и почему: Под поршнем давление резко падает, и тёплая вода закипает при температуре намного ниже 100 °C: температура кипения зависит от внешнего давления. Пузырьки — это в основном водяной пар (и немного выделившегося растворённого воздуха): когда поршень возвращается, пар снова конденсируется и пузырьки почти пропадают. По той же причине в горах вода кипит ниже 100 °C.

⚠ Техника безопасности

- Воду не горячее 60 °C готовит и наливает учитель; кипяток в опыте не используется.
- Шприц — без иглы; наконечник направлять в сторону от людей: заглушка может сорваться и брызнуть водой.
- Работать над подносом; пролитую воду сразу вытереть.

8 класс · 15 минут

Опыт 2. Точка росы и относительная влажность (лабораторная работа)

Нужно: металлический или тонкостенный стаканчик, спиртовой термометр, вода комнатной температуры, кусочки льда, чайная ложка, второй термометр для воздуха, таблица плотности насыщенного пара

1. Измерить температуру воздуха в классе t (термометр держать вдали от батареи и окна).
2. Налить в стаканчик воду комнатной температуры и опустить в неё термометр.
3. Добавлять по кусочку льда, непрерывно помешивая ложкой, и следить за наружной стенкой. Записать температуру воды $t_р$, при которой стенка начнёт матово запотевать.
4. По таблице найти плотность насыщенного пара при $t_р$ и при t и вычислить $\varphi = \rho_н(t_р) : \rho_н(t) \cdot 100\ \%$. Сравнить с показанием психрометра.

Что увидим и почему: Воздух у холодной стенки охлаждается; при точке росы пар становится насыщенным и оседает каплями. Значит, плотность пара в комнате равна плотности насыщенного пара при $t_р$. Например, при $t = 20$ °C и $t_р = 10$ °C $\varphi = 9{,}4 : 17{,}3 \cdot 100\ \% \approx 54\ \%$.

⚠ Техника безопасности

- Термометр — только спиртовой; перемешивать ложкой, а не термометром.
- Лёд брать ложкой, не держать долго в руках; пролитую воду сразу вытереть.
- Если термометр разбился, осколки не трогать руками — позвать учителя.

Задания с данными

Ключи раскрываются по кнопке — задания удобно показывать на доске.

Задание 1 учебные данные

Задание 1. Влажность воздуха по точке росы

Таблица — справочная (учебник физики 8 класса); условия вопросов — учебные.

Плотность насыщенного водяного пара

Температура, °C	Плотность насыщенного пара, г/м³
0	4,8
5	6,8
10	9,4
15	12,8
20	17,3
25	23,0
30	30,3

1. В классе 20 °C, стенка стаканчика запотела при 10 °C. Найдите относительную влажность воздуха.
2. Вечером на улице 25 °C, точка росы 15 °C. Какова относительная влажность? Выпадет ли роса, если ночью воздух у земли остынет до 12 °C? А до 17 °C?
3. Сколько граммов воды сконденсируется из каждого кубометра воздуха из вопроса 2, если он остынет до 5 °C?
4. Зимой уличный воздух при 0 °C насыщен паром (φ = 100 %). Его нагрели в квартире до 20 °C, не добавляя пара. Какой стала относительная влажность? Почему зимой в квартирах сухо?

Ключ

1. φ = 9,4 : 17,3 · 100 % ≈ 54 %.
2. φ = 12,8 : 23,0 · 100 % ≈ 56 %. При 12 °C — да (ниже точки росы 15 °C), при 17 °C — нет.
3. 12,8 – 6,8 = 6,0 г воды из каждого кубометра.
4. φ = 4,8 : 17,3 · 100 % ≈ 28 %. Пара в воздухе столько же, сколько на улице, а при нагревании насыщенный пар «вмещает» гораздо больше — относительная влажность падает.

Задание 2

Задание 2. Энергия превращений воды

Удельная теплоёмкость воды c = 4200 Дж/(кг·°C), удельная теплота парообразования L = 2,3·10^6 Дж/кг; при нормальном давлении вода кипит при 100 °C.

1. Сколько энергии нужно, чтобы нагреть 1 кг воды от 20 до 100 °C? Сколько — чтобы затем полностью превратить её в пар? Во сколько раз второе больше первого?
2. Почему чайник закипает за несколько минут, а выкипает досуха гораздо дольше?
3. Испаряясь с поверхности моря, каждый килограмм воды уносит больше двух миллионов джоулей, а в облаке при конденсации отдаёт их воздуху. Какую роль это играет в природе?
4. На вершине Эвереста вода кипит примерно при 70 °C. Почему там трудно сварить картофель, даже если долго держать кастрюлю на огне?

Ключ

1. Q_1 = 4200 × 1 × 80 = 336 000 Дж ≈ 0,34 МДж; Q_2 = 2,3·10^6 × 1 = 2 300 000 Дж = 2,3 МДж; $Q_2 : Q_1$ ≈ 6,8 раза.
2. На превращение воды в пар нужно почти в 7 раз больше энергии, чем на нагревание от 20 °C до кипения, а мощность нагревателя та же.
3. Испарение охлаждает поверхность океана и суши, а конденсация в облаках нагревает воздух: с водяным паром тепло переносится вверх и на большие расстояния. Это «двигатель» круговорота воды, облаков и осадков.
4. Во время кипения температура воды не растёт: пока вода кипит, она остаётся около 70 °C — этого мало, чтобы картофель быстро сварился. Сколько ни грей, «горячее» кипящая вода не станет.

8 класс | 15 минут | лист + ключ

Рабочий лист «Испарение, кипение, влажность воздуха»

L воды = 2,3·10^6 Дж/кг. Плотность насыщенного пара: 5 °C — 6,8 г/м³; 10 °C — 9,4 г/м³; 20 °C — 17,3 г/м³.

▼ **Источники фактов и чисел (7)**

- ФРП «Физика» 8 класс, «Тепловые явления»: «Парообразование и конденсация. Испарение. Кипение. Удельная теплота парообразования. Зависимость температуры кипения от атмосферного давления. Влажность воздуха»; лабораторные работы «Исследование процесса испарения», «Определение относительной влажности воздуха»; демонстрация «Наблюдение кипения» — edsoo.ru
- удельная теплота парообразования воды L = 2,3·10^6 Дж/кг; удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг·°C); при нормальном давлении вода кипит при 100 °C, лёд тает при 0 °C — учебная константа
- плотность насыщенного водяного пара: 0 °C — 4,8; 5 °C — 6,8; 10 °C — 9,4; 15 °C — 12,8; 20 °C — 17,3; 25 °C — 23,0; 30 °C — 30,3 г/м³ — учебная константа: таблица «Давление и плотность насыщенного водяного пара» в учебнике физики 8 класса (совпадает с расчётом по давлению насыщенного пара, ρ = pM : RT)
- высоко в горах вода закипает раньше; на вершине Эвереста — примерно при 70 °C — «Факты» сайта
- окно запотевает: пар из тёплого воздуха комнаты на холодном стекле превращается в капельки; зимой — сразу в льдинки (узоры) — Запотевшее окно
- условия опыта 1: вода около 50–60 °C в шприце, не горячее 60 °C — методика опыта (учебные условия)
- расчёты: 9,4 : 17,3 ≈ 54 %; 12,8 : 23,0 ≈ 56 %; 4,8 : 17,3 ≈ 28 %; 6,8 : 17,3 ≈ 39 %; 12,8 − 6,8 = 6,0 г/м³; нагревание 1 кг от 20 до 100 °C — 336 000 Дж; испарение 1 кг — 2,3 МДж, в 6,8 раза (почти в 7 раз)

больше; конденсация 0,2 кг пара — 460 000 Дж; испарение 0,5 кг — 1,15 МДж — расчёт по учебным константам и таблице плотности насыщенного пара