

Саратовский государственный университет

Кафедра нелинейной физики

**ПРАКТИКУМ
ПО МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ
И ТЕРМОДИНАМИКЕ**

(Комплекс ЛКТ-9)

Упражнение 6.

Определение вязкости воздуха по истечению из капилляра.

Учебно-методическое пособие к лабораторной работе
в интегрированном учебно-научном практикуме
"Методика, технология и информационное обеспечение
физического эксперимента"

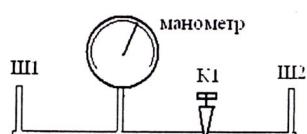
2012 г.

Технические характеристики установки

Напряжение питания 220В, 50Гц

Потребляемая мощность водонагревателя (электрочайник) 2кВт

Состав установки

1. Вольтметр стрелочный на приборной панели для измерения напряжения сети (0 – 250В)
2. Пневмосистема (кран-зажим и два штуцера, установленные внутри приборной панели). Нормальное положение крана – открытое, предохраняет пережимаемый силиконовый шланг от слипания.
3. Манометр на избыточное давление до 40 кПа (300мм.рт.ст.), установлен на приборной панели и входит в состав пневмосистемы. Исходное показание нулевое.
4. Секундомер. Управление секундомером осуществляется тремя кнопками. Кнопка "MODE" – выбор режима работы. В режиме секундомера кнопка ADVANCE поочередно запускает и останавливает отсчет времени. Если не сбрасывать отсчеты, то происходит суммирование измеряемых интервалов времени. Кнопка "SET", нажатая в процессе отсчета времени вместо кнопки "MODE", фиксирует показания дисплея, но не останавливает отсчета времени. При повторном нажатии этой кнопки показания дисплея будут соответствовать продолжающемуся отсчету времени. Кнопка "SET", нажатая при остановленном отсчете времени, сбрасывает (обнуляет) отсчет и показания дисплея.
5. Мультиметр с питанием от источника внутри приборной панели.
6. Калькулятор с питанием от собственной батареи.
7. Электроводонагреватель (чайник), используемый в качестве водяной бани и калориметра. Установлен на поддоне.
8. Баллон стеклянный объемом 1л, помещаемый в водонагреватель, с плотной крышкой с клапаном и штуцером для шлангов.
9. Баллон пластмассовый объемом 1л, на крышке которого смонтированы два штуцера для шлангов.
10. Шланги силиконовые длиной 600, 600 и 320мм.
11. Груша-помпа с винтовым зажимом и штуцером для шланга.
12. Дроссель-капилляр. Диаметр капилляра 0,26мм, длина 22мм.
13. Провода к мультиметру.
14. Термопара к мультиметру.
15. Мензурки на 1л и на 0,25л.
16. Флакон объемом 50мл со штуцером для шлангов на крышке.

Перед началом практического этапа работы:

1. Включить установку в сеть 220В для питания мультиметра. При этом вольтметр должен показать напряжение сети (коэффициент шкалы вольтметра 5В/дел).
2. Подключить термопару к мультиметру (черная – СОМ, красная – VΩmA). При этом в состоянии измерения температуры мультиметр должен показывать значение комнатной температуры.

Упражнение 6.

Определение вязкости воздуха по истечению из капилляра.

Для измерения вязкости η часто используют формулу Пуазейля, которая определяет расход жидкости (объем в единицу времени) при ламинарном истечении через трубу диаметром d и длиной L при постоянной разности давлений $(P - P_0)$ на концах трубы:

$$q = \frac{\pi \cdot (P - P_0) \cdot d^4}{128L \cdot \eta} \quad (1)$$

Вывод этой формулы общеизвестен (например, [1]). Применим формулу к прохождению воздуха из баллона с емкостью V_0 через капилляр. Тогда P – текущее давление в баллоне, P_0 – атмосферное давление. Главное препятствие непосредственного применения формулы состоит в том, что в результате вытекания газа давление в баллоне постоянно падает. Однако при изотермическом (медленном) расширении газа в результате истечения из баллона величину $\frac{dV}{dt} = q$ можно связать со скоростью изменения давления по

средством формулы $\frac{dP}{dt} = -\frac{P}{V} \cdot \frac{dV}{dt}$, полученной путем дифференцирования формулы газового состояния. Далее, учитывая, что измерение давления удобнее в будущем эксперименте, чем измерение объема, перепишем формулу Пуазейля

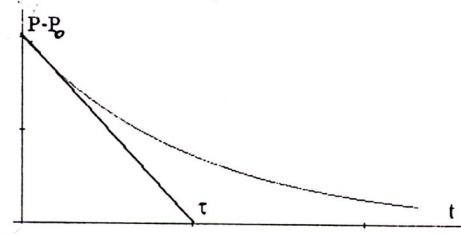
$$\frac{dP}{dt} = -\frac{\pi \cdot (P - P_0) \cdot d^4}{128L \cdot \eta} \cdot \frac{P}{V}$$

Ламинарное истекание газа из объема возможно лишь при небольших перепадах давления $(P - P_0)$ и достаточно большом значении начального объема V_0 , по сравнению с объемом, вытекающим за время наблюдения. Значит, в правой части полученного уравнения можно считать $V \approx V_0$ и $P = \langle P \rangle$ – давление, среднее за время измерения. Тогда получаем уравнение, удобное для экспериментального использования:

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{(P - P_0)}{\tau}, \text{ где введено обозначение:}$$

$$\tau = \frac{128L \cdot \eta \cdot V_0}{\pi \cdot \langle P \rangle \cdot d^4}$$

Интегрирование дает экспоненциальную зависимость избыточного давления $(P - P_0)$ от времени истечения газа: $(P - P_0) = (P - P_0)_{\text{нач}} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$.



Измеряя данную зависимость в эксперименте, можно определить значение постоянной времени τ , проводя подкасательную к графику (см. рис.), и уже по ней определить коэффициент вязкости.

1. С помощью шлангов подключить баллон с двумя штуцерами одним штуцером к грушевому, другим – к штуцеру Ш1 пневмосистемы.
2. К выходному концу пневмосистемы, через штуцер Ш2 подключить дополнительный шланг (длинный!) с дросселем на конце. Дроссель аккуратно (капилляр!) вставляется в конец шланга на 10–15мм капилляром внутрь шланга.
3. Перекрыть кран K1.
4. Грушей накачать в баллон воздух до избыточного давления не превышающего 250мм.рт.ст, после чего перекрыть шланг со стороны груши зажимом.
5. через 1...2 мин измерить установившееся в объеме "баллон-пневмосистема" начальное избыточное давление.

5. Приготовиться к записи значений избыточного давления по манометру от текущего времени, измеряемого секундомером. Особенно точными должны быть измерения в самом начале кривой (см. рис)!

ΔP , мм.рт.ст.	ΔP , Па.	$\ln \Delta P$	t, мин, с	t, с
Серия при комнатной температуре				
...				
...				
...				
Значение τ		Значение η		
Серия при температуре воздуха 70°C				
...				
...				

6. Открыть кран K1 и начать измерения при комнатной температуре, заканчивая при значении избыточного давления примерно вдвое меньшем начального..

7. Провести серии измерений не менее трех раз.

8. Провести далее аналогичные серии измерений, опустив шланг с дросселем в емкость с горячей водой (чайник) при трех фиксированных температурах, измеряемых с помощью термопары. При необходимости воду аккуратно подогревать. Следить за тем, чтобы газ из баллона выходил не в воду, а в воздух. Вместе с тем дроссель не должен остывать.

9. Нанести данные одной из серий эксперимента на график, аналогичный изображеному на рисунке.

10. Произвести измерения вязкости по построению подкасательной.

11. Перестроить измеренные данные в полулогарифмическом масштабе $\ln(P - P_0)$.

12. Построить все данные в новом масштабе и определить значения τ для каждой серии как коэффициенты наклона прямых, усредненных по каждой серии.

13. Сравнить результаты определения коэффициента вязкости двумя способами.

14. Получить таблицу значений коэффициента вязкости газа для различных температур.

Литература

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука. 1989. §§ 4...8, 97.
2. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М.: Высшая школа. 1981. §§ 50, 52.
3. Ландау Л.Д., Аниезер А.И., Лишинц Е.М. Курс общей физики. М.: Наука. 1969. §§ 109, 112, 113.