



ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Измерение зависимости времени, за которое шарик опускается в водном растворе глицерина, от температуры.
- Определение динамической вязкости и сравнение ее со значениями, указанными в литературе.
- Сравнение характера зависимости динамической вязкости от температуры с прогнозом на основе уравнения Андраде и определение энергии активации.

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Определение динамической вязкости водного раствора глицерина

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Динамическая вязкость, коэффициент пропорциональности градиента вязкости и касательного напряжения в жидкости, характеризует, насколько трудно телу проходить сквозь жидкость. Ее можно измерить с помощью вискозиметра с падающим шариком наподобие того, что разработан Гепплером. Можно также провести измерения в зависимости от температуры, если использовать также и циркуляционный термостат. Для измерений в этом опыте используется водный раствор глицерина. Это позволяет описать характер зависимости вязкости от температуры с помощью уравнения Андраде.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Вискозиметр с падающим шариком	U14260
1	Цифровой секундомер	U11902
1	Погружной/циркуляционный термостат (230 В, 50/60 Гц)	U144002-230 или
	Погружной/циркуляционный термостат (115 В, 50/60 Гц)	U144002-115
2	Силиконовая трубка диаметром 6 мм	U10146
1	Глицерин, 85%, 250 мл	U8496816
1	Воронка	U8634700
Дополнительно рекомендуется иметь:		
1	Набор из 10 низких мерных стаканов	U14210
2	Градуированный цилиндр объемом 100 мл	U14205
	Дистиллированная вода, 5 л	

2

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Вязкость жидкости является результатом связывающего взаимодействия между атомами или молекулами среды. Частицы вещества тем менее подвижны, чем сильнее эта связь. Тогда требуется большее касательное напряжение для данного градиента скорости, чтобы сформировать профиль потока. Пропорциональность градиента скорости и касательного напряжения является мерой того, насколько среда является вязкой, в данном случае ее динамическая или касательная вязкость жидкости, в которых динамическая вязкость не зависит от касательного напряжения, называются ньютоновскими жидкостями.

Динамическая вязкость η большинства жидкостей уменьшается с увеличением температуры. Часто это уменьшение можно описать с помощью уравнения Андраде.

$$(1) \quad \eta = \eta_0 \cdot \exp\left(\frac{E_A}{R \cdot T}\right)$$

E_A : энергия активации атомов/молекул в жидкости
 T : абсолютная температура

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} : \text{универсальная газовая постоянная}$$

Часто динамическую вязкость измеряют, наблюдая, как шарик тонет в жидкости под действием силы тяжести. Движение шарика замедляется за счет так называемого «сопротивления по Стоксу»

$$(2) \quad F_1 = \eta \cdot 6\pi \cdot r \cdot v$$

r : радиус шарика

Это заставляет шарик опускаться с постоянной скоростью v . Действие силы тяжести уменьшается выталкивающей силой жидкости, действующей на шарик:

$$(3) \quad F_2 = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \cdot (\rho_0 - \rho) \cdot g$$

ρ_0 : плотность шарика
 ρ : плотность исследуемой жидкости
 g : ускорение свободного падения

В результате силы F_1 и F_2 уравновешиваются:

$$(4) \quad \eta = \frac{2}{9} \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho_0 - \rho) \cdot \frac{t}{s}$$

s : расстояние
 t : время, требующееся для того, чтобы шарик, опускаясь, прошел это расстояние

Фактически уравнение (2) описывает только сопротивление, действующее на шарик, в случаях, когда диаметр измерительного цилиндра, заполненного жидкостью, намного больше диаметра шарика. Для этого потребовалось бы использовать очень большое количество исследуемой жидкости. Поэтому на практике обычно используют вискозиметр Гепплера с падающим шариком, в котором цилиндр наклонен относительно вертикали, так что шарик опускается, скатываясь и соскальзывая по стенке трубки. В этом случае выражение для динамической вязкости выглядит следующим образом:

$$(5) \quad \eta = t \cdot (\rho_0 - \rho) \cdot K$$

Калибровочный коэффициент K указывается индивидуально для каждого шарика, поставляемого изготовителем. Чтобы избежать каких-либо систематических погрешностей, измерительный цилиндр можно перевернуть, так чтобы можно было также измерить и время, которое

потребуется шарик, чтобы вернуться туда, откуда он начал движение. В этом опыте исследуется обычный глицерин, который фактически представляет собой водный раствор глицерина с содержанием глицерина примерно 85%. Это разбавление сделано намеренно, так как вязкость чистого глицерина слишком велика для многих вариантов применения. Измеряется зависимость вязкости от температуры. Для этого вискозиметр объединяется с циркуляционным термостатом. Разбавляя раствор глицерина дистиллированной водой до определенной степени, можно также измерить зависимость вязкости от концентрации.

ОЦЕНОЧНЫЙ РАСЧЕТ

Сравнение измеренной вязкости со значениями, указанными в литературе, подтверждает значения, указанные изготовителем.

Выражение (1) можно переписать в следующем виде: $\ln \eta = \ln \eta_0 + E_A \cdot \frac{1}{R \cdot T}$

Это означает, что можно построить график зависимости $y = \ln \eta$ от $x = \frac{1}{R \cdot T}$, а энергию активации E_A можно определить по наклону полученных прямых линий.

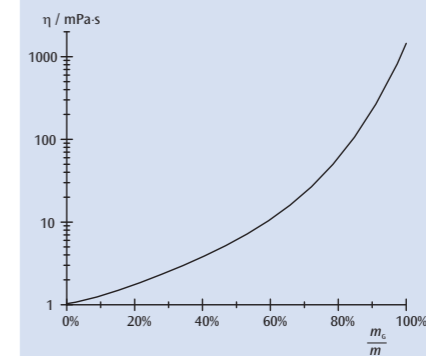


Рис. 1: Зависимость динамической вязкости водного раствора глицерина при температуре 20°C от массовой концентрации (интерполяция по указанным значениям)

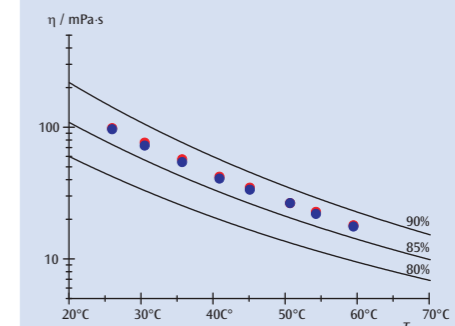


Рис. 2: Зависимость динамической вязкости водного раствора глицерина от температуры (сравнение результатов измерения с интерполяцией по указанным значениям)

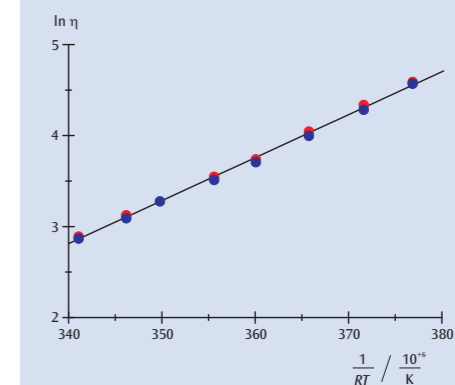


Рис. 3: График, позволяющий проверить уравнение Андраде и определить энергию активации ($E_A = 47$ кДж/моль)