

Условие

Задача 10-2 Медицинские весы.

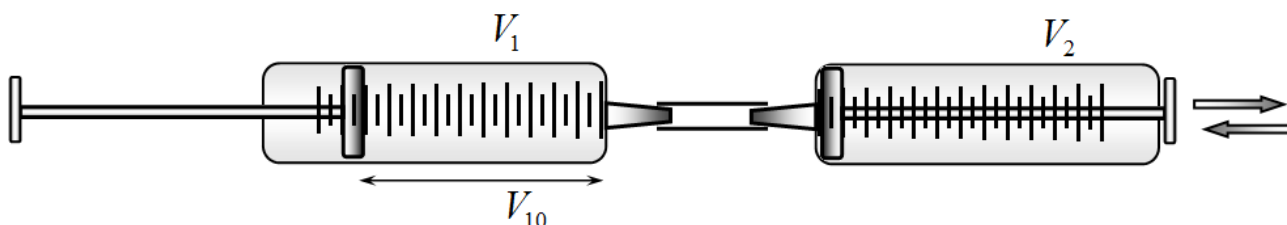
Погрешности в данной работе рассчитывать не следует за исключением последнего пункта!

Приборы и оборудование: два шприца объемом 10 мл, соединенные пластиковой трубкой; штатив с держателем, набор грузов 6х100 г; пластиковая бутылка с водой.

Часть 1. Делай раз, делай два...

Эта часть работы выполняется без штатива на столе и в руках! Перед каждой серией измерений сначала устанавливайте поршни в нужном начальном положении, а затем надевайте соединительную трубку!

1.1 Установите поршни в следующем начальном положении: в первом шприце (обратите внимание – шприцы пронумерованы!) установите начальный объем воздуха V_{10} ; во втором – поршень примыкает к стенке ($V_{20} = 0$). Медленно выдвигая поршень во втором шприце, измерьте зависимость объема воздуха в первом шприце от объема воздуха во втором $V_1(V_2)$. После того как Вы выдвинули поршень на всю шкалу, проведите измерения в обратном направлении, продолжая измерять зависимость $V_1(V_2)$.



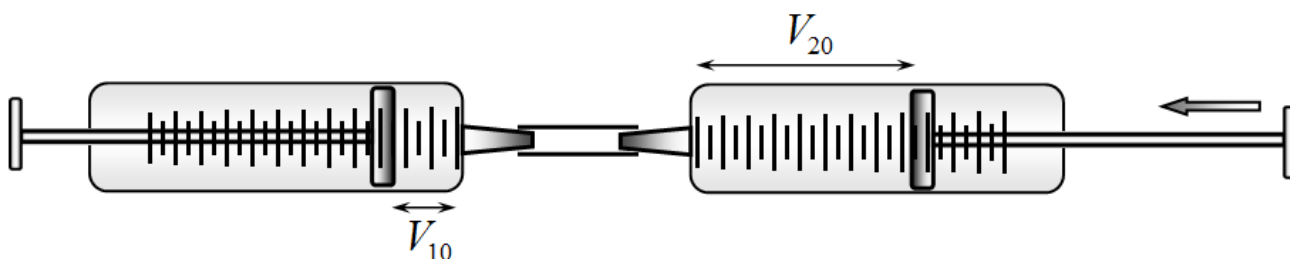
Поршень второго шприца все время должен двигаться в одном направлении!

Измерения проведите при двух значениях начального объема $V_{20} = 10$ мл и $V_{20} = 8,0$ мл. Постройте графики полученных зависимостей.

1.2 Постройте график зависимости смещения поршня в первом шприце от разности давления воздуха в шприцах и атмосферного давления. Приведите формулы, по которым вы рассчитываете указанную разность давлений. Постройте графики полученных зависимостей. Дайте им качественное объяснение.

1.3 Используя полученные в п. 1.2 графики найдите силу трения поршня о стенки шприца.

При проведении измерений в первой серии Вы убедились, что поршень в первом шприце начинает двигаться не сразу после смещения поршня во втором. Проведите следующую серию измерений. Начальный объем воздуха в первом шприце устанавливайте $V_{10} = 2,0$ мл. Начальный объем воздуха во втором шприце V_{20} изменяйте.



1.4 Медленно вдвигая поршень во втором шприце, определите объем воздуха во втором шприце V'_2 , при котором начинается движение поршня в первом шприце. Измерения проведите при различных значениях начального объема V_{20} . Постройте график зависимости V'_2 от V_{20} .

1.5 Постройте график зависимости объема V'_2 , при котором начинается движение поршня в первом шприце, от разности давления воздуха в шприцах и атмосферного давления. Определите с помощью этого графика силу трения поршня о стенки шприца.

1.6 Укажите возможные причины расхождений с результатом, полученным в п. 1.3.

Часть 2. Думай сам!

Используя предоставленное оборудование, сконструируйте и исследуйте весы, работающие на воздухе!

Подсказки. Используйте оба шприца, закрепляйте их в штативе вертикально, подумайте, как можно легко компенсировать большое трение поршней о стенки шприцов. Стержни поршня одного из шприцов проделаны два отверстия, в которые можно вставить зубочистку, чтобы зафиксировать положение поршня. Обязательно проведите градуировку ваших весов, используя предоставленный вам набор грузов. Приведите полученные градуировочные графики.

Измерьте с помощью созданных вами весов массу выданной бутылки с водой (объем воды фиксирован, не изменяйте его!). Оцените погрешность ваших измерений этой массы.

Решение

Задача 10-2 Медицинские весы.

Часть 1. Делай раз, делай два...

1. Результаты требуемых измерений приведены в Таблице 1.

Таблица 1

Начальный объём 10мл							
Прямое направление				Обратное направление			
V_1 , мл	V_2 , мл	$\Delta p/p$	$\Delta x \cdot 10^2$, м	V_1 , мл	V_2 , мл	$\Delta p/p$	$\Delta x \cdot 10^2$, м
10,0	0,0	0,000	0,00	3,0	12,0	-0,313	3,57
10,0	0,5	-0,043	0,00	3,0	11,5	-0,290	3,57
10,0	1,0	-0,083	0,00	3,0	11,0	-0,267	3,57
10,0	1,5	-0,120	0,00	3,0	10,5	-0,241	3,57
10,0	2,0	-0,154	0,00	3,0	10,0	-0,214	3,57
10,0	2,5	-0,185	0,00	3,0	9,5	-0,185	3,57
10,0	3,0	-0,214	0,00	3,0	9,0	-0,154	3,57
10,0	3,5	-0,241	0,00	3,0	8,5	-0,120	3,57
10,0	4,0	-0,267	0,00	3,0	8,0	-0,083	3,57
10,0	4,5	-0,290	0,00	3,0	7,5	-0,043	3,57
10,0	5,0	-0,313	0,00	3,0	7,0	0,000	3,57
10,0	5,5	-0,333	0,00	3,0	6,5	0,048	3,57
9,5	6,0	-0,333	0,26	3,0	6,0	0,100	3,57
9,5	6,5	-0,353	0,26	3,0	5,5	0,158	3,57
9,5	7,0	-0,371	0,26	3,0	5,0	0,222	3,57
9,5	7,5	-0,389	0,26	3,0	4,5	0,294	3,57
9,5	8,0	-0,405	0,26	3,5	4,0	0,294	3,32
9,0	8,5	-0,405	0,51	4,0	3,5	0,294	3,06
6,5	9,0	-0,333	1,79	4,5	3,0	0,294	2,81
5,5	9,5	-0,313	2,30	5,0	2,5	0,294	2,55
5,5	10,0	-0,333	2,30	5,5	2,0	0,294	2,30
5,0	10,5	-0,333	2,55	6,0	1,5	0,294	2,04
4,5	11,0	-0,333	2,81	6,5	1,0	0,294	1,79
4,0	11,5	-0,333	3,06	7,0	0,5	0,294	1,53
3,0	12,0	-0,313	3,57	7,0	0,0	0,375	1,53

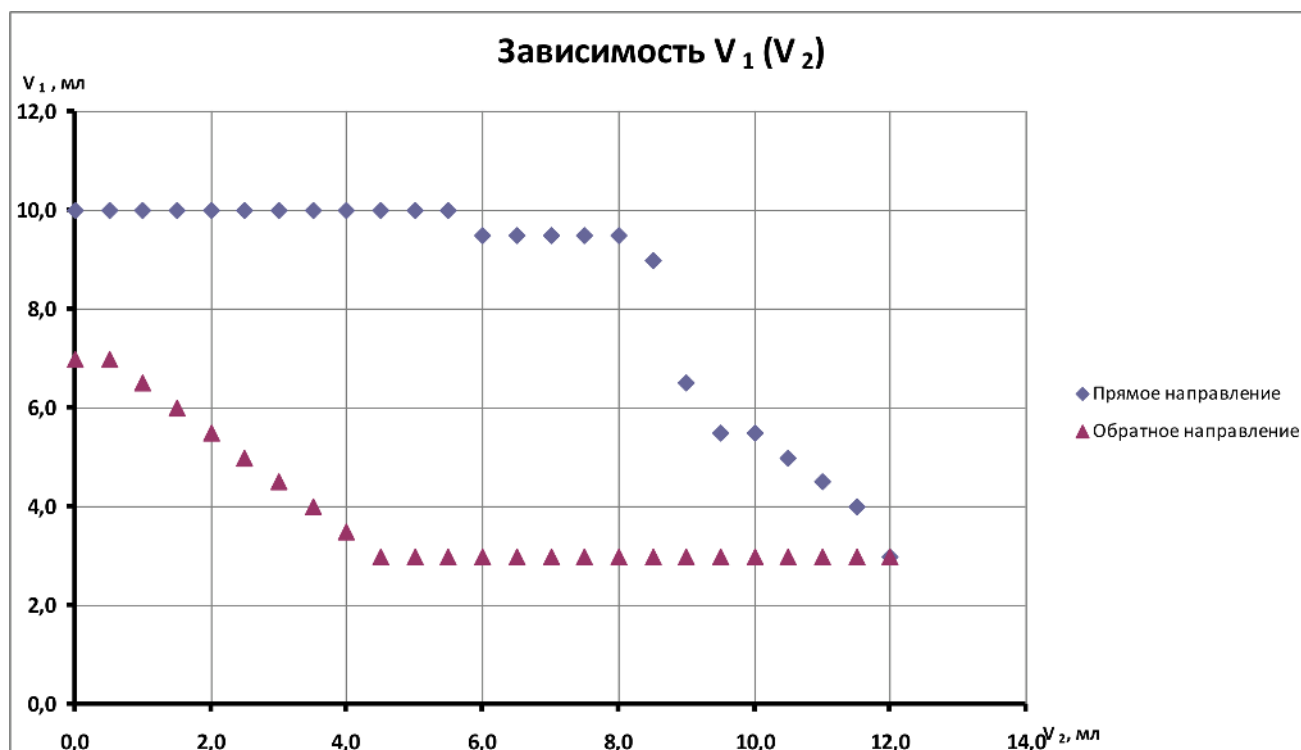
По этим данным не сложно рассчитать разность давлений атмосферного и внутри поршня по формуле

$$P - P_A = \frac{P_A(V_0 + V')}{V_1 + V} - P_A. \quad (1)$$

Здесь - V' - внутренний объём соединительной трубки, который примерно равен 1 мл.

В таблице показаны результаты проведенных расчетов в столбцах $\frac{\Delta P}{P_A}$.

На рисунке 1 показан график зависимости $V_2(V_1)$.



А теперь построим график зависимости смещения поршня в первом шприце от разности давлений, действующих на него (рис. 2)

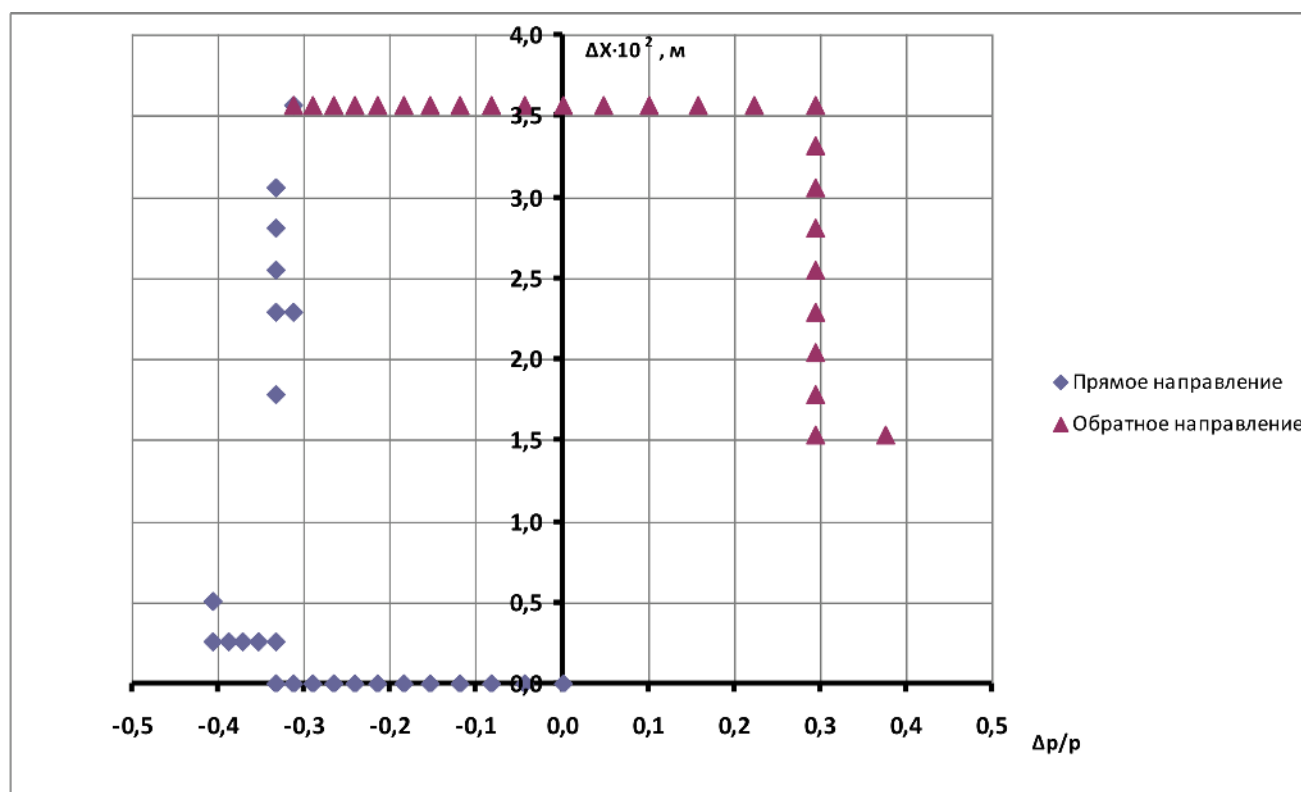


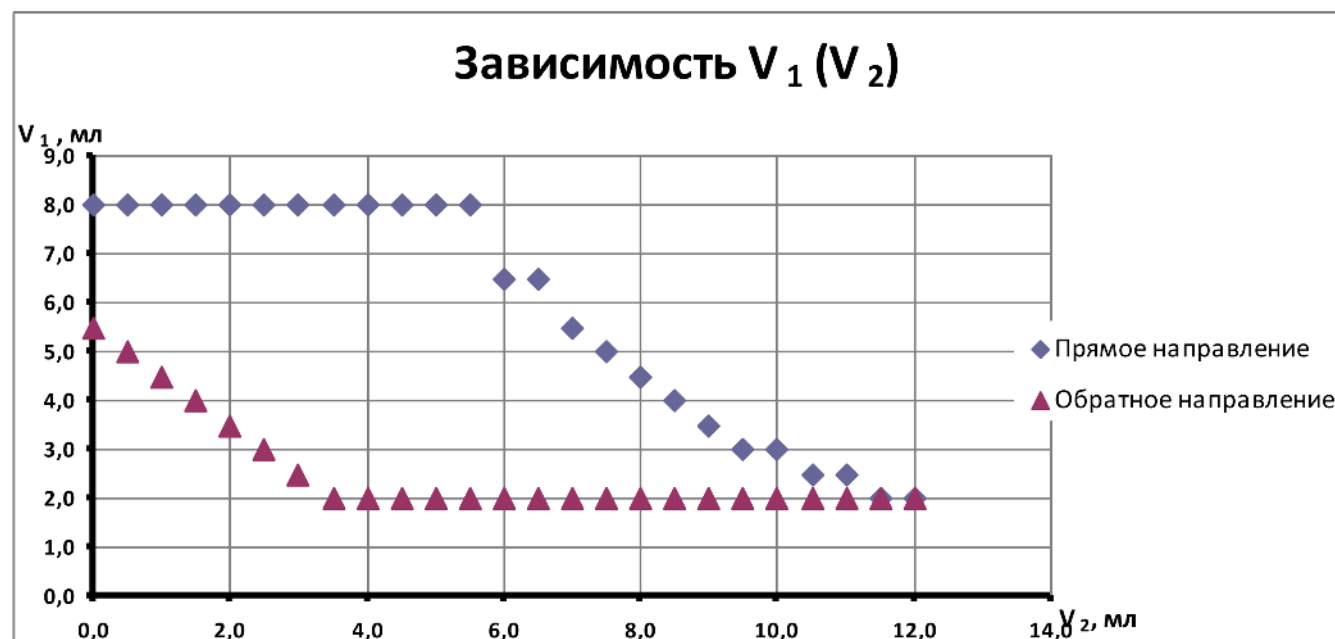
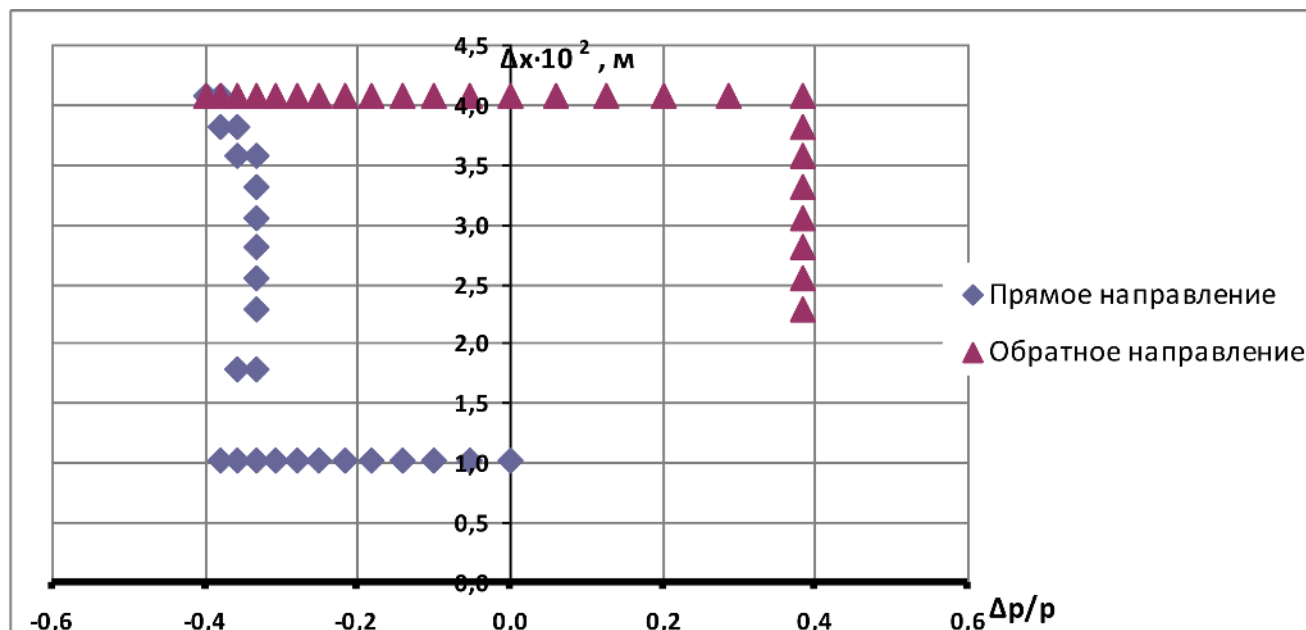
Рис. 2 На этом графике видно, смещения поршня происходят до тех пор, пока разность давлений превышает величину примерно равную $0,32P_A$. Измерив площадь поршня и атмосферное

давление можно найти силу трения, останавливающую поршень

$$F_{\text{тр}} = 0,32SP_A \approx 6,4\text{Н}. \quad (2)$$

Аналогичные результаты получаются и для начального объема 8,0 мл. Результаты этих измерений и их последующей обработки представлены в таблице 2 и на графиках 3,4.

Таблица 2.



Начальный объём 8мл							
Прямое направление				Обратное направление			
V_1 , мл	V_2 , мл	$\Delta p/p$	$\Delta x \cdot 10^2$, м	V_1 , мл	V_2 , мл	$\Delta p/p$	$\Delta x \cdot 10^2$, м
8,0	0,0	0,000	1,02	2,0	12,0	-0,400	4,08
8,0	0,5	-0,053	1,02	2,0	11,5	-0,379	4,08
8,0	1,0	-0,100	1,02	2,0	11,0	-0,357	4,08
8,0	1,5	-0,143	1,02	2,0	10,5	-0,333	4,08
8,0	2,0	-0,182	1,02	2,0	10,0	-0,308	4,08
8,0	2,5	-0,217	1,02	2,0	9,5	-0,280	4,08
8,0	3,0	-0,250	1,02	2,0	9,0	-0,250	4,08
8,0	3,5	-0,280	1,02	2,0	8,5	-0,217	4,08
8,0	4,0	-0,308	1,02	2,0	8,0	-0,182	4,08
8,0	4,5	-0,333	1,02	2,0	7,5	-0,143	4,08
8,0	5,0	-0,357	1,02	2,0	7,0	-0,100	4,08
8,0	5,5	-0,379	1,02	2,0	6,5	-0,053	4,08
6,5	6,0	-0,333	1,79	2,0	6,0	0,000	4,08
6,5	6,5	-0,357	1,79	2,0	5,5	0,059	4,08
5,5	7,0	-0,333	2,30	2,0	5,0	0,125	4,08
5,0	7,5	-0,333	2,55	2,0	4,5	0,200	4,08
4,5	8,0	-0,333	2,81	2,0	4,0	0,286	4,08
4,0	8,5	-0,333	3,06	2,0	3,5	0,385	4,08
3,5	9,0	-0,333	3,32	2,5	3,0	0,385	3,83
3,0	9,5	-0,333	3,57	3,0	2,5	0,385	3,57
3,0	10,0	-0,357	3,57	3,5	2,0	0,385	3,32
2,5	10,5	-0,357	3,83	4,0	1,5	0,385	3,06
2,5	11,0	-0,379	3,83	4,5	1,0	0,385	2,81
2,0	11,5	-0,379	4,08	5,0	0,5	0,385	2,55
2,0	12,0	-0,400	4,08	5,5	0,0	0,385	2,30

Рис. 4 В этом случае поршень останавливается при средней разности давлений примерно равной $0,36P_A$. Рассчитанное по этим данным значение силы трения равно 7,0 Н, что близко к полученному ранее значению.

1.6 Результаты измерений зависимости объема V_2 , при котором начинается смещение поршня, от начального объема V_{20} приведены в таблице 3. На графике приведен график полученной зависимости.

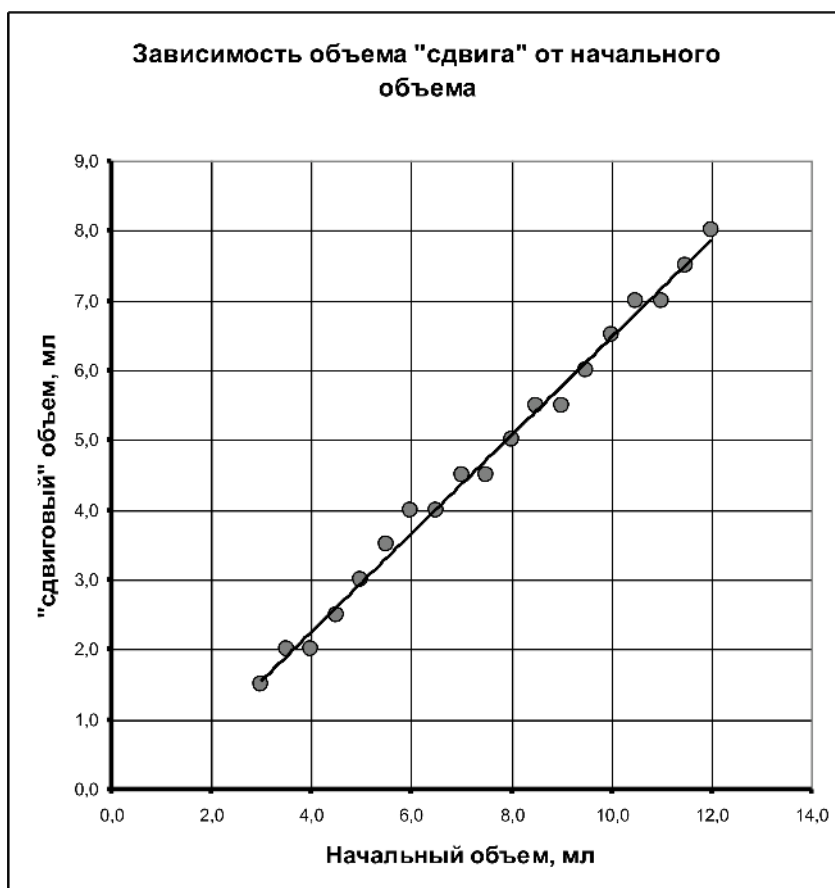
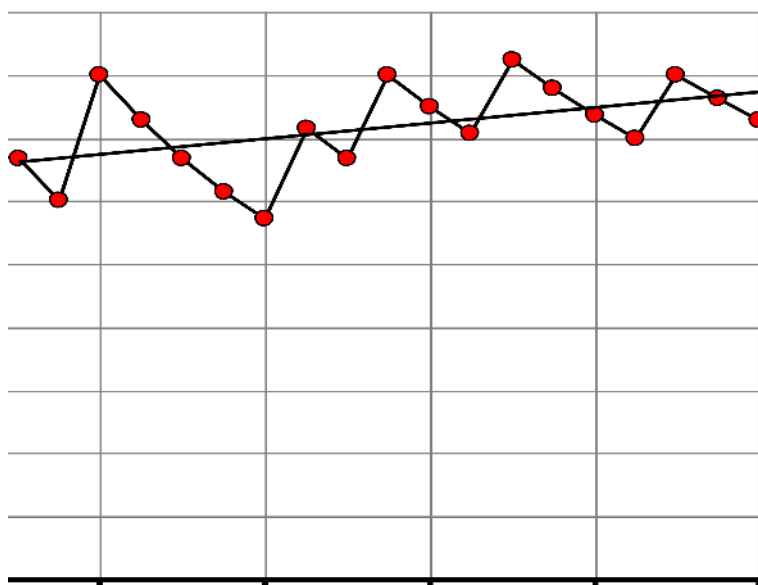


Таблица 3

V_{10} , мл	V_{20} , мл	V_2 , мл	$\Delta p/p$
2,0	12,0	8,0	0,364
2,0	11,5	7,5	0,381

2,0	11,0	7,0	0,400
2,0	10,5	7,0	0,350
2,0	10,0	6,5	0,368
2,0	9,5	6,0	0,389
2,0	9,0	5,5	0,412
2,0	8,5	5,5	0,353
2,0	8,0	5,0	0,375
2,0	7,5	4,5	0,400
2,0	7,0	4,5	0,333
2,0	6,5	4,0	0,357
2,0	6,0	4,0	0,286
2,0	5,5	3,5	0,308
2,0	5,0	3,0	0,333
2,0	4,5	2,5	0,364
2,0	4,0	2,0	0,400
2,0	3,5	2,0	0,300
2,0	3,0	1,5	0,333

«Извлечь» из данной зависимости силу трения можно различными способами. Например, построить зависимость разности давлений, при котором происходит смещение, от начального объема (рис. 5).



Как видно из графика рассчитанная разность давлений практически остается постоянной, со средним значением равным $0,36P_A$. Рассчитанное по этим данным значение силы трения равно 7,0 Н, что совпадает с полученным ранее значениям.

Часть 2.

Основная идея – компенсировать значительную силу трения избыточным начальным давлением!

Верхний шприц устанавливается в положении 10 мл, спичка просовывается в верхнее отверстие. Нижний шприц устанавливается на 2 мл. Шприцы соединяются трубкой.

После этого верхний шприц сжимается до упора в спичку. Измеряется V - показания нижнего шприца, и m - масса подвешенного груза.

Результаты измерений – в Таблице 4, градуировочный график, полученный усреднением по трем сериям измерений, приведен на рисунке. С его помощью можно проводить измерения масс грузов.

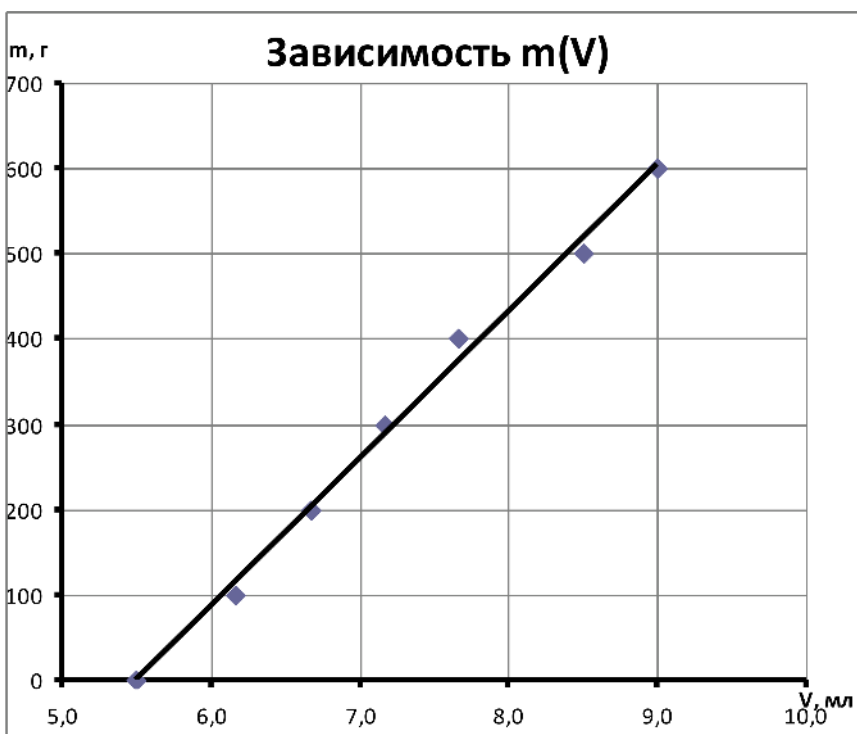


Таблица 4.

m, г	V, мл	V, мл	V, мл	$^{**}\langle V \rangle, \text{мл}^{**}$
0	5,5	5,5	5,5	5,5
100	6,0	6,5	6,0	6,2
200	6,5	7,0	6,5	6,7
300	7,0	7,5	7,0	7,2
400	7,5	8,0	7,5	7,7
500	8,5	8,5	8,5	8,5
600	9,0	9,0	9,0	9,0