

11 класс

Задача 1. Вязкость масла

Для того, чтобы поддерживать постоянную разность давлений, предлагается следующий способ. Шприц заполняется воздухом на $V_{\text{возд.}} = 20$ мл (разметка на шприце может быть на меньшие объёмы, но с помощью миллиметровой бумаги вы можете сделать шкалу с большим пределом измерения). Со шприца снимается игла, набирается $V_{\text{масла}} = 4$ мл масла и игла надевается обратно, при этом шприц всё время должен находиться в вертикальном положении (чтобы масло не растеклось по стенкам, и потом не пришлось бы долго ждать, пока оно стечёт обратно).

При сжатии воздуха внутри шприца на $\Delta V_{\text{возд.}}$ воздух слегка нагревается, и давление масла увеличивается от p_0 до p , где p_0 — атмосферное давление. Можно считать, что время установления комнатной температуры воздуха в шприце намного меньше времени процесса измерений, и поэтому выполняется закон Бойля–Мариотта:

$$p_0 V_{\text{возд.}} = p(V_{\text{возд.}} - \Delta V_{\text{возд.}}), \quad \text{откуда} \quad p = \frac{p_0 V_{\text{возд.}}}{(V_{\text{возд.}} - \Delta V_{\text{возд.}})}$$

Масло вытекает медленно (около 2–4 минут). Всё это время необходимо пододвигать поршень, чтобы объём воздуха, находящегося в шприце, не изменился. При этом разность давлений на концах иглы:

$$\Delta p = p - p_0 = \frac{p_0 \Delta V_{\text{возд.}}}{(V_{\text{возд.}} - \Delta V_{\text{возд.}})}$$

Продолжительность вытекания подобрана большой, что позволяет уменьшить ошибку, связанную с определением времени (около 5 с). При временах вытекания масла 200 с эта ошибка незначительна. Данный метод позволяет определить время вытекания масла при давлениях порядка 1 атм в широком диапазоне $0,2p_0 - 4p_0$.

Расход рассчитывается по формуле $Q = \Delta V_{\text{масла}} / \tau$, где τ — время вытекания масла.

Из графика $Q(\Delta p)$ видно, что экспериментальные точки ложатся на прямую, а коэффициент наклона $k = \frac{\Delta Q}{\Delta p}$. Тогда вязкость высчитывается по итоговой формуле:

$$\eta = \frac{\pi r^4}{8 k L} \approx 0,3 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Для данной ситуации $Re < 1 \ll Re_{\text{кр}}$ и $l_{\text{уст.}} = 0,2r \text{ Re} \ll L$. Таким образом, наше предположение о ламинарности течения было верным.

Примерные критерии оценивания

Описан метод измерения расхода, даны основные расчётные формулы . . .	3
Измерения	
≥ 4 точек	3
2–3 точки	2
1 точка	1
Построение графика	
≥ 4 точек	3
2–3 точки	2
Ответ для вязкости	2
Верная оценка погрешности	1
Получено Re и сравнено с $Re_{\text{кр}}$	1
Получено $l_{\text{уст}}$ и сравнено с L	1
Вывод о возможности использования предположений	1

Задача 2. Избыточное давление

Решение задачи смотрите в решении задачи 2 для 10 класса.