

Решения задач 11 класс

Задача 11-1. Время удара

Задание 1.

1.1 Для измерения ЭДС и внутреннего сопротивления источника можно измерить:

а) Напряжение на источнике, напрямую подключив к нему вольтметр. Так как сопротивление вольтметра значительно больше внутреннего сопротивления источника, то показания вольтметра фактически будут равны ЭДС источника

$$\varepsilon = U_0 = 1,5B \quad (1)$$

б) Далее к источнику следует подключить резистор с известным сопротивлением и измерить напряжение на нем. Это напряжение можно рассчитать по формуле

$$U = U_0 \frac{R}{R+r} \quad (2)$$

Отсюда следует, что внутренне сопротивление источника рассчитывается по формуле

$$\frac{U_0}{U} = 1 + \frac{r}{R} \Rightarrow r = R \left(\frac{U_0}{U} - 1 \right) \quad (3)$$

Измерения дали следующие значения $U = 0,94B$ $R = 1,00\text{Ом}$ (измерено с помощью мультиметра в режиме омметра). Поэтому внутренне сопротивление источника равно

$$r = 0,60\text{Ом} \quad (4)$$

1.2 Для измерения сопротивления вольтметра следует произвести измерения зависимости напряжения на предварительно заряженном конденсаторе, в процессе его разрядки через вольтметр. Эта зависимость описывается функцией

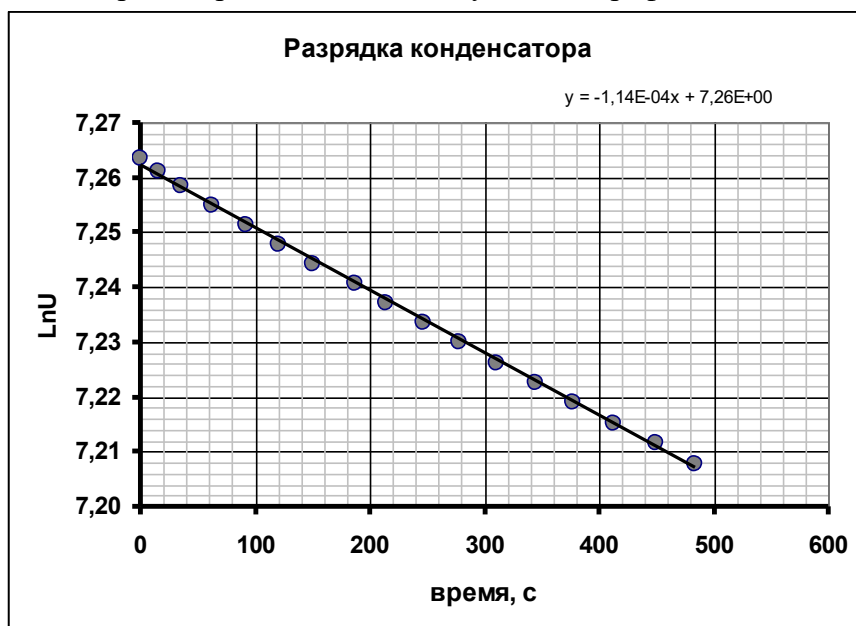
$$U = U_0 \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \quad (5)$$

Поэтому зависимость логарифма напряжения от времени линейна с коэффициентом наклона равным $A = -\frac{1}{RC}$

$$\ln U = \ln U_0 - \frac{1}{RC} t \quad (6)$$

В таблице приведены результаты измерений, рядом показан полученный график.

t, c	$U, мВ$	$\ln(U)$
0	1427	7,263
15	1424	7,261
35	1420	7,258
63	1415	7,255
92	1410	7,251
121	1405	7,248
151	1400	7,244
187	1395	7,241
214	1390	7,237
247	1385	7,233
278	1380	7,230
310	1375	7,226
345	1370	7,223
378	1365	7,219



413	1360	7,215
449	1355	7,212
483	1350	7,208

Коэффициент наклона графика $A = 1,14 \cdot 10^{-4} c^{-1}$. Следовательно, характерное время разрядки конденсатора

$$T = RC = \frac{1}{A} = 8800c \approx 145 \text{ мин.} \quad (6)$$

Сопротивление мультиметра

$$R_v = \frac{T}{C} = 8,8 \text{ МОм.} \quad (7)$$

Задание 2.

2.1 Схема измерений проста и очевидна: источник следует подключить к конденсатору через контакт шарика и цилиндра; вольтметр и ключ параллельно конденсатору.

2.2 Так как время разрядки конденсатора очень велико, то разрядкой конденсатора можно пренебречь. Обозначим время контакта (время удара) τ . Пусть после n ударов напряжение на конденсаторе равно U_n тогда за время очередного удара напряжение на конденсаторе увеличится на величину

$$U_{n+1} - U_n = \frac{\Delta q}{C} = \frac{I\tau}{C} = \frac{(U_0 - U_n)\tau}{rC} \quad (8)$$

Величина $T_1 = rC = 0,6 \text{ Ом} \cdot 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Ф} = 0,6 \cdot 10^{-3} c$ является характерным временем зарядки конденсатора с помощью предлагаемого элемента.

2.3 Обозначим $z_n = U_0 - U_n$ - отклонение напряжения на конденсаторе от напряжения источника. Тогда из уравнения (8) можно получить

$$z_n - z_{n+1} = \frac{\tau}{T_1} z_n \Rightarrow z_{n+1} = \left(1 - \frac{\tau}{T_1}\right) z_n \Rightarrow \quad (9)$$

$$z_n = z_0 \left(1 - \frac{\tau}{T_1}\right)^n$$

Так как время удара заметно меньше времени зарядки конденсатора, то последнюю формулу можно представить в виде

$$z_n = z_0 \exp\left(-\frac{\tau}{T_1} n\right). \quad (10)$$

Или в логарифмическом масштабе

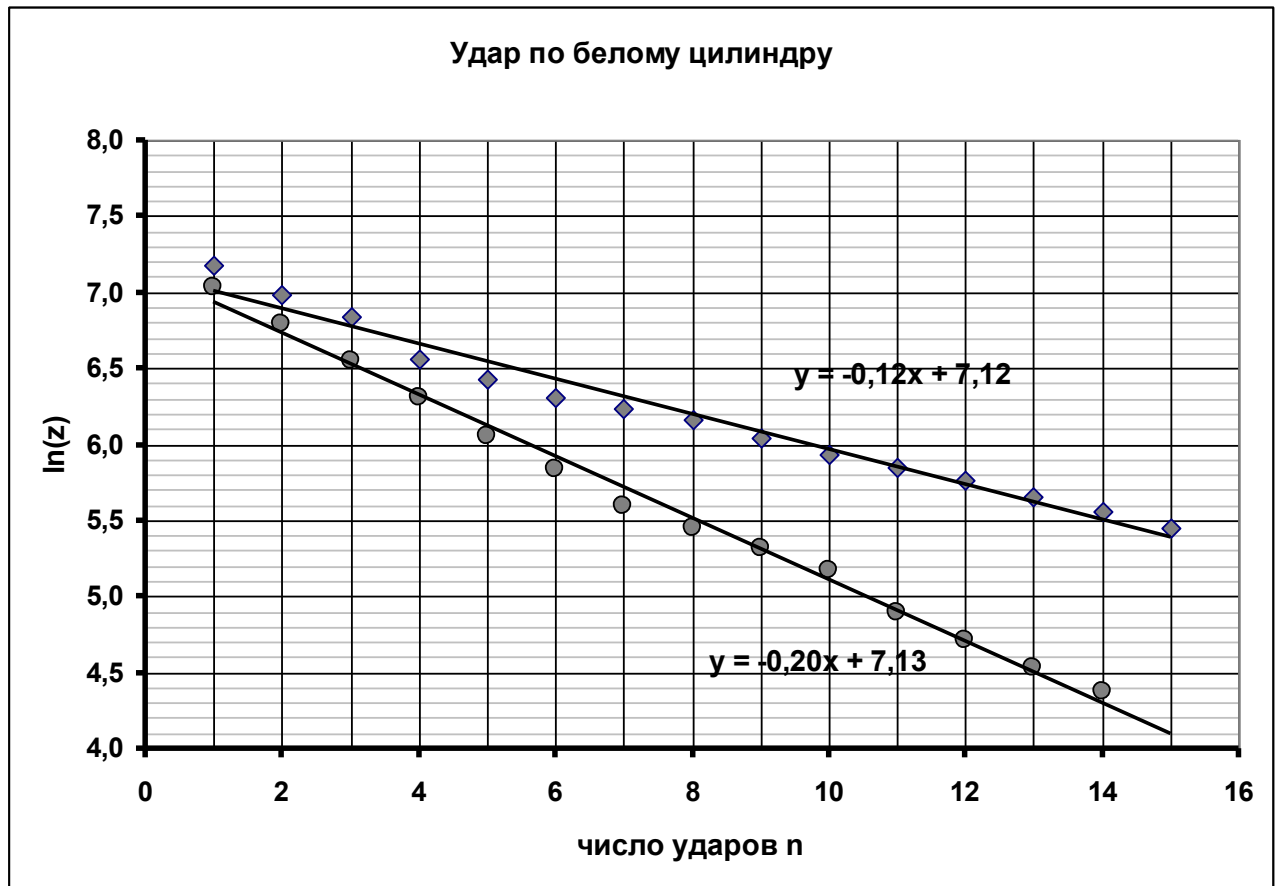
$$\ln z_n = \ln z_0 - \frac{\tau}{T_1} n. \quad (11)$$

Таким образом, коэффициент наклона зависимости $\ln(U_0 - U_n)$ от числа ударов равен отношению времени удара к характерному времени зарядки конденсатора. Это позволяет экспериментально определять время удара.

2.4 В таблице приведены результаты измерений напряжений на конденсаторе после n ударов шариков о цилиндр. Диаметры шаров измерены штангенциркулем.

$D = 25\text{мм}$				$D = 19\text{мм}$		
n	U_n , мВ	$\ln(U_0 - U_n)$		n	U_n , мВ	$\ln(U_0 - U_n)$
1	193	7,175		1	361	7,038
2	425	6,980		2	607	6,795
3	560	6,846		3	805	6,544
4	794	6,560		4	949	6,312
5	883	6,425		5	1072	6,059
6	949	6,312		6	1156	5,841
7	991	6,232		7	1231	5,595
8	1027	6,159		8	1268	5,447
9	1079	6,043		9	1297	5,313
10	1124	5,930		10	1324	5,170
11	1153	5,849		11	1366	4,898
12	1182	5,762		12	1388	4,718
13	1213	5,659		13	1407	4,533
14	1242	5,553		14	1421	4,369
15	1267	5,451		15		

2.5 Ниже показаны графики полученных зависимостей.



2.6 Используя найденные значения коэффициентов наклона, рассчитаем времена столкновений:

Для шарика диаметром $D = 19 \text{ мм}$

$$\tau_1 = A_1 T_1 = 0,12 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 0,72 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

Для шарика диаметром $D = 25 \text{ мм}$

$$\tau_2 = A_2 T_1 = 0,20 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 1,20 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

2.7 Отношение времен столкновения примерно равно отношению диаметров шаров, поэтому можно предположить, что это время определяется временем прохождения упругой волны по диаметру шарика.

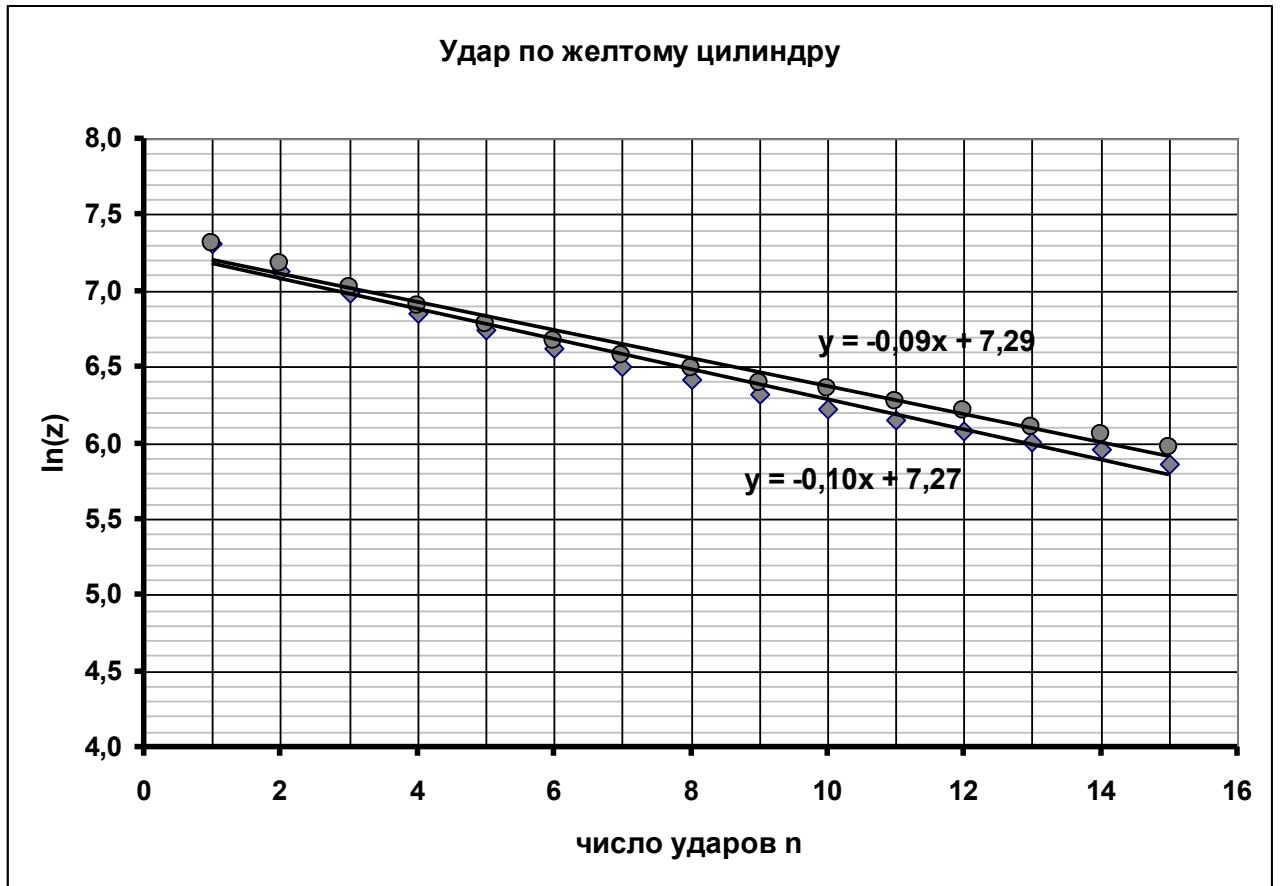
2.6 Оценка скорости упругих волн в материале шариков может быть проведена по формуле

$$c \approx \frac{2D}{\tau} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \text{ м}}{1,2 \cdot 10^{-4} \text{ с}} = 420 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Задание 3.

3.1 Результаты аналогичных измерений для ударов по латунному шару приведены в таблице и показаны на графиках.

<i>D = 19мм</i>			<i>D = 25мм</i>		
<i>n</i>	<i>U_n, мВ</i>	$\ln(U_0 - U_n)$	<i>n</i>	<i>U_n, мВ</i>	$\ln(U_0 - U_n)$
1	195	7,313	1	252	7,313
2	383	7,177	2	426	7,133
3	509	7,021	3	559	6,983
4	621	6,903	4	655	6,851
5	719	6,784	5	754	6,743
6	788	6,673	6	834	6,619
7	848	6,575	7	891	6,507
8	905	6,485	8	945	6,417
9	931	6,397	9	1000	6,324
10	974	6,351	10	1034	6,221
11	1003	6,271	11	1066	6,151
12	1054	6,213	12	1095	6,080
13	1076	6,107	13	1114	6,011
14	1111	6,054	14	1150	5,964
15	1150	5,971	15	1191	5,866



Как следует из результатов измерений, в данном случае времена столкновения практически одинаковы для обоих шариков.

$$\tau_3 = A_3 T_1 = 0,09 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} c = 5,4 \cdot 10^{-5} c$$

3.2 Можно предположить, что в данном случае время соударения определяется временем прохождения волны по цилиндру.

Задача 11-2. Свойства растворов

Составные части данной задачи хорошо и неоднократно изучены, поэтому здесь приводятся только основные и наиболее сложные проблемы, возникающие при выполнении заданий.

1. Приготовление растворов известных концентраций.

Имеющийся глицерин разделяется на 2 части. Сначала в мензурку заливаем воду, заполняя ее наполовину. После этого постепенно добавляем глицерин по 5 мл. В этом случае концентрация раствора изменяется от 0 до примерно 50 %.

Затем поступаем наоборот: заливаем сначала глицерин, а затем добавляем воду, концентрация уменьшается от 100% до 50%. Таким образом удастся получить около 10 различных концентраций.

2. Использование самодельного ареометра для измерения плотностей растворов не вызывает затруднений.

В результате проведенных измерений показало, что плотности растворов практически линейно возрастают в диапазоне

$$\rho = [1,0 - 1,25] \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Расчетные и измеренные значения оказываются достаточно близкими.

Изменение объема смеси при смешивании жидкости не значительно.

3. Измерение показателя преломления требует предельной аккуратности и тщательности в проведении измерений. Достаточно сложна методика обработки результатов измерений, что связано с отсутствием точной формулы, связывающей отклонение луча и показатель преломления, поэтому фактически требуется проводить численное интегрирование. Этот метод (правда, для прозрачных пластмасс) использовался на международной физической олимпиаде 2019 года и описан в ее итоговых материалах.

4. В результате проведенных измерений показатель преломления монотонно (почти линейно) возрастает при увеличении концентрации глицерина и лежит в диапазоне

$$n = [1,33 - 1,46]$$

5. Естественно, что между показателем преломления и плотностью существует корреляционная связь, однако дать ей физическое обоснование не просто. Что и не требовалось в условии задачи.