

ННГУ, Радиофизический факультет, гр. 417.

Выполнил

Лабораторная работа № 122.

Отчет.

Определение коэффициента внутреннего трения (вязкости) жидкости.

Цель работы: измерить коэффициент вязкости глицерина.

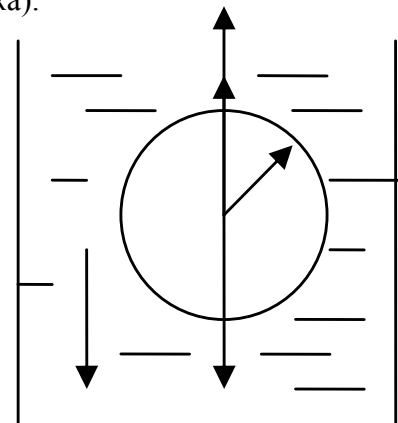
Оборудование: высокая (1м.) и достаточно широкая трубка с глицерином, два шарика – один из стали, другой из алюминия, секундомер (погрешность 0.2с), проградуированная шкала трубки (цена деления 5 см).

Вывод формулы: В достаточно высокий и широкий сосуд налита жидкость с большой вязкостью (в данном случае глицерин). В него опускается шарик, плотность которого  $\rho_{ш}$  больше, чем  $\rho_{жид}$ , потому что только в случае  $\rho_{ш} < \rho_{жид}$  шарик не будет погружаться. Итак, шарик будет ускоренно погружаться, но с возрастанием скорости падения будет увеличиваться сила сопротивления, вызванная внутренним трением жидкости. Английский физик Стокс доказал, что сила сопротивления при движении шарика в вязкой жидкости под действием силы тяжести такова  $F_{сопр} = 6\pi\eta r U$  (где  $r$  - радиус шарика,  $\eta$  - коэффициент вязкости жидкости,  $U$  - скорость шарика).

Равнодействующая всех сил, действующих на шарик равна  $mg - F_a - F_{сопр}$ .

Она будет сообщать шарика ускорение, направленное вниз, что вызовет увеличение скорости падения шарика, что, в свою очередь приведет к увеличению силы сопротивления. Таким образом, через некоторое время равнодействующая сил станет равна нулю, значит, по второму закону Ньютона, ускорение тела также станет равно нулю, т.е. тело начнет двигаться равномерно с некоторой постоянной скоростью  $U_{уст}$ .

по второму закону Ньютона



$$ma = mg - F_{арх} - F_{сопр},$$

$$\text{примем во внимание что } m = 4/3 * \pi \rho_{ш} r^3, F_a = \rho_{жид} g V_{ш}, V_{ш} = 4/3 \pi r^3$$

и получаем, что

$$0 = 4/3 \pi \rho_{ш} gr^3 - 4/3 \pi \rho_{жид} gr^3 - 6 \pi \eta r U \Leftrightarrow \eta = 2gr^2 (\rho_{ш} - \rho_{жид}) / 9 U_{уст}$$

мы пока не можем вычислить путь установления скорости, поэтому примем  $U_{уст} = S/t$ .

Порядок выполнения работы:

- 1) Измеряем микрометром диаметры шариков.

Шарик	d, см	r сред, см	Шарик	d, см	r сред, см
алюминий	4,12	2,105 +/- 0,001	Сталь	3,93	1,975 +/- 0,001
	4,26				
	4,13				
				3,96	

Погрешность микрометра 0,001 см.

2) Определяем среднюю скорость шарика при движении от середины до дна (потому что скорость в к этому времени уже наверняка установилась).  $v_{cp} = S/t$ .

Шарик	t, с	t <sub>средь</sub> , с	Шарик	t, с	t <sub>средь</sub> , с
алюминий	11,19	11,14	Сталь	3,10	3,13
	11,30			3,19	
	11,05			3,13	
	11,05			3,12	

$S = 40$  см.

$$v_{cp. ал.} = 40/11,14 = 3,59 \text{ см/с.}$$

$$v_{cp. ст.} = 40/3,13 = 12,78 \text{ см/с.}$$

Теперь по полученным данным вычислим  $\eta$ .

$$\eta_{ал} = 3,8 \text{ г/см}^2 \cdot \text{с}$$

$$\eta_{ст} = 4,3 \text{ г/см}^2 \cdot \text{с}$$

Зная  $\eta$  мы можем оценить длину пути, на котором происходит установление скорости аналитически.

Но мы сделаем это практическим путем. Для этого, мы будем измерять время падения шарика при различном уровне начала отсчета. Т.е. сначала отступим от отметки 0 пять см. и измерив время подсчитаем значение средней скорости на этом участке пути. Потом отступим 10 см, 15, 20 и т.д. и если мы увидим, что на участках значение скорости почти не меняется или меняется в пределах погрешности, то сможем сделать вывод, что на первом из этих участков и происходит установление скорости.

№ опыта	Шарик	t, с	l, см	V (см/с)	Шарик	t, с	l, см	V (см/с)
1	Al	15,65	75	4,792	Сталь	4,6	75	16,304
2	Al	14,52	70	4,820	Сталь	4,25	70	16,47
3	Al	13,42	65	4,843	Сталь	3,9	65	16,66

$$v = S/t \Rightarrow \Delta v = (\Delta S \cdot t - \Delta t \cdot S) / t^2$$

$$\Delta v = (2,5 \cdot 18,7 - 0,2 \cdot 70) / 18,7^2 = (46,75 - 14) / 349,69 \approx 0,093 \text{ см/с}$$

Видно, что скорость начинает меняться всего в пределах погрешности на первых же 2х участках пути, таким образом можно считать, что скорость и для алюминиевого и для стального шариков устанавливается по прошествии первых 5 см пути. Т.е. движение считать равномерным, начиная с отметки, отступающей от выбранного начала отсчета на 5 см (а т.к. до этого в качестве начала отсчета выбрана отметка 5 см, то путь при последующих измерениях начинаем отсчитывать от отметки 10 см).

Итак,  $S = 70$  см.

Шарик	t, с	t <sub>сред</sub> , с	Шарик	t, с	t <sub>сред</sub> , с
Алюминий	18,85	18,7	Сталь	5,03	5,15
	18,60				
	18,90				
	18,40				

Таким образом,

$$v_{\text{ср.ал.}} = 70/18,7 = 3,7 \text{ см/с}$$

$$v_{\text{ср.ст.}} = 70/5,15 = 13,6 \text{ см/с}$$

Подставим эти значения скоростей в формулу  $\eta = 2gr^2(\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{жид}})/9v_{\text{уст}}$  и получим, что

$$\eta_{\text{по ал}} = 3,75 \text{ г/(см*с)} = 3,75 \text{ П}$$

$$\eta_{\text{по ст}} = 4,0 \text{ г/(см*с)} = 4,0 \text{ П}$$

$$\eta_{\text{средн}} = 3,875 \text{ г/(см*с)} = 3,875 \text{ П}$$