

Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Кафедра общей физики
Лаборатория молекулярной физики
и термодинамики

Лабораторная работа № 9
Определение влажности
воздуха и постоянной
психрометра

Ярославль
2015

Оглавление

1.	Вопросы для подготовки к работе	3
2.	Краткая теория	3
3.	Методы определения влажности	5
4.	Выполнение работы и обработка результатов	8
	Задание 1.	8
	Задание 2.	9
	Задание 3.	10
	Задание 4.	10
5.	Контрольные вопросы	10
6.	Содержание отчета	10

Составитель: Т.Н. Спиридонова, кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры общей физики
В.К. Мухин, старший преподаватель кафедры общей физики

Лабораторная работа № 9

Определение влажности воздуха и постоянной психрометра

Цель работы:

- изучение гигрометра и психрометра,
- практическое определение влажности воздуха,
- определение постоянной психрометра.

Приборы и принадлежности: психрометр, гигрометр, термометр, эфир, груша.

Литература:

1. Детлаф А.А. Курс общей физики. М., 2007.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. т. 1. СПб., 2007.
3. Гершензон Е.М. и др. Молекулярная физика. М., 2000.

1. Вопросы для подготовки к работе

1. Свойства паров. Диаграмма равновесия жидкость - пар. Насыщенный пар.
2. Абсолютная и относительная влажность воздуха. Методы определения.

2. Краткая теория

В состав атмосферы входит водяной пар, который, несмотря на огромные поверхности воды океанов, морей, озер и рек, не является насыщенным. Перемещение воздушных масс приводит к тому, что в одних местах нашей планеты в данный момент преобладает процесс испарения, в других — конденсации. Количество водяных паров, содержащихся в воздухе, имеет важнейшее значение для процессов, происходящих, в атмосфере. Оно оказывает также большое влияние на жизнь растений и животных; для нормального протекания ряда технологических процессов требуется определенная влажность.

Содержание водяного пара в воздухе — его влажность — характеризуется рядом величин.

Абсолютной влажностью воздуха называется количество водяного пара в 1 м^3 воздуха, выраженное в граммах.

Так как плотность пара и его давление пропорциональны

$$P = \frac{\rho}{\mu} RT,$$

где P — давление пара,
 ρ — его плотность,
 μ — масса моля,
 T — абсолютная температура,

часто абсолютную влажность измеряют упругостью (парциальным давлением) водяного пара и выражают её в *мм* ртутного столба.

Для каждой температуры существует некоторое максимальное значение абсолютной влажности, равное упругости насыщенного пара при заданной температуре.

Зависимость упругости (давления) насыщенного пара от температуры представлена на рисунке 2.1.

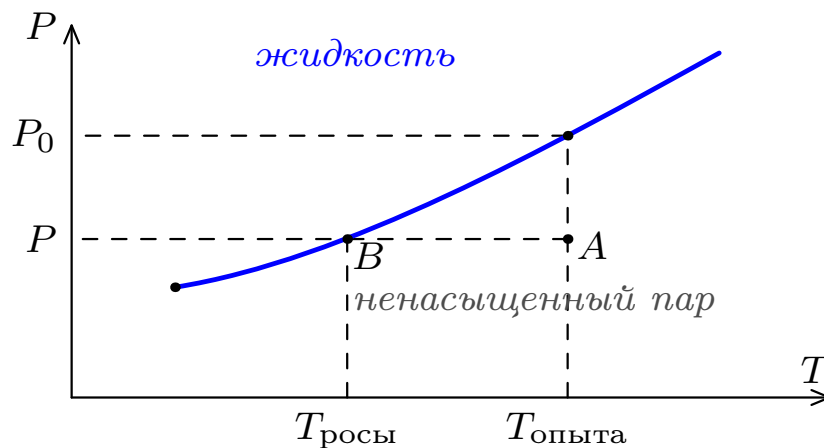


Рис. 2.1

Это кривая равновесия жидкость-пар, разделяющая на плоскости PT область жидких и парообразных состояний вещества. Точки кривой соответствуют состоянию динамического равновесия между жидкостью и паром, то есть давлению насыщенного пара. Численное значение упругости насыщенного водяного пара при различных температурах приводится в таблицах.

3. Методы определения влажности

Ощущение сухости или сырости воздуха связано не с абсолютной, а с относительной влажностью. Под **относительной влажностью** воздуха понимают отношение абсолютной влажности к её максимальному значению при данной температуре. Она выражается в процентах и характеризует степень насыщения воздуха водяным паром. Относительная влажность рассчитывается из выражения:

$$r = \frac{P}{P_0} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

- где P — упругость водяного пара при данной температуре (абсолютная влажность),
 P_0 — максимально возможная упругость пара при температуре опыта, то есть упругость насыщенного водяного пара при заданной температуре.

Для всех точек лежащих на кривой равновесия (рис. 2.1), относительная влажность равна 100%, так как для них значения упругости пара при данной температуре и максимально возможной совпадают.

3. Методы определения влажности

1. Одним из методов определения влажности воздуха является метод **точки росы**. Точкой росы называется температура, при которой водяной пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным.

Пусть при температуре опыта упругость ненасыщенного водяного пара равна P . При охлаждении воздуха этот пар, состояние которого на графике изображено точкой A , станет насыщенным и его состояние изобразится точкой B . Поскольку при охлаждении содержание водяного пара, то есть абсолютная влажность, не меняется, а относительная влажность в точке B равна 100%, то абсолютная влажность воздуха равна упругости (плотности) насыщенного водяного пара при температуре точки росы. Таким образом, зная точку росы, по таблице упругости насыщенного водяного пара можно определить абсолютную влажность.

Относительную влажность можно рассчитать по формуле (2.1),

если значение упругости насыщенного водяного пара P взять из той же таблицы при температуре опыта.

2. Влажность воздуха может быть также определена по показаниям психрометра и психрометрическим таблицам. В этом методе определяются показания двух термометров, один из которых находится в воздухе, а баллончик другого охлаждается за счет испарения воды. Психрометрический метод основан на зависимости скорости испарения от влажности окружающего воздуха. Сухой термометр показывает температуру t_1 , а влажный (в случае, если водяной пар в воздухе не является насыщенным) — температуру t_2 , более низкую, зависящую от влажности воздуха. При испарении температура влажного термометра понижается до тех пор, пока количество теплоты Q_1 , поступающее к термометру из окружающей среды за время τ , не станет равным количеству теплоты Q_2 , необходимому для испарения. В случае теплового равновесия $Q_1 = Q_2$ и температура влажного термометра не меняется, несмотря на продолжение испарения. Разность показания термометров тем больше, чем меньше относительная влажность воздуха.

Количество теплоты Q_1 пропорционально наблюдаемой разности температур:

$$Q_1 = \alpha(t_1 - t_2)S\tau, \quad (3.2)$$

где α — коэффициент пропорциональности,
 S — поверхность резервуара, обернутого батистом.

Если за время τ с поверхности S испарится масса воды m , то количество теплоты Q_2 равно $m\lambda$, где λ — удельная теплота испарения при температуре влажного термометра, то есть

$$Q_2 = m\lambda.$$

За единицу времени с поверхности согласно закону Дальтона испарится масса воды:

$$m = K \frac{P_2 - P}{H} S,$$

3. Методы определения влажности

- где K — коэффициент пропорциональности, зависящий главным образом от скорости протекания воздуха над испаряющей поверхностью,
 H — атмосферное давление,
 P — абсолютная влажность,
 P_2 — давление насыщенного пара при t_2 , из таблицы.

Тогда

$$Q_2 = K \frac{P_2 - P}{H} S \tau \lambda. \quad (3.3)$$

При установившемся процессе испарения $Q_1 = Q_2$ и

$$t_1 - t_2 = \frac{K \lambda}{\alpha} \cdot \frac{P_2 - P}{H}. \quad (3.4)$$

Из формулы (3.4) следует, что разность температур сухого и влажного термометров пропорциональна разности упругостей насыщенного водяного пара P_2 при температуре влажного термометра t_2 и водяного пара, находящегося в воздухе P или так называемому дефициту влажности $P_2 - P$.

Отсюда получается психрометрическая формула для абсолютной влажности:

$$P = P_2 - \frac{\alpha H}{K \lambda} \cdot (t_1 - t_2) \quad (3.5)$$

или, обозначив $A = \frac{\alpha}{K \lambda}$,

$$P = P_2 - AH(t_1 - t_2), \quad (3.6)$$

где A — постоянная психрометра, зависящая от его конструкции. Её можно рассчитать по показаниям психрометра.

В психрометрических таблицах или графиках приводятся значения относительной влажности при данной температуре сухого термометра и измеренной разности показаний термометров.

4. Выполнение работы и обработка результатов

Задание 1. Изучение гигрометра конденсационного типа и определение влажности методом точки росы.

Для определения точки росы в работе используется гигрометр конденсационного типа, который состоит из небольшой цилиндрической металлической камеры с никелированной передней стенкой. В камеру через специальное отверстие заливается эфир и затем в отверстие вставляется термометр. Одна из трубок гигрометра соединена с резиновой грушей. Передняя стенка камеры окружена не соприкасающимися с ней никелированным кольцом. С помощью груши через камеру продувается воздух и проводится наблюдение за передней стенкой гигрометра. Продувание воздуха усиливает испарение эфира, вследствие чего температура его понижается, и стенка камеры охлаждается.

Температуру воздуха в непосредственной близости от камеры можно считать равной температуре эфира и стенок камеры. При некоторой температуре, ниже комнатной, водяной пар, находящийся в прилегающем к стенке слое воздуха, становится насыщенным. Дальнейшее понижение температуры приводит к его конденсации на никелевой поверхности. Потускнение стенки легко заметно на фоне кольца. При наблюдении за появлением и исчезновением росы рекомендуется поставить между гигрометром и наблюдателем стеклянный экран, чтобы дыханием не изменять влажность.

В момент появления первых признаков росы прекратите продувать воздух и отсчитайте температуру t_1 . Затем потускнение начнет исчезать с поверхности. Отсчитайте температуру, соответствующую началу исчезновения росы t_2 . За точку росы примите среднее:

$$t_p = \frac{t_1 + t_2}{2}.$$

Описанным гигрометром можно определить влажность до температуры окружающей среды -5°C . Для измерения влажности при

4. Выполнение работы и обработка результатов

более низких температурах могут быть использованы волосной и пленочный гигрометры. Действие волосного гигрометра основано на свойстве обезжиренного человеческого волоса изменять свою длину при увеличении относительной влажности. В последнее время получили широкое распространение пленочные гигрометры, в которых особым образом изготовленные органические пленки реагируют на изменение влажности.

Определите точку росы не менее трех раз. При этом продувание воздуха начинайте каждый раз с комнатной температуры, то есть дождитесь, когда камера гигрометра придет в равновесие с окружающей средой. Найдите среднее значение точки росы.

Определите по таблице упругости водяного пара абсолютную влажность воздуха. Рассчитайте относительную влажность, предварительно определив температуру в комнате.

Задание 2. Изучение психрометра и определение постоянной психрометра Ассмана.

Имеется несколько разновидностей психрометров. Наиболее часто используются стационарный психрометр (Августа) и аспирационный или вентиляционный (Ассмана).

Психрометр Ассмана состоит из двух одинаковых термометров, резервуары которых в целях защиты от излучения окружающих тел помещены внутрь открытых металлических трубок. Смачивание батиста одного из резервуаров термометров производится специальной пипеткой, имеющейся в комплекте прибора. Скорость обтекания воздухом сухого и влажного термометров должна быть одинакова, это достигается при помощи вентилятора с часовым механизмом, помещенного сверху прибора.

После ознакомления с прибором (по инструкции) приведите его в действие и определите показания $t_1 - t_2$. В этом задании требуется рассчитать постоянную психрометра A из формулы (3.6). При расчетах используйте значения P , найденные в предыдущем задании; H определите по барометру. Запишите найденную постоянную A и определите её размерность, P_2 определите по таблице упругости водяного пара.

Задание 3. Определение абсолютной влажности воздуха в соседнем помещении с помощью психрометра.

Приведите в действие психрометр и определите разность $t_1 - t_2$ в соседнем помещении. По формуле (3.5) рассчитайте абсолютную влажность.

Задание 4.

Задача. Относительная влажность при 32°C равна 30%. При какой температуре этот воздух будет насыщен водяными парами?

5. Контрольные вопросы

1. В чем заключается принцип определения влажности по точке росы?
2. Чему равна относительная влажность при точке росы?
3. Сущность психрометрического метода определения влажности.
4. Устройство и принцип действия аспирационного психрометра.
5. Какую размерность имеет постоянная психрометра?
6. Оба термометра психрометра показывают одинаковую температуру. Какова относительная влажность?

6. Содержание отчета

Название работы, ее цель, приборы и принадлежности, результаты наблюдений и вычислений, краткие выводы с объяснением результатов эксперимента.