

Задание 7.1. Иглоукалывание (из 20 баллов). При медленном движении поршня шприца масса m капельки жидкости, отрывающейся от кончика иглы (при вертикальном положении шприца (см. рис.)), прямо пропорциональна внутреннему диаметру иглы d ($m = kd$). Коэффициент пропорциональности k зависит от типа жидкости. (Для замедления скорости вытекания капле необходимо все измерения проводить со шприцом, в который вставлен поршень). Легкое нажатие на поршень позволяет реализовать контролируемый режим поштучного вытекания капле.



Задание. В вашем распоряжении имеется три иглы с внутренними диаметрами

Калибр	Внутренний диаметр, мм	Цвет канюли
G21	0,51	Зелёный
G22	0,41	Темно-серый
G23	0,34	Голубой

Различить иглы можно по цвету наконечника или их внешним диаметрам. Иглы на шприце можно менять.

1. Исследуйте зависимость массы m капли воды от диаметра иглы d . Опишите метод определения массы капли.
2. Постройте график полученной зависимости. Имейте в виду, что точка $d = 0, m = 0$ тоже принадлежит вашему графику.
3. С помощью графика определите значение k .
4. Определите массу m_x капли, которая отрывалась бы от иглы с внутренним диаметром $d_x = 0,20$ мм.

Приборы и оборудование. Шприц 5 мл; три иглы в защитных футлярах; стакан с водой (плотность воды $\rho = 1,00 \cdot 10^3$ кг/м³); 1 лист миллиметровой бумаги формата А4 (для построения графика); салфетки для поддержания чистоты на рабочем месте.

Внимание! Будьте крайне осторожны при работе с иглами. Они острые и вы можете себя травмировать!

После окончания работы помещайте иглу в защитный футляр!

7.1. Возможное решение (из 20 баллов). Наберем в шприц воды. Наденем на его наконечник одну из игл. Расположим иглу вертикально над стаканом. Начнем медленно нажимать на шток поршня, подсчитывая число капель, соответствующее освободившемуся объему шприца, например, 1 мл. По результатам этих измерений определим массу одной капли.

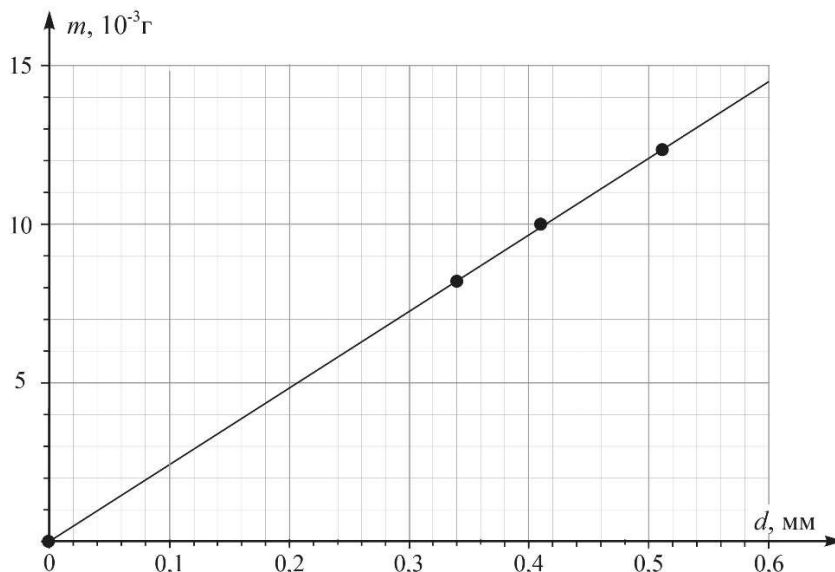
Измерения для каждой иглы следует провести многократно и результаты усреднить. Если в какой-то момент времени давление на поршень превысит необходимое, то вместо капель из иглы выльется струйка жидкости. В этом случае измерение придется начать сначала. Зная объем вытекшей воды и её плотность, найдём массу соответствующего числа капель, а по этим данным определим среднюю массу капли для иглы данного диаметра.

Результаты авторских измерений представлены в табл. 1.

1.

№	d , мм	Число капель n	Масса M каплеь, г	m средняя, 10^{-2} г
1	0,00	0	0	0,00
2	0,34	122	1,00	0,82
3	0,41	100	1,00	1,00
4	0,51	82	1,00	1,22

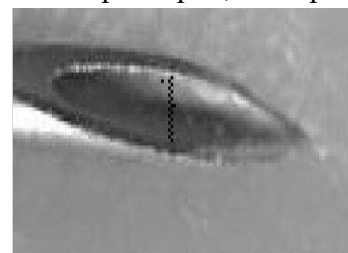
2. Строим график зависимости $m(d)$.



3. Из графика находим $k = \frac{m}{d} = 2,4 \cdot 10^1 \frac{\text{г}}{\text{м}} = 2,4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{м}}$.

4. Для иглы с внутренним диаметром $d_x = 0,20$ мм масса капли $m_x = 4,8 \cdot 10^{-6}$ кг.

Примечание. Внутренний диаметр иглы может отличаться от тех размеров, которые должны соответствовать калибрам, указанным в таблице. Например, при непосредственном измерении внутреннего диаметра иглы методом сканирования с разрешением 1200 пикселей на дюйм и подсчёта пикселей (см. фото), мы получили, что калибру G23 соответствует внутренний диаметр иглы в 380 мкм (что больше 340 мкм, указанных в таблице). На фотографии чёрный квадратик соответствует 1 пикселю.



Олимпиада школьников по физике имени Дж. Кл. Максвелла.
Региональный этап. Экспериментальный тур. 24 января 2022 г.
7 класс

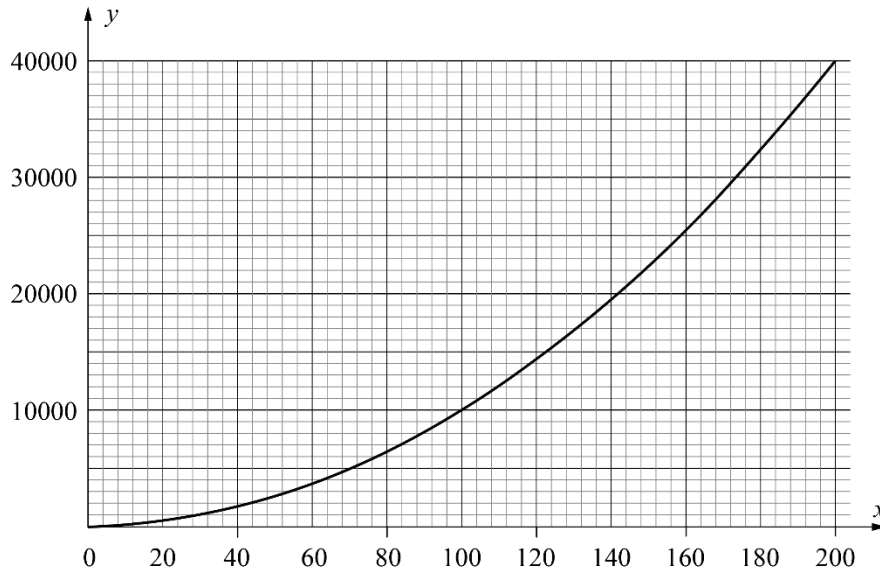
№	Э-7.1. Критерии оценивания (из 20 баллов)	Баллы
1	Идея определения массы капли через объем и плотность	2
2	Приведена таблица измерений. Объем V вытекшей из шприца воды не менее 1,0 мл (если объем V меньше 1,0 мл, но больше 0,5 мл, то ставим 3 балла; если объем менее 0,5 мл – то 1 балл.	6
3	Культура построения графика <ul style="list-style-type: none"> - подписаны оси и указаны единицы измерения 1 балл - равномерная и удобная шкала (1, 2, 5 мелких клеток между соседними оцифрованными штрихами) 1 балл - масштаб (график занимает более 60% поля листа) 1 балл - верно нанесено все точки 1 балл - проведена прямая линия 1 балл 	5
4	Из графика найден коэффициент k <ul style="list-style-type: none"> Попадание в диапазон $\pm 5\%$ 4 балла Попадание в диапазон $\pm 10\%$ 2 балла Попадание в диапазон $\pm 20\%$ 1 балл Указаны единицы измерения коэффициента k 1 балл 	5
5	Из графика найдена масса капли m_x	2

Задание 7.2. Параллелепипед (20 баллов). Определите плотность выданного вам деревянного бруска.

На большой грани бруска указан его номер. Перенесите этот номер в начало своего решения.

Выведите расчётную формулу для вычисления объема бруска. Обязательно описывайте введённые вами обозначения (например, длину, ширину и высоту бруска обозначим, как a , b и c соответственно).

Для упрощения расчетов, воспользуйтесь графиком зависимости $y = x^2$.



Приборы и оборудование. Деревянный брусок; 5 листов бумаги формата А4 с поверхностной плотностью $\sigma = 80 \text{ г/м}^2$; электронные весы (точность измерения 0,01 г); ножницы.

7.2. Возможное решение (из 20 баллов). Построим график зависимости

Приложим брусок к листу бумаги одной гранью, обведем его и повторим эту процедуру так, чтобы покрыть максимально возможную площадь листа прямоугольниками площадью ab (n прямоугольников размещаем плотно, без зазоров). Вырежем получившуюся фигуру и с помощью весов определим её массу: $M_{ab} = m_{ab} n$. По существу, мы используем метод рядов. Площадь одной грани $S_{ab} = ab$, а масса бумажного прямоугольника с площадью S_{ab} равна $m_{ab} = M_{ab}/n$. Они связаны соотношением $m_{ab} = \sigma S_{ab} = \sigma ab$.

Повторим те же измерения для двух других граней: ac и bc . Получим систему уравнений:

$$m_{ab} = \sigma S_{ab} = \sigma ab; \quad m_{ac} = \sigma S_{ac} = \sigma ac; \quad m_{bc} = \sigma S_{bc} = \sigma bc.$$

Перемножая эти три уравнения, получим: $m_{ab} m_{ac} m_{bc} = \sigma^3 (abc)^2 = \sigma^3 V^2$, где V – объем бруска. Можем рассчитать численное значение V^2 , а V определим с помощью графика $y = x^2$.

С помощью весов найдем массу m_0 бруска и, по известным массе и объему, рассчитываем его плотность $\rho = \frac{m_0}{V}$.

Олимпиада школьников по физике имени Дж. Кл. Максвелла.
Региональный этап. Экспериментальный тур. 24 января 2022 г.
7 класс

№	Э-7.2. Критерии оценивания (из 20 баллов)	Баллы
1	Результат взвешивания бруска (найдена масса m_0)	2
2	Установлено соответствие площади грани с массой бумажного шаблона.	2
3	Нахождение масс шаблонов граней: 3 балла за каждую грань с применением метода рядов; 1 балл при однократном измерении. Всего измеряем три грани, поэтому $3 \times 3 = 9$	9
4	Вывод формулы $m_{ab} m_{ac} m_{bc} = \sigma^3(abc)^2 = \sigma^3 V^2$ или аналогичной	3
5	Нахождение объема бруска <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Попадание в диапазон $\pm 10\%$ 2 балла </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Попадание в диапазон $\pm 20\%$ 1 балл </div>	2
6	Нахождение плотности бруска <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Попадание в диапазон $\pm 10\%$ 2 балла </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Попадание в диапазон $\pm 20\%$ 1 балл </div>	2

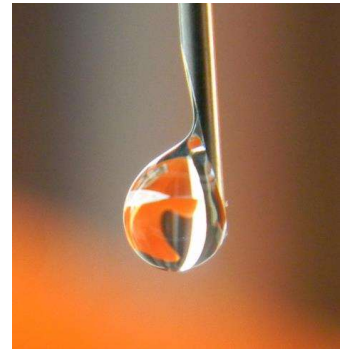
От ЦПМК:

Уточнение по экспериментальной задаче 7.2. При использовании миллиметровой бумаги, клетчатой бумаги, линейки или других прямых способов измерения размеров бруска (т.е. при решении другой задачи) оценивать только измерение массы бруска и все! И при использовании знания размеров бумаги А4 (210мм на 297 мм) и случайном попадании размеров бруска в кратные значения ставить по 1 баллу за измерение размера. Т.е при измерении таким методом всех трех размеров можно получить максимум 3 балла за пункты 2-4 критериев.

Размеры всех брусков: 7.5х3.9х4.9 см. Объем: 139.5 см³

№ Бруска	масса, г	№ Бруска	масса, г	№ Бруска	масса, г	№ Бруска	масса, г	№ Бруска	масса, г	№ Бруска	масса, г
1	77.52	51	78.03	101	65.66	151	62.47	201	79.20	251	67.68
2	70.52	52	71.37	102	70.91	152	68.33	202	79.02	252	84.04
3	76.89	53	61.08	103	68.43	153	70.41	203	72.10	253	72.66
4	73.55	54	61.38	104	75.15	154	80.76	204	70.75	254	60.73
5	82.23	55	63.10	105	67.57	155	70.41	205	69.99	255	66.26
6	82.22	56	61.90	106	72.22	156	63.66	206	64.30	256	69.11
7	73.97	57	61.21	107	73.42	157	75.45	207	70.49	257	69.15
8	70.05	58	84.59	108	69.84	158	73.56	208	69.26	258	64.14
9	70.38	59	83.26	109	71.00	159	67.63	209	78.61	259	70.36
10	61.40	60	80.27	110	76.74	160	69.33	210	81.04	260	77.88
11	69.57	61	77.07	111	75.87	161	68.61	211	68.10	261	72.86
12	61.03	62	74.16	112	78.97	162	71.15	212	68.93	262	68.65
13	60.98	63	72.91	113	52.47	163	72.65	213	69.31	263	72.58
14	65.26	64	60.71	114	69.19	164	72.57	214	69.59	264	62.22
15	65.41	65	67.73	115	64.81	165	95.34	215	73.24	265	62.60
16	77.37	66	85.54	116	64.76	166	58.98	216	69.56	266	74.59
17	70.75	67	65.46	117	72.94	167	71.15	217	71.80	267	66.35
18	73.52	68	70.43	118	74.78	168	73.78	218	73.14	268	72.61
19	73.29	69	64.00	119	73.05	169	75.42	219	71.77	269	68.51
20	71.90	70	65.48	120	68.71	170	82.82	220	88.66	270	80.80
21	60.50	71	64.39	121	56.28	171	68.11	221	92.28	271	71.47
22	61.11	72	75.93	122	61.82	172	62.38	222	69.66	272	74.98
23	67.35	73	66.31	123	65.97	173	61.98	223	60.90	273	63.25
24	71.28	74	64.92	124	62.22	174	58.65	224	58.57	274	72.61
25	66.87	75	74.96	125	73.69	175	67.68	225	66.13	275	74.22
26	71.64	76	65.54	126	76.30	176	66.99	226	66.30	276	63.12
27	71.54	77	86.54	127	74.74	177	64.21	227	74.87	277	63.48
28	60.77	78	80.65	128	74.53	178	68.16	228	69.75	278	72.41
29	69.73	79	65.54	129	77.01	179	74.54	229	73.25	279	69.43
30	71.95	80	85.23	130	77.58	180	78.51	230	60.61	280	84.90
31	57.78	81	65.28	131	83.00	181	70.73	231	66.43	281	84.11
32	71.69	82	67.70	132	73.27	182	77.23	232	53.64	282	75.50
33	80.76	83	65.62	133	73.14	183	59.95	233	61.67	283	75.06
34	71.30	84	67.46	134	67.45	184	68.43	234	63.25	284	69.23
35	58.06	85	67.61	135	71.00	185	66.23	235	74.43	285	60.94
36	68.74	86	62.85	136	61.45	186	71.02	236	65.54	286	61.51
37	62.97	87	62.58	137	67.31	187	70.71	237	64.93	287	59.81
38	63.13	88	65.83	138	69.29	188	61.38	238	76.20	288	72.40
39	63.64	89	71.59	139	66.72	189	59.68	239	77.94	289	65.49
40	66.47	90	67.17	140	73.14	190	62.82	240	74.67	290	76.17
41	69.80	91	67.13	141	64.48	191	73.23	241	63.77	291	74.82
42	67.65	92	73.23	142	67.10	192	76.43	242	78.51	292	67.90
43	66.86	93	72.97	143	67.13	193	62.14	243	58.80	293	74.83
44	69.87	94	72.58	144	71.38	194	61.31	244	58.74	294	73.54
45	63.38	95	66.90	145	72.26	195	65.94	245	68.64		
46	67.12	96	64.90	146	63.63	196	66.43	246	64.14		
47	76.30	97	83.00	147	67.59	197	66.22	247	63.99		
48	61.33	98	74.74	148	67.36	198	70.72	248	79.59		
49	67.63	99	66.21	149	71.92	199	76.37	249	69.76		
50	57.37	100	64.07	150	71.84	200	74.87	250	83.44		

Задание 8.1. Иглокальвание (из 20 баллов). При медленном движении поршня шприца масса m капельки жидкости, отрывающейся от кончика иглы (при вертикальном положении шприца (см. рис.)), прямо пропорциональна внутреннему диаметру иглы d ($m = kd$). Коэффициент пропорциональности k зависит от типа жидкости. (Для замедления скорости вытекания капль необходимо все измерения проводить со шприцом, в который вставлен поршень). Легкое нажатие на поршень позволяет реализовать контролируемый режим поштучного вытекания капль.



Задание. В вашем распоряжении имеется три иглы с внутренними диаметрами

Калибр	Внутренний диаметр, мм	Цвет канюли
G21	0,51	Зелёный
G22	0,41	Темно-серый
G23	0,34	Голубой

Различить иглы можно по цвету наконечника или их внешним диаметрам. Иглы на шприце можно менять.

1. Исследуйте зависимость массы m капли воды от диаметра иглы d . Опишите метод определения массы капли.
2. Постройте график полученной зависимости. Имейте в виду, что точка $d = 0, m = 0$ тоже принадлежит вашему графику.
3. С помощью графика определите значение k .
4. Определите массу m_x капли, которая отрывалась бы от иглы с внутренним диаметром $d_x = 0,20$ мм.

Приборы и оборудование. Шприц 5 мл; три иглы в защитных футлярах; стакан с водой (плотность воды $\rho = 1,00 \cdot 10^3$ кг/м³); 1 лист миллиметровой бумаги формата А4 (для построения графика); салфетки для поддержания чистоты на рабочем месте.

Внимание! Будьте крайне осторожны при работе с иглами. Они острые и вы можете себя травмировать!

После окончания работы помещайте иглу в защитный футляр!

8.1. Возможное решение (из 20 баллов). Наберем в шприц воды. Наденем на его наконечник одну из игл. Расположим иглу вертикально над стаканом. Начнем медленно нажимать на шток поршня, подсчитывая число капель, соответствующее освободившемуся объему шприца, например, 1 мл. По результатам этих измерений определим массу одной капли.

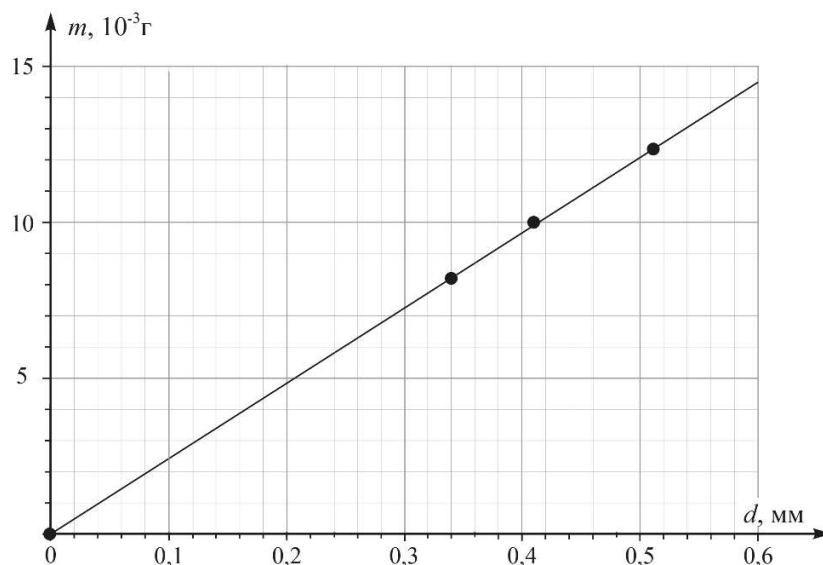
Измерения для каждой иглы следует провести многократно и результаты усреднить. Если в какой-то момент времени давление на поршень превысит необходимое, то вместо капель из иглы выльется струйка жидкости. В этом случае измерение придется начать сначала. Зная объем вытекшей воды и её плотность, найдём массу соответствующего числа капель, а по этим данным определим среднюю массу капли для иглы данного диаметра.

Результаты авторских измерений представлены в табл. 1.

1.

№	d , мм	Число капель n	Масса M капель, г	m средняя, 10^{-2} г
1	0,00	0	0	0,00
2	0,34	122	1,00	0,82
3	0,41	100	1,00	1,00
4	0,51	82	1,00	1,22

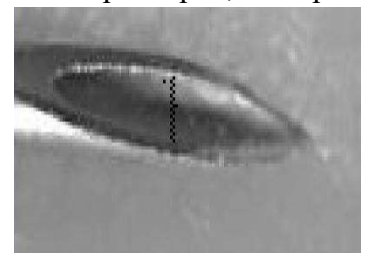
2. Строим график зависимость $m(d)$.



3. Из графика находим $k = \frac{m}{d} = 2,4 \cdot 10^1 \frac{\text{г}}{\text{м}} = 2,4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{м}}$.

4. Для иглы с внутренним диаметром $d_x = 0,20$ мм масса капли $m_x = 4,8 \cdot 10^{-6}$ кг.

Примечание. Внутренний диаметр иглы может отличаться от тех размеров, которые должны соответствовать калибрам, указанным в таблице. Например, при непосредственном измерении внутреннего диаметра иглы методом сканирования с разрешением 1200 пикселей на дюйм и подсчёта пикселей (см. фото), мы получили, что калибру G23 соответствует внутренний диаметр иглы в 380 мкм (что больше 340 мкм, указанных в таблице). На фотографии чёрный квадратик соответствует 1 пикселю.



Олимпиад школьников по физике имени Дж. Кл. Максвелла.
Региональный этап. Экспериментальный тур. 24 января 2022 г.
8 класс

№	Э-8.1. Критерии оценивания (из 20 баллов)	Баллы
1	Идея определения массы капли через объем и плотность	2
2	Приведена таблица измерений. Объем V вытекшей из шприца воды не менее 1,0 мл (если объем V меньше 1,0 мл, но больше 0,5 мл, то ставим 3 балла; если объем менее 0,5 мл – то 1 балл.	6
3	Культура построения графика <ul style="list-style-type: none"> - подписаны оси и указаны единицы измерения 1 балл - равномерная и удобная шкала (1, 2, 5 мелких клеток между соседними оцифрованными штрихами) 1 балл - масштаб (график занимает более 60% поля листа) 1 балл - верно нанесено все точки 1 балл - проведена прямая линия 1 балл 	5
4	Из графика найден коэффициент k <ul style="list-style-type: none"> Попадание в диапазон $\pm 5\%$ 4 балла Попадание в диапазон $\pm 10\%$ 2 балла Попадание в диапазон $\pm 20\%$ 1 балл Указаны единицы измерения коэффициента k 1 балл 	5
5	Из графика найдена масса капли m_x	2

Олимпиада школьников по физике имени Дж. Кл. Максвелла.
Региональный этап. Экспериментальный тур. 24 января 2022 г.
8 класс

Задание Э-8.2. Лови момент

Определите массу m и длину l однородного стержня, находящегося внутри трубки. Приведите вывод расчётных формул для определения m и l .

Приборы и оборудование: Весы электронные; линейка; трубка. Внутри трубки у её торца A , помеченного красной меткой (на фото метка слева), закреплён однородный пыж (длина и масса пыжа указываются дополнительно). Другой конец B трубки заделан изоляцией. В трубке также находится стержень длиной l и массой m , который может в ней свободно перемещаться.

Внимание! 1) Снимать изоляцию с торца трубки запрещено.

2) Спланируйте измерения так, чтобы минимизировать влияние неоднородности (изоляция на торце B) на результат вычисления m .



Олимпиада школьников по физике имени Дж. Кл. Максвелла.
Региональный этап. Экспериментальный тур. 24 января 2022 г.

8 класс

Возможные решения. У автора задания длина пыжа $z = 68$ мм, а масса $\mu = 2,1$ г.

1) Измерим длину трубки: $L = 400$ мм. Конец трубки A , которого касается пыж, положим на весы. Другой конец B положим на край линейки. К этому же концу сместим стержень. С помощью линейки приподнимем трубку так, чтобы она заняла почти горизонтальное положение, касаясь концом A площадки весов. При этом показание весов $m_1 = 20,5$ г. Затем сместим стержень так, чтобы он упёрся в пыж. Теперь показание весов $m_2 = 29,6$ г. Применим для этих случаев правило моментов (сократив обе части уравнений на g):

$$(1) \quad m_1 L = M \frac{L}{2} + m \frac{l}{2} + \mu \left(L - \frac{z}{2} \right);$$

$$(2) \quad m_2 L = M \frac{L}{2} + m \left(L - z - \frac{l}{2} \right) + \mu \left(L - \frac{z}{2} \right).$$

$$(3) \quad M = M_0 - m - \mu,$$

где $M_0 = (M + m + \mu) = 51,6$ г – масса трубки со стержнем и пыжом, определенная простым взвешиванием. Решая уравнения (1) – (3), получим:

$$(4) \quad m = \frac{L(M_0 + \mu - m_1 - m_2)}{z} - \mu = 19,1 \text{ г.}$$

$$(5) \quad l = \frac{2m_1 L - \mu(2L - z) - ML}{m} = \frac{(2m_1 - 2\mu - M)L + \mu z}{m} \approx 141 \text{ мм.}$$

Реальная масса стержня $m = 18,5$ г.

№	Э-8.2. Критерии оценивания (из 20 баллов)	Баллы
1	Измерена масса M_0 трубки с содержимым	1
2	Измерена длина L трубки	1
3	Измерена масса m_1 За однократное измерение	2 1 балл
4	Измерена масса m_2 За однократное измерение	2 1 балл
5	Уравнение (1)	2
6	Уравнение (2)	2
7	Уравнение (3) или найдена масса трубки	1
8	Из решения системы уравнений (1) – (3), получено уравнение (4)	2
9	Получен численный ответ с погрешностью не более 10%	2
10	Получен численный ответ с погрешностью не более 25% ставим 1 балл	
11	Получена формула (5) или аналогичная	3
12	Получен численный ответ с погрешностью не более 10%	2
13	Получен численный ответ с погрешностью не более 25% ставим 1 балл	

Альтернативный метод измерения:

Измерим суммарную массу трубки:

$$M_0 = M + m + \mu$$

Переместим стержень внутри трубки к концу с пыжом. Уравновесим стержень на краю стола. Запишем расстояние между краем трубки с пыжом и точкой равновесия в этом случае:

$$x_1 = \frac{M \frac{L}{2} + \mu \frac{z}{2} + m(z + \frac{l}{2})}{M_0}$$

Переместим стержень к противоположному концу и вновь уравновесим его. Запишем расстояние между краем трубки с пыжом и точкой равновесия в этом случае:

$$x_2 = \frac{M \frac{L}{2} + \mu \frac{z}{2} + m(L - \frac{l}{2})}{M_0}$$

Из записанных уравнений получим массу стержня:

$$m = \frac{M_0(x_1 + x_2 - L)}{z} + \mu \left(\frac{L}{z} - 1 \right)$$

Далее рассчитаем длину стержня:

$$l = L - z - \frac{M_0}{m}(x_2 - x_1)$$

№	Э-8.2. Критерии оценивания (из 20 баллов)	Баллы
1	Измерена масса M_0 трубки с содержимым	1
2	Измерена длина L трубки	1
3	Измерено положение центра масс при положении стержня рядом с пыжом x_1 За однократное измерение 1 балл	2
4	Измерено положение центра масс при положении стержня рядом у конца трубки без пыжа x_2 За однократное измерение 1 балл	2
5	Уравнение, верно описывающее координату x_1	2
6	Уравнение, верно описывающее координату x_2	2
7	Записано уравнение связи для массы трубки, массы пыжа и массы стержня.	1
8	Из решения системы, получено выражение для массы стержня	2
9	Получен численный ответ с погрешностью не более 10%	2
10	Получен численный ответ с погрешностью не более 25% ставим 1 балл	
11	Получена выражение для длины стержня	3
12	Получен численный ответ с погрешностью не более 10%	2
13	Получен численный ответ с погрешностью не более 25% ставим 1 балл	

Примечание:

Трубки в Москве были двух типов. Те, что суммарно весили 57 г, имели внутри стержень массой 22 г. Вторые суммарно весили около 53 г и имели внутри стержень массой 18 г.

Длина всех стержней были одинаковыми, ее значение составляло 13 см.