

**Решение экспериментального тура
республиканской олимпиады по физике-2022
11 класс (15 баллов)**

1. Определяем скорость установившегося движения v для каждого шарика в магнитной жидкости (МЖ) и заносим в таблицу:

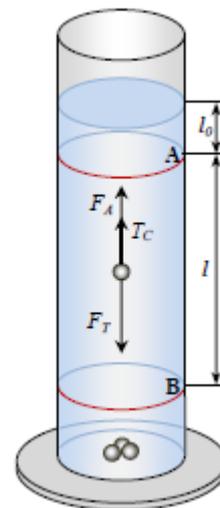
$$v = \frac{l}{t} \quad (1)$$

[0.5 балла] – за формулу
[1.0 балл] – по **0.5 балла** за числовые значения для каждой МЖ

2. На движущийся шарик в жидкости действуют три силы: сила тяжести F_T , выталкивающая архимедова сила F_A и сила сопротивления T_C (см. рисунок). Силу тяжести и выталкивающую силу можно определить следующим образом:

$$F_T = \frac{4\pi r^3 \rho g}{3} \quad (2) \quad \text{[0.5 балла]}$$

$$F_A = \frac{4\pi r^3 \rho_0 g}{3}, \quad (3) \quad \text{[0.5 балла]}$$



где r - радиус шарика; $\rho_{ш}$ - плотность шарика; $\rho_{мж}$ - плотность магнитной жидкости. Сила тяжести и выталкивающая сила постоянны. Сила сопротивления T_C прямо пропорциональна скорости и поэтому на начальном этапе она меньше силы тяжести, и шарик падает равноускоренно. При этом сила сопротивления увеличивается и наступает момент, когда все три силы уравниваются. Шарик начинает двигаться равномерно:

$$F_T = F_A + T_C \quad (4) \quad \text{[0.5 балла]}$$

или

$$\frac{4\pi r^3 \rho_{ш} g}{3} = \frac{4\pi r^3 \rho_{мж} g}{3} + 6\pi \eta r v \quad (5) \quad \text{[1.0 балл]}$$

откуда определяем вязкость магнитной жидкости

$$\eta = \frac{2r^2 g (\rho_{ш} - \rho_{мж})}{9v} \quad (6) \quad \text{[1.0 балл]}$$

3. Преобразуем формулу (6) путём подстановки выражения для скорости движения $v = \frac{l}{t}$ и замены радиуса шарика r диаметром d :

$$\eta = \frac{d^2 g t (\rho_{ш} - \rho_{мж})}{18l} \quad (7) \quad \text{[0.5 балла]}$$

Вычисляем вязкость исследуемой жидкости по формуле (7) и заносим в таблицу.

Числовые значения оцениваются

[4,0 балла] – по **2,0 балла** для каждой МЖ

4. Вычисляем среднеарифметическое значение вязкости

$$\bar{\eta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_i \quad (8)$$

[0.25 балла] – за формулу
[0.5 балла] – по **0.25 балла** за числовые значения для каждой МЖ

где n - число опытов. Данные этих расчётов заносим в таблицу.

Находим отклонения $\Delta_{\eta} = \bar{\eta} - \eta_i$ и их квадраты Δ_{η}^2 . Данные этих расчётов заносим в таблицу.

Вычисляем среднеквадратическое отклонение результатов измерений:

$$\sigma_{\eta} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \Delta_{\eta}^2} \quad (9)$$

[0.5 балла] – за формулу
[1.0 балл] – по **0.5 балла** за числовые значения для каждой МЖ

Данные этих расчётов заносим в таблицу.

Определяем доверительные границы ε_p , за пределы которых с заданной доверительной вероятностью (например, $p = 0,95$) не выйдет истинное значение вязкости магнитной жидкости:

$$\varepsilon_p = \sigma_{\eta} \cdot t_p \quad (10)$$

[0.25 балла] – за формулу
[0.5 балла] – по **0.25 балла** за числовые значения для каждой МЖ

где коэффициент t_p определяется по таблице Лапласа, исходя из условия, что распределение погрешностей подчиняется нормальному закону. В нашем случае $t_p = 4.3$.

5. Рассчитываем число Рейнольдса Re для случая падения самого большого шарика. Для этого выбираем радиус r самого большого шарика и скорость его падения v .

По формуле

$$Re = \frac{rv\rho_{\text{МЖ}}}{\eta} \quad (11)$$

[1.0 балл] – за формулу
[1.0 балл] – по **0,5 балла** за числовые значения в двух случаях

вычисляем численное значение Re и сделаем заключение о характере обтекания шарика жидкостью (ламинарное или турбулентное) в данных условиях.

За заключение о характере обтекания

[0.5 балла]
по **0.25 балла** для
каждого случая

При расчетах считаем известными следующие параметры:

- ускорение свободного падения - 10 м/с^2 ;
- плотность шарика - 11500 кг/м^3 ;
- плотность магнитной жидкости на основе воды - 11300 кг/м^3 ;
- плотность магнитной жидкости на основе силикона - 11400 кг/м^3 .

Примечание: если Вам дополнительно не сообщили об опечатке, и Вы **написали** соответствующее **заключение** о равенстве плотностей шарика и магнитной жидкости на основе силикона в своей работе, то при оценивании работы мы **равноценно** учтем допущенную опечатку плотности магнитной жидкости на основе силикона.

Для магнитной жидкости на основе воды

l, мм	d, мм	t, с					<t>, с	v, м/с	η, сП	$\bar{\eta}$	Δ_{η}	Δ_{η}^2	σ_{η}	ε_p	Re
		t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅									
250	3,53	3,22	3,23	3,21	3,23	3,21	3,22	0,078	0,01783	0,01776	$-7 \cdot 10^{-5}$	$49 \cdot 10^{-10}$	$4,42 \cdot 10^{-5}$	19	87,19
	3,5	3,26	3,27	3,28	3,25	3,27	3,266	0,077	0,01778		$-2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-10}$			-
	3,31	3,63	3,65	3,61	3,64	3,62	3,63	0,069	0,01768		$8 \cdot 10^{-5}$	$64 \cdot 10^{-10}$			-

$Re = 87,19 < 1000$ – что позволяет сделать заключение от том, что у магнитной жидкости ламинарное обтекание.

Для магнитной жидкости на основе силикона

l, мм	d, мм	t, с					<t>, с	v, м/с	η, сП	$\bar{\eta}$	Δ_{η}	Δ_{η}^2	σ_{η}	ε_p	Re
		t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅									
250	3,53	6,19	6,17	6,2	6,21	6,23	6,2	0,0403	0,01717	0,01709	$-8 \cdot 10^{-5}$	$64 \cdot 10^{-10}$	$6,11 \cdot 10^{-5}$	26,27	47,47
	3,5	6,29	6,27	6,28	6,32	6,31	6,29	0,0397	0,01713		$-4 \cdot 10^{-5}$	$16 \cdot 10^{-10}$			-
	3,31	6,98	6,96	6,97	6,95	6,99	6,97	0,0359	0,01697		$12 \cdot 10^{-5}$	$144 \cdot 10^{-10}$			-

$Re = 47,47 < 1000$ – что позволяет сделать заключение от том, что у магнитной жидкости ламинарное обтекание.