

Установка для исследования нуклеации водяных паров в искусственной атмосфере

Г.Ф. Крымский², В.В. Колосов¹, А.П. Ростов¹, И.С. Тырышкин^{1*}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

²Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН
677980, г. Якутск, пр. Ленина, 31

Поступила в редакцию 18.06.2010 г.

Представлена экспериментальная установка для изучения процесса конденсации пересыщенного водяного пара в присутствии различных ядер конденсации, а также в присутствии статического электрического поля и потока заряженных частиц (электронов). Установка создана на базе атмосферной оптической кюветы, выполненной в виде трубы из нержавеющей стали с внутренним диаметром 0,7 и длиной 112 м. На торцах кюветы имеет увеличенные в размерах части в виде цилиндрических камер. Общий объем кюветы составляет около 45 м³. В данной установке пересыщение водяного пара создается подобно камерам Вильсона второго типа сбросом давления из рабочей камеры сравнительно малого объема в вакуумизированную камеру с большим объемом. Регистрация образовавшихся капель осуществляется по рассеянию излучения лазерного пучка, пропускаемого через рабочую камеру. Измерение давления в рабочей камере позволяет определять степень пересыщения пара, для которой наблюдается образование рассеивающих (т.е. достаточно крупных) капель.

Ключевые слова: пересыщенный пар, конденсация, ионизация, облакообразование; oversaturated vapor, condensation, ionization, cloud formation.

Введение

Облачность атмосферы является одним из главных факторов, влияющих на радиационный режим системы «земная поверхность–атмосфера», и, следовательно, одним из решающих факторов, определяющих формирование климата и его изменений, масштабов воздействия человеческой деятельности на климат. Поэтому изучению облаков посвящено большое количество обзоров, монографий и оригинальных экспериментальных и теоретических работ (см., например, [1–3]). Гораздо меньшее число экспериментальных работ посвящено процессам образования облака, а именно динамике процесса конденсации водяных паров, в зависимости от вида и количества центров конденсации, изменений температуры и давления парогазовой смеси, наличия ионизирующих полей и т.д. Результаты экспериментальных работ, выполненных до 1950 гг. в камерах Вильсона малого объема, представлены в монографии М. Фольмера [4], а также в работах [5–7].

В настоящей статье описана установка для исследования процесса конденсации пара при различных режимах пересыщения водяного пара в присутствии различных ядер конденсации, а также в присутствии статического электрического поля и потока заряженных частиц (электронов).

* Гермоген Филиппович Крымский (krumsky@ikfia.usn.ru); Валерий Викторович Колосов (kvv@iao.ru); Андрей Петрович Ростов (rostov@iao.ru); Иван Семенович Тырышкин.

Принцип действия

Известно [5–7], что образование капель воды в воздухе происходит при условии пересыщения пара как в присутствии ядер конденсации (гетерогенная конденсация), так и в их отсутствие (гомогенная конденсация). В данной установке пересыщение водяного пара в паровоздушной смеси создается подобно камерам Вильсона второго типа [7] сбросом давления из рабочей камеры сравнительно малого объема в вакуумизированную камеру с большим объемом. Регистрация образовавшихся капель осуществляется по рассеянию светового пучка, пропускаемого через рабочую камеру. Измерение давления в рабочей камере позволяет определять степень пересыщения пара, для которой наблюдается образование рассеивающих (т.е. достаточно крупных) капель.

Конструкция

Экспериментальная установка (рис. 1) создана на базе атмосферной оптической кюветы КА-1 [8, 9], выполненной в виде трубы из нержавеющей стали, с внутренним диаметром 0,7 и длиной 112 м. На торцах кюветы имеет увеличенные в размерах части в виде цилиндрических камер. Диаметр увеличенной части составляет 140 см, длина около 100 см. Общий объем кюветы около 45 м³.

Кювета снабжена ротационным водокольцевым насосом РМК-4, способным за 20–30 мин создать вакуум до 60 мм рт. ст. Четыре механических насоса, распределенных по длине кюветы, в течение 2 ч обеспечивают создание вакуума до $5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.

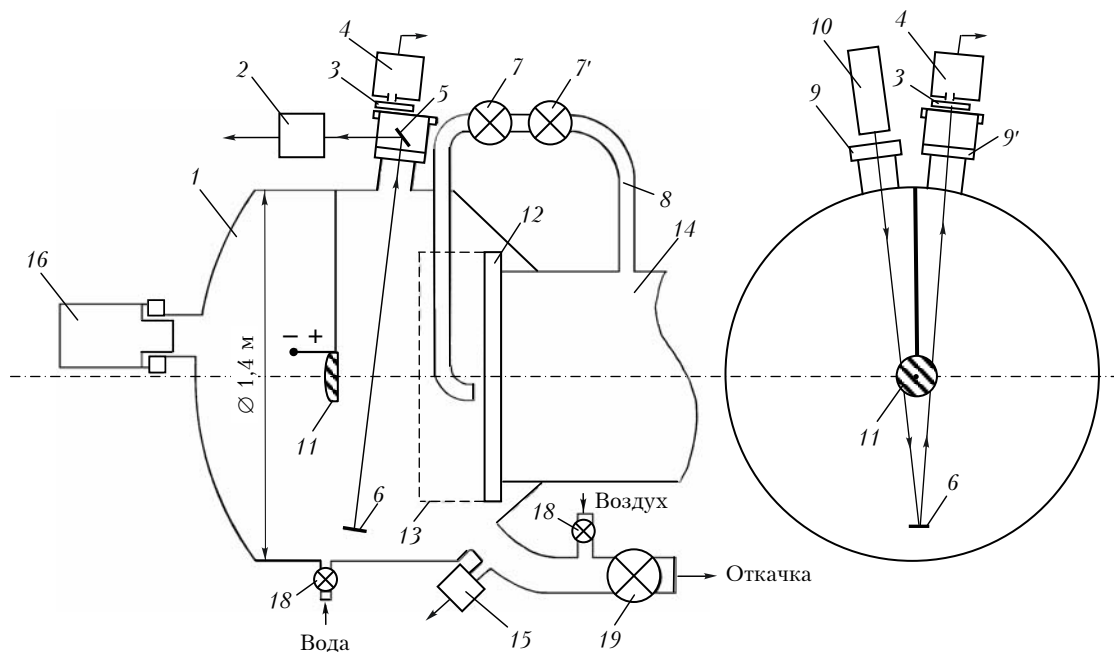


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – камера; 2 – контрольный фотоприемник; 3 – нейтральный светофильтр; 4 – регистрирующий фотоприемник; 5 – поворотное зеркало, 6 – зеркало; 7 – вентиль; 7' – электромагнитный клапан; 8 – трубопровод; 9, 9' – окно; 10 – гелий-неоновый лазер; 11 – электрод; 12 – перегородка; 13 – сетка; 14 – кювета; 15 – датчики давления; 16 – источник электронов; 18, 19 – вентили

Камера для проведения исследований была создана на основе одной из расширенных частей кюветы. Для этого кювета (рис. 1) была разделена перегородкой 12 на две части – малую диаметром 1,4 м и объемом около $1,5 \text{ м}^3$ и большую объемом примерно $43,5 \text{ м}^3$. Объемы малой и большой частей соединены между собой через трубопровод 8, перекрытый вентилем 7 и последовательно включенным с ним электромагнитным клапаном 7'. При этом заданное уменьшение давления в малой части получается при стравливании газа в предварительно откачанную большую часть. Вентиль 7 предназначен для регулирования скорости сброса давления. Внутренняя поверхность камеры, включая поверхности патрубков и трубопроводов, отшлифована.

Лазер 10 расположен на кронштейне, закрепленном на верхней поверхности камеры. Здесь же установлен оптический рельс с фотоприемником 2, предназначенным для контроля мощности излучения лазера и измерения пропускания камеры.

Камера (как и вся кювета) теплоизолирована 10-сантиметровым слоем стекловаты, оштукатурена, покрыта тканью и окрашена. Для создания статического электрического поля в центре камеры на диэлектрической штанге установлен плосковыпуклый диск из нержавеющей стали, который служит в качестве центрального электрода. Вторым электродом является корпус камеры. Сетка 13 предназначена для уменьшения вихревых потоков, возникающих в камере во время сброса давления. Из-за наличия сетки, перегородки, юстировочного узла зеркала 6 и многочисленных патрубков электрическое поле в камере неоднородно. Минимальное расстояние

(47 см) наблюдается между центральным электродом и юстировочным узлом зеркала.

В качестве источника электронов 16 используется малогабаритный ускоритель электронов [10]. Он излучает пучок электронов энергией не ниже 80 кэВ длительностью на половине амплитуды 15 нс. Диаметр пучка на выходе ИЭ не превышает 14 мм. Расходимость пучка при давлении воздуха 1 атм составляет 48° , а при давлении 0,3 атм 15° .

Создание в камере вакуума осуществляется следующим образом. Первоначально с помощью водокольцевого насоса производится откачка обеих камер до давления 60 мм рт. ст., затем форвакуумными насосами до давления 10^{-2} мм рт. ст. Далее выполняются закрытие вентиля 7 и клапана 7', откачка и обезгаживание рабочей камеры до $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. с помощью турбомолекулярного насоса.

Напуск воздуха производится из помещения вместимостью около 70 м^3 , снабженного приточной вытяжной вентиляцией, через полиэтиленовый трубопровод. Заданная влажность воздуха в помещении создается с помощью специального безнагревного водяного испарителя. Измерение влажности осуществляется метеорологическим аспирационным психрометром.

Очистка напускаемого воздуха производится в два этапа. Первоначально воздух проходит через воздушный фильтр для инжекционных автомобильных двигателей, в котором задерживается более 98% твердых примесей, затем через полиэтиленовый трубопровод и через фильтр обеззоленный типа «синяя лента» (ГОСТ 12026-76) поступает в камеру. При диаметре фильтрующего элемента фильтра «синяя

лента» 180 мм время напуска воздуха в камеру до 700 мм рт. ст. составляет около 20 мин. Оба фильтра установлены в разборные корпуса и могут быть легко заменены новыми.

Оптическая и структурная схемы

Излучение гелий-неонового лазера типа ЛГН-2076 вводится в камеру через окно 9. В нижней части камеры установлено зеркало 6, которое направляет лазерный пучок в сторону окна 9' на поворотное зеркало 5, отразившись от которого излучение попадает на фотокатод контрольного фотоприемника 2. Фотокатод регистрирующего фотоприемника 4 смещен относительно пучка на угол около 2° (угол отсчитывается от зеркала 6). Наклон пучка относительно вертикали составляет около 10°. Чтобы исключить попадание на поверхность зеркала сконденсировавшихся капель воды, к юстировочному узлу, на котором установлено зеркало, прикреплен раскруб. В качестве фотоприемников используются фотометрические фотоэлектронные умножители типа ФЭУ-79.

Регистрация сигналов с ФЭУ, сигнала с датчика давления, выработки электрического импульса для синхронного запуска электронной пушки осуществляется специально разработанным контроллером.

Контроллер экспериментальной установки разработан на базе микроконтроллера ATmega-168 компании Atmel Corp. [11]. Эти приборы являются 8-разрядными FLASH CMOS-микроконтроллерами с усовершенствованной AVR RISC-архитектурой. Выполняя большинство команд за один тактовый цикл, микроконтроллеры ATmega-168 обеспечивают производительность 1 MIPS на каждый мегагерц тактовой частоты. AVR-ядро микроконтроллера базируется на усовершенствованной RISC-архитектуре, с регистровым файлом быстрого доступа, содержащим 32 регистра общего назначения, непосредственно связанных с арифметико-логическим устройством и мощной системой команд. За один тактовый цикл из регистрового файла извлекаются два операнда, выполняется команда и результат записывается в регистр назначения. Такая высокоэффективная архитектура обеспечивает производительность почти в 10 раз большую, чем стандартные CISC-микроконтроллеры.

В состав прибора (рис. 2) входят два преобразователя «ток—напряжение», два 12-разрядных аналого-цифровых преобразователя (АЦП), два фильтра нижних частот (ФНЧ) 2-го порядка, ключ включения источника электронов и контроллер двух интерфейсов RS-232 для связи с персональным компьютером (ПК) и приема данных от цифрового датчика давления газа.

В качестве преобразователя тока ФЭУ в напряжение используется операционный усилитель ОР-37 компании Analog Devices [12]. Коэффициент преобразования равен 5 мкА/В. Далее, с целью понижения шумов ФЭУ и удаления эффекта наложения частот сигнал фильтруется ФНЧ 2-го порядка с частотой среза 100 Гц. Частота дискретизации входного

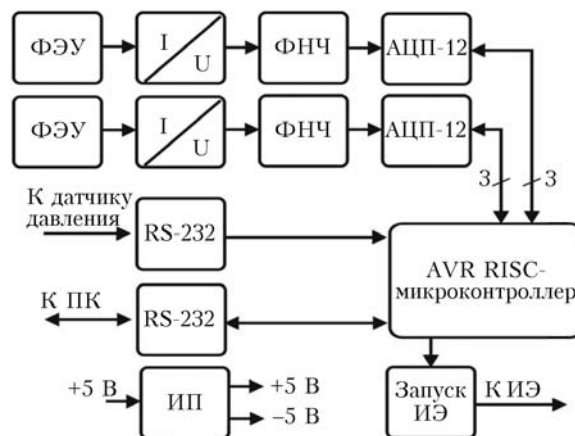


Рис. 2. Структурная схема прибора: ИП — источник питания; ИЭ — источник электронов

сигнала 1 кГц. Отфильтрованный сигнал подается на АЦП ADS7818 компании Texas Instruments [13], где преобразуется в цифровую форму за 2 мкс. Этот сигнал поступает в микроконтроллер, где он хранится некоторое время, затем выдается в ПК по последовательному каналу с интерфейсом RS-232.

По ходу измерения двух сигналов с ФЭУ микроконтроллер принимает по аналоговому интерфейсу код давления с датчика и при достижении заданного значения выдает импульс запуска источника электронов длительностью 1 мс.

Системное программное обеспечение микроконтроллера написано на языке Ассемблера и содержит около 800 строк. Программное обеспечение для ПК написано в среде LabView 5 [14].

Параметры экспериментальной установки

Габаритные размеры, м	112×2,85
Габаритные размеры камеры с ИЭ, м	1,6×2,85
Вакуум рабочей камеры, мм рт. ст.	10 ⁻⁵
Вакуум буферной емкости, мм рт. ст.	10 ⁻²
Энергия электронного пучка ИЭ не менее, кэВ	80
Расходимость электронного пучка, град	
при давлении 1 атм	45
при давлении 0,3 атм	15
Диаметр электронного пучка на выходе ИЭ, мм	14
Шаг дискретизации отсчетов с ФП, Гц	1–10 ³
Относительная погрешность измерения сигналов с ФП, %	0,5
Степень очистки напускаемого воздуха не менее, %	99,9

Расчет величины пересыщения паров воды при адиабатическом расширении

Для определения пересыщения паров воды, возникающего по мере уменьшения давления в камере, использовалось предположение адиабатичности процесса расширения.

Тогда для изменения объема V и давления P смеси можно записать условие

$$PV^K = \text{const}, \quad (1)$$

где K — показатель адиабаты смеси:

$$K = 1 + \frac{(K_g - 1)(K_v - 1)(P_g + P_v)}{(K_v - 1)P_g + (K_g - 1)P_v}, \quad (2)$$

K_v – показатель адиабаты для паров воды, K_g – показатель адиабаты для воздуха; P_g , P_v – парциальные давления воздуха и паров воды.

По мере срабатывания газа из камеры контролируется его давление. В этом случае соответствующее значение пересыщения пара может быть определено следующим образом [8].

Принимая во внимание, что для газа выполняется уравнение состояния

$$PV = \frac{M}{\mu}RT \quad \text{или} \quad P = \frac{R}{\mu}\rho T, \quad (3)$$

где $\rho = M/V$ – плотность газа; M – масса газа; μ – молекулярная масса, получаем, что температура T , давление P и объем V смеси в начальном (индекс 1) и конечном (индекс 2) состоянии связаны соотношением

$$T_1/T_2 = (V_2/V_1)^{K-1} = (P_1/P_2)^{\frac{K-1}{K}}. \quad (4)$$

Из определения плотности следует, что при расширении плотность газа и соответственно паров воды уменьшается обратно пропорционально увеличению объема газовой смеси (воздух плюс пар). Тогда для изменения плотности паров воды можно записать выражение

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{V_1}{V_2}. \quad (5)$$

При достаточно сильном расширении газа его состояние не будет устойчивым, так как температура газа может понизиться до значений, при которых плотность пара будет превышать плотность насыщенных паров. Вследствие этого будет иметь место конденсация паров воды, т.е. переход избыточной массы паров воды из газообразного состояния в жидкое. Конденсация приводит к высвобождению теплоты, вследствие чего температура газа возрастает до значений $\bar{T}_2 = T_2 + \Delta T$. При этом плотность пара уменьшается до значений плотности насыщенных паров $\bar{\rho}_2$ при температуре \bar{T}_2 .

Парциальные давления паров воды до и после расширения в этом случае определяются выражениями

$$P_1 = \frac{R}{\mu}\rho_1 T_1 \quad \text{и} \quad \bar{P}_2 = \frac{R}{\mu}\bar{\rho}_2 \bar{T}_2, \quad (6)$$

где \bar{P}_2 , $\bar{\rho}_2$ – давление и плотность насыщенных паров воды при температуре \bar{T}_2 . Пересыщение пара S , возникающее в результате расширения, есть отношение ρ_2 к плотности насыщенного пара $\bar{\rho}_2 = \bar{\rho}_2(\bar{T}_2)$ для температуры \bar{T}_2 , т.е.

$$S = \frac{\rho_2}{\bar{\rho}_2(\bar{T}_2)}. \quad (7)$$

Воспользовавшись выражениями (5) и (6), можно записать

$$S = \frac{P_1 V_1 \bar{T}_2}{\bar{P}_2 V_2 T_1}. \quad (8)$$

Пренебрегая небольшой разницей между температурами \bar{T}_2 и T_2 , можно положить $\bar{T}_2 \approx T_2$. Тогда, исключая отношение T_2/T_1 из уравнения (8), с помощью выражения (4) получим приближенное выражение для пересыщения

$$S \approx S' = \frac{P_1}{\bar{P}_2} \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^K. \quad (9)$$

Вследствие того что в точном выражении (8) была использована приближенная замена $\bar{T}_2 \approx T_2$, то с учетом $\bar{T}_2 > T_2$ получаем $S' < S$, т.е. величина пересыщения, получаемая с помощью выражения (9), несколько меньше ее точного значения.

С другой стороны, можно записать другое приближенное выражение для пересыщения. Так же как и ранее, пренебрегая небольшой разницей между температурами \bar{T}_2 и T_2 , мы можем в знаменатель выражения (7) подставить значение насыщенных паров не для \bar{T}_2 , а для T_2 . С учетом того, что $\bar{T}_2 > T_2$, $\bar{\rho}_2(\bar{T}_2) > \bar{\rho}_2(T_2)$. Тогда получаем другое приближенное выражение для пересыщения

$$S \approx S'' = \frac{\rho_2}{\bar{\rho}_2(T_2)}. \quad (10)$$

Величина пересыщения S'' , найденная с помощью выражения (10), оказывается несколько больше ее точного значения S .

Таким образом, получаем, что выполняется условие

$$S' < S < S''. \quad (11)$$

Следовательно, выражения (9) и (10) являются приближенными оценками соответственно снизу и сверху для точного значения пересыщения S , определяемого выражениями (7) или (8).

Расчеты выполнялись для заданного значения конечного давления P_2 по формулам (9) и (10). При этом в качестве исходных выбирались значения начальной температуры T_1 , влажности воздуха e_1 и давления смеси воздуха и пара P_1 , измеряемые на момент начала процесса расширения (перед открытием клапана 7').

Очистка камеры

Перед процессом очищения камеры осуществлялась запись сигнала от рассеянного вперед излучения при сбросе давления из неочищенной камеры. Результаты измерения давления в рабочей камере и сигнала рассеянного излучения приведены на рис. 3.

Отметим, что этот сигнал получен при заниженной примерно на порядок чувствительности ФЭУ, в отличие от сигнала рассеяния, получаемого в очищенной камере.

Сигнал рассеяния имеет вид асимметричной кривой со сравнительно крутым передним фронтом

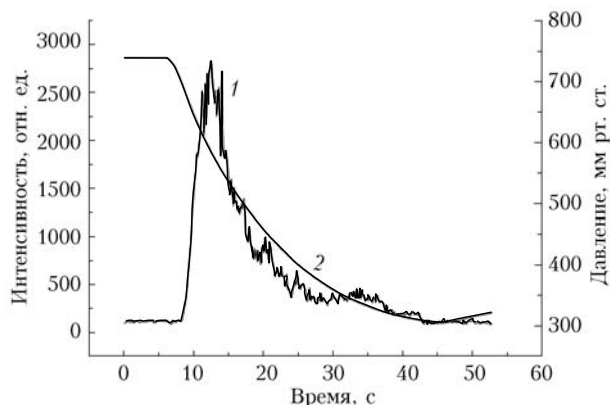


Рис. 3. Форма кривой рассеянного излучения (1), сигнал от датчика давления (2)

и с выбросами на вершине и заднем фронте. Наличие постоянной составляющей в начале и конце кривой объясняется рассеянием на оптических элементах установки. Во всех случаях перепад давления, при котором наступает конденсация (начало пика), составляет $0,92-0,95$, что соответствует пересыщению $S = 1,18 \div 1,36$, характерному для конденсации паров воды на частицах пыли [4–6].

Очистка напускаемого воздуха через имеющийся фильтр существенных изменений ни в форму, ни в амплитуду сигнала не дала. Применение разработанного нами двухступенчатого фильтра и вынос воздухозаборника в помещение с приточно-вытяжной вентиляцией привели лишь к небольшому уменьшению амплитуды сигнала. Таким образом, можно было сделать вывод, что источником загрязнений воздуха является внутренняя поверхность камеры.

Для устранения нежелательного влияния внутренней поверхности камеры производилась дополнительная очистка. На дно обезжиренной и промытой дистиллированной водой камеры через патрубок 18 заливается около 5 л дважды дистиллированной воды и проводится серия сбросов-напусков воздуха.

После 20–30 расширений наблюдается уменьшение амплитуды и длительности рассеянного сигнала. Затем вода в камере заменяется чистой. В слитой воде наблюдаются ворсинки и частицы, находящиеся во взвешенном состоянии.

После 3–5 замен воды сигнал имеет вид, представленный на рис. 4.

При большем числе очисток заметно изменяется только амплитуда первого пика, появляющегося при перепаде $P_2/P_1 = 0,92 \div 0,95$, что соответствует конденсации паров воды на частицах (далее называемый «грязный пик»). Амплитуда пика с ростом числа очисток уменьшается, однако устранить полностью появление «грязного пика» не удастся. Это может быть объяснено наличием пылинок в патрубках, где движение воздушно-капельной смеси минимально, а также пропусканием отдельных частичек фильтром. Когда амплитуда первого «грязного пика» перестает изменяться в течение 5–6 напусков-сбросов, очистка считается законченной.

Отличительной особенностью результатов после проведения дополнительной очистки стало появление

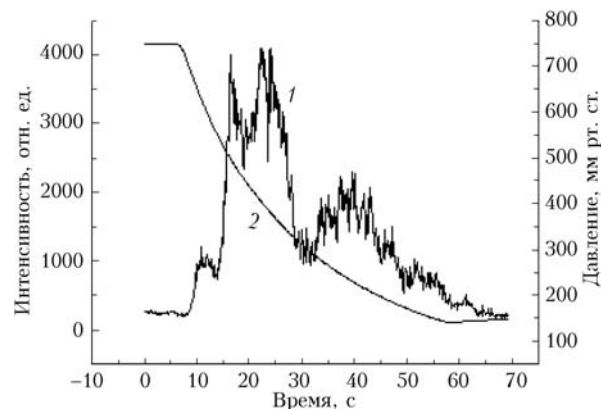


Рис. 4. Типичная форма сигналов рассеяния (1) и давления (2)

второго и третьего пиков в рассеянном сигнале (рис. 4). Второй пик появляется при перепаде давления $P_2/P_1 = 0,72 \div 0,74$. При этом пересыщение водяного пара $S = 3,9 \div 4,54$, что соответствует пересыщению, при котором наблюдается конденсация паров воды на ионах [4–6].

Форма второго пика в регистрируемом сигнале нестабильна. Примерно в половине реализаций вершина второго пика раздвоена (именно такой результат представлен на рис. 4). Можно высказать предположение, что появление третьего пика связано с таким физическим фактом: конденсация пара должна наступать раньше на отрицательных ионах, а затем на положительных.

Также в экспериментах наблюдается появление третьего пика, которое соответствует перепаду давлений $P_2/P_1 = 0,4 \div 0,3$. При таком перепаде давлений температура при адиабатическом расширении падает до значений ниже -30°C , т.е. до температур, при которых возможна кристаллизация водных капель [3, 6]. Кристаллизация приводит к изменению формы и объема частичек, что может вызвать изменение сигнала рассеяния под выбранным для измерения углом и явиться причиной появления третьего пика в сигнале.

Возможно и другое объяснение появления третьего пика. После образования капель воды на ионах (второй пик) должен наблюдаться «сброс» пересыщения паров, так как избыточная масса пара переходит в жидкую фазу. Следовательно, концентрация паров воды в камере должна заметно уменьшиться и стать приблизительно равной концентрации, соответствующей 100%-му насыщению паров для данной температуры смеси в рабочей камере. Так как сброс смеси в камере продолжается, то появление третьего пика в рассеянии излучения в камере может быть связано с достижением для оставшейся части пара пересыщения, равного 8, для которого должна наступать гомогенная конденсация пара. На это указывает тот факт, что относительное изменение давления между вторым и третьим пиками составляет приблизительно 0,65, соответствующее такому пересыщению.

Для однозначного определения природы третьего пика необходимо проведение более детальных измерений.

Таким образом, в ходе проведенных работ создана экспериментальная установка, позволяющая получать пересыщение водяного пара путем сброса давления из одного резервуара в другой. Созданная установка является аналогом камеры Вильсона второго типа с контролем по давлению. Существенным является то, что объем рабочей камеры установки многократно превышает объем стандартных камер Вильсона.

Контроль за появлением в камере конденсированного аэрозоля осуществляется путем регистрации сигнала, рассеянного под углом 2° к направлению распространения лазерного пучка.

При сбросе давления от начального атмосферного давления до давления, равного 30 мм рт. ст., наблюдалось последовательное появление трех пиков рассеяния сигнала. Довольно уверенно можно связать появление первых двух пиков с конденсацией паров воды на частицах пыли (первый пик) и с конденсацией на ионах (второй пик). Такой вывод можно сделать из соответствия времени появления данных пиков времени достижения значений пересыщения пара в камере. Эти значения хорошо согласуются с результатами, полученными как расчетным путем, так и экспериментально в камере Вильсона [4–7]. Природа третьего пика не является однозначной, он может быть объяснен либо гомогенной нуклеацией, либо рассеянием на ледяных кристаллах.

Результаты по исследованию влияния поля статического электричества и потока электронов будут представлены в последующих публикациях.

1. Кондратьев К.Я., Биненко И.И. Влияние облачности на радиацию и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 240 с.
2. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Козодеров В.В., Хворостьянов В.И. Облака и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 512 с.
3. Матвеев Л.Т. Общая метеорология. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 751 с.
4. Фольмер М. Кинетика образования новой фазы. М.: Наука, 1986. 208 с.
5. Вильсон Дж. Камера Вильсона. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1954. 152 с.
6. Амелин А.Г. Теоретические основы образования тумана. 3-е изд. М.: Химия, 1972. 304 с.
7. Дас Гупта Н.Н., Гош С.К. Камера Вильсона и ее применения в физике // Успехи физ. наук. 1947. Т. 31, № 4. С. 491–583.
8. Пономарев Ю.Н., Тырышкин И.С. Спектрофотометрический комплекс для измерения поглощения лазерного излучения ИК-, видимого и УФ-диапазонов молекулярными газами // Оптика атмосф. и океана. 1993. Т. 6, № 4. С. 360–368.
9. Пономарев Ю.Н., Тырышкин И.С. Спектрофотометрический комплекс на основе многоходовых кювет с базой 110 и 30 м // Региональный мониторинг атмосферы. Ч. III. Уникальные измерительные комплексы. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998. С. 207–230.
10. Тарасенко В.Ф., Яковленко С.И., Орловский В.М., Ткачев А.Н., Шунайлов С.А. Получение мощных электронных пучков в плотных газах // Письма в ЖЭТФ. 2003. Т. 77, вып. 11. С. 737–342.
11. URL: <http://www.atmel.com>
12. URL: <http://www.analog.com>
13. URL: <http://www.ti.com>
14. URL: <http://www.national.com>

G.F. Krymskii, V.V. Kolosov, A.P. Rostov, I.S. Tyryshkin. Experimental setup for investigating the water vapor nucleation in an artificial atmosphere.

In this work, an experimental setup is presented for investigating condensation of supersaturated water vapor in the presence of different aitken nuclei, electrostatic field, and electrojet current (electrons). The setup is designed on the basis of an atmospheric optical cell made of stainless steel in the form of a tube of 0.7 m in inner diameter and 112 m in length. There are cylinder chambers of larger sizes at the cell ends. The total volume of the cell is about 45 m³. Supersaturation of water vapor is performed by means of pressure release from a working chamber of a comparatively small volume to a vacuumized chamber of larger volume like in second type Wilson chambers. The formed drops are recorded by scattering of a laser beam radiation propagating through the working chamber. Pressure measuring in the working chamber allows us to determine the degree of vapor supersaturation, for which formation of scattering (i.e., sufficiently large) drops is observed.