

Санкт-Петербургский государственный университет

Кафедра вычислительной физики

В.В.Монахов, С.А.Курашова, А.В.Кожедуб, А.А.Королев, О.В.Огинец

**Разбор заданий интернет-олимпиады школьников по физике,
2017/2018 учебный год**

Учебно-методическое пособие

2-е издание, переработанное и дополненное

Санкт-Петербург

2020 г.

УДК 373.5:53.05

ББК 74.262.23

Рецензенты: доктор физ.-мат. наук, профессор С.Л.Яковлев,
канд. физ.-мат. наук, доцент В.И.Яковлева

Печатается по решению учебно-методической комиссии физического факультета
СПбГУ.

В.В.Монахов, С.А.Курашова, А.В.Кожедуб, А.А.Королев, О.В.Огинец.

Разбор заданий Интернет-олимпиады школьников по физике, 2017/2018 учебный год:
Учебно-методическое пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб: ЛЕМА, 2020. – 36 с.: ил.

Учебно-методическое пособие предназначено для учащихся средней школы из 7–11 классов. В нём разбирается решение задач и порядок выполнения виртуальных физических экспериментов, предлагавшихся ученикам 7–11 классов на заключительном (очном) туре олимпиады. 2017/2018 учебного года. Также может быть использовано учителями физики, студентами-физиками, изучающими предмет «Педагогика», и студентами педагогических вузов для подготовки школьников к олимпиадам по физике.

УДК 373.5:53.05

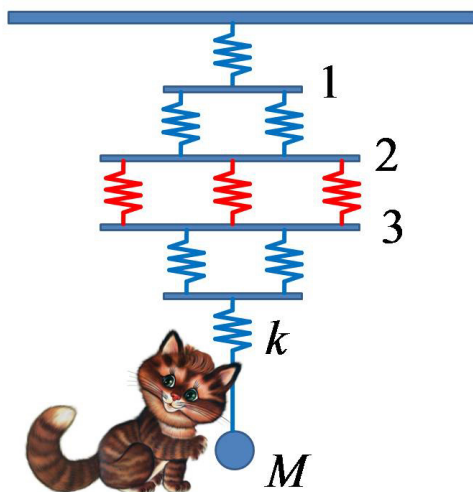
ББК 74.262.23

© В.В.Монахов, С.А.Курашова, А.В.Кожедуб, А.А.Королев, О.В.Огинец, 2020

Оглавление

7 класс. Задача: Игрушка для Барсика (20 баллов)	3
7 класс. Модель: Прямоугольный лист металла (15 баллов)	5
7 класс. Задача: Труба со ртутью (20 баллов)	17
11класс. Модель: Ареометр и жидкости (15 баллов)	19
11класс. Модель: Высокочастотный трансформатор (20 баллов)	27
11класс. Задача: Радуга на придуманной планете (20 баллов)	35

7 класс. Задача: Игрушка для Барсика (20 баллов)



Из девяти одинаковых пружин, жёсткостью $K=6.1$ Н/м и маленького мячика массой $M=41$ г хозяин сделал для Барсика игрушку. Массой соединительных планок можно пренебречь. Определите:

- 1) Деформацию X красных пружин в состоянии, когда шарик висит неподвижно.
- 2) Смещение B от положения равновесия планки 2 в тот момент, когда смещение мячика равно $A=6.5$ см.

3) Среднюю путевую скорость V (отношение пройденного пути к времени движения) планки 3, если мячик прошёл $S=13$ см за время $T=0.94$ с.

4) С какой точностью Y можно определить с помощью такой системы пружин массу грузика, если в распоряжении есть линейка с ценой деления 1 мм. В ответ Y вводите с точностью до сотых или выше, остальные значения с точностью до десятых или выше. Ускорение свободного падения $g=9.8$ м/с².

Введите ответ:

Деформация красных пружин $X =$ см

Смещение B планки 2 = см

Средняя путевая скорость V планки 3 = см/с

Точность определения массы $Y =$ г

Решение.

1. Три красные пружинки соединены параллельно. Их суммарная жёсткость равна $3K$. Под действием груза массой M красные пружинки деформируются на $X = \frac{M \cdot g}{3K} = 2.2$ см.

2. Вычислим суммарную жёсткость системы пружин K_{Σ} :

$$\frac{1}{K_{\Sigma}} = 2 \frac{1}{K} + 2 \frac{1}{2K} + \frac{1}{3K} = \frac{10}{3K}$$

В результате $K_{\Sigma} = \frac{3}{10} K = 0.3 \cdot 6.1 \text{ Н/м} = 1.83 \text{ Н/м}$. Поэтому если мячик смещён на расстояние A , на подвес действует сила $F = \frac{3}{10} KA$. Под действием этой силы вторая планка сместится на сумму деформаций верхней синей пружинки и двух синих пружин, расположенных под ней:

$$B = \frac{F}{K} + \frac{F}{2K} = \frac{3}{2K} \frac{3}{10} KA = \frac{9}{20} A = 2.9 \text{ см.}$$

3. Аналогично, получаем, что если мячик смещён на расстояние A , то третья планка смещена от положения равновесия на расстояние

$$C = \frac{F}{K} + \frac{F}{2K} + \frac{F}{3K} = \frac{11}{6K} \frac{3K}{10} A = \frac{11}{10} A.$$

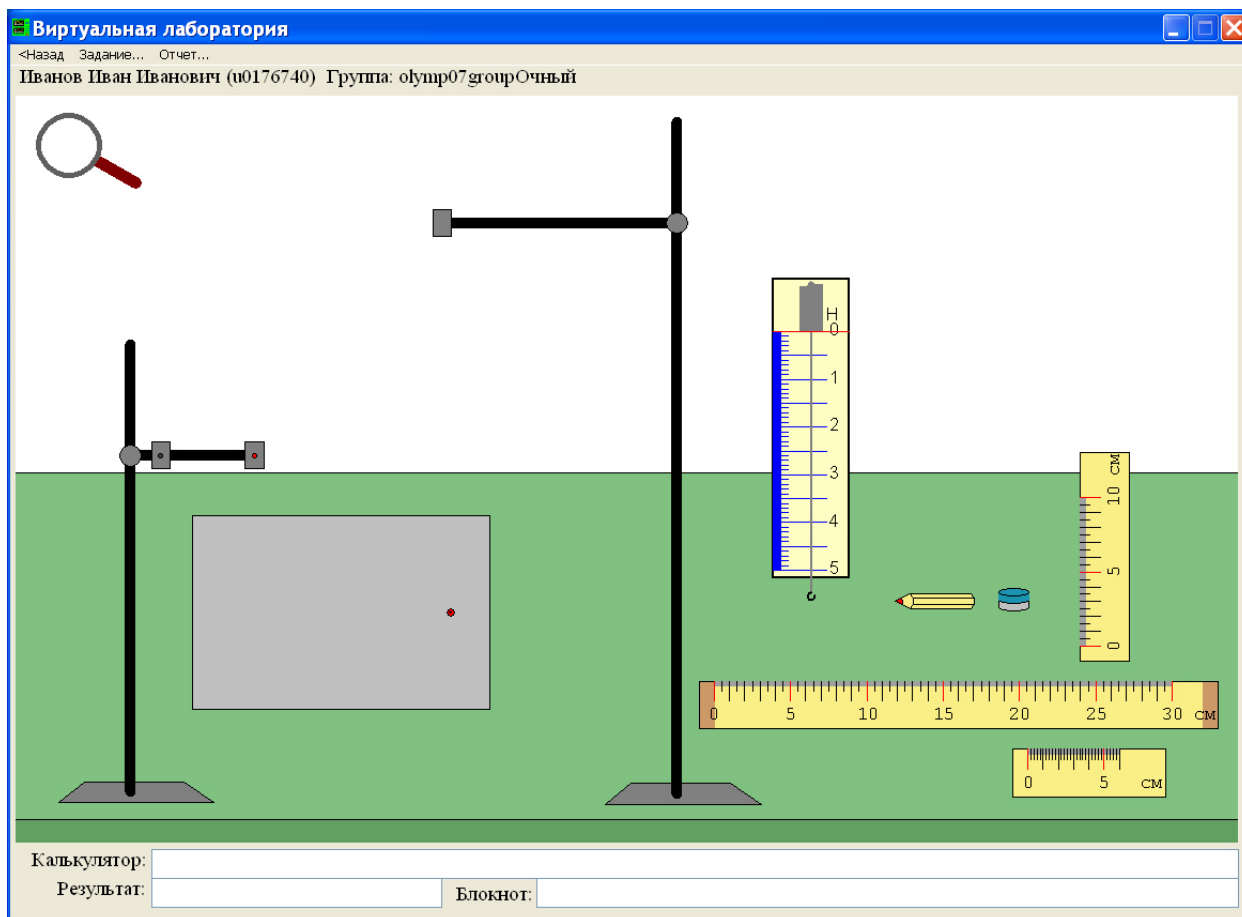
Тогда, если мячик прошёл путь S , третья планка прошла путь $S_3 = \frac{11}{10} S$. Поэтому средняя путевая скорость третьей планки

$$V = \frac{11 S}{10 T} = 7.6 \text{ см/с.}$$

4. Измерять деформацию системы пружин с помощью линейки мы можем с точностью до $\Delta x = 0.5 \text{ мм}$. Точность определения массы грузика

$$Y = \frac{K_{\Sigma}}{g} \Delta x = \frac{1.83}{9.8} 0.5 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 \text{ г} = 0.093 \text{ г.}$$

7 класс. Модель: Прямоугольный лист металла (15 баллов)



Имеется однородный плоский прямоугольный лист металла, который можно подвешивать на штатив и после этого цеплять динамометром за отмеченную на листе красным цветом точку (назовём её А). Определите с максимально возможной точностью:

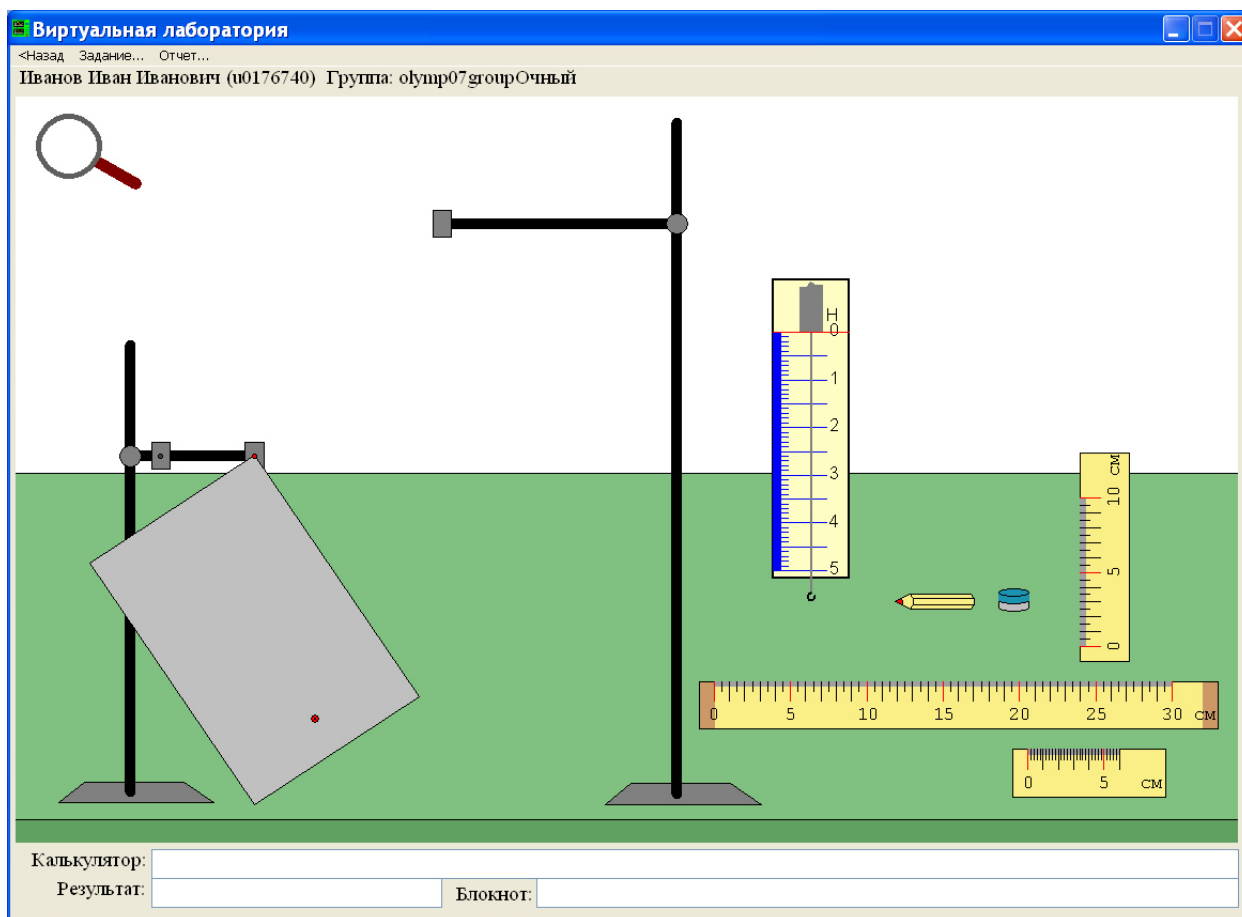
- показания динамометра P1 в случае, если лист подвесить на штатив за левый верхний угол, зацепить лист динамометром и поднять так, чтобы точка А находилась на той же высоте, что и этот угол (пружина динамометра при этом вертикальна);
- массу m листа;
- показания динамометра P2 в случае, если бы точка А находилась в центре масс листа, и были проведены измерения как в первой части задания.

Занесите результаты в отчёт и отошлите его на сервер.

Ускорение свободного падения считайте равным $g=9.8 \text{ м/с}^2$, шкалу динамометра — точной. Карандаш позволяет проводить линию на теле, к которому приложена линейка. Ластик при отпускании стирает проведённую линию, над которой его отпустили.

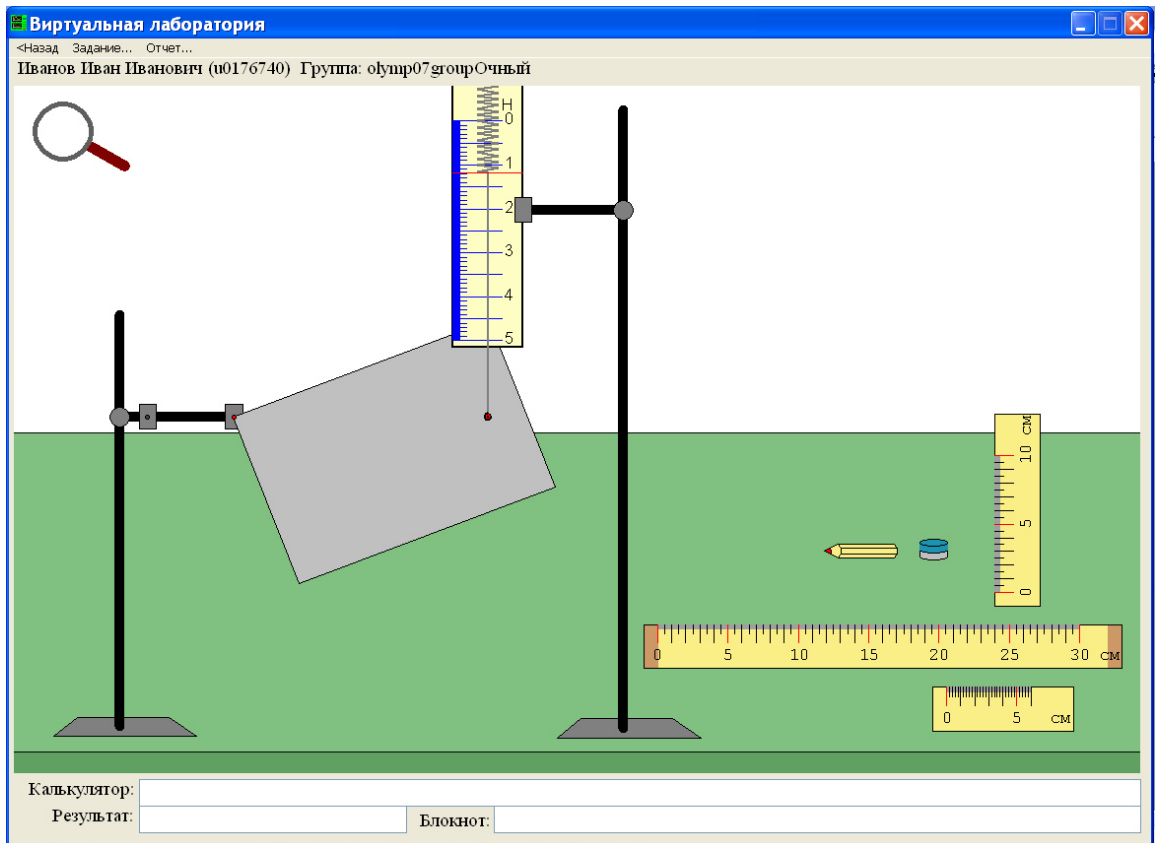
Решение.

1. Подвешиваем за левый верхний угол, как сказано в условии.



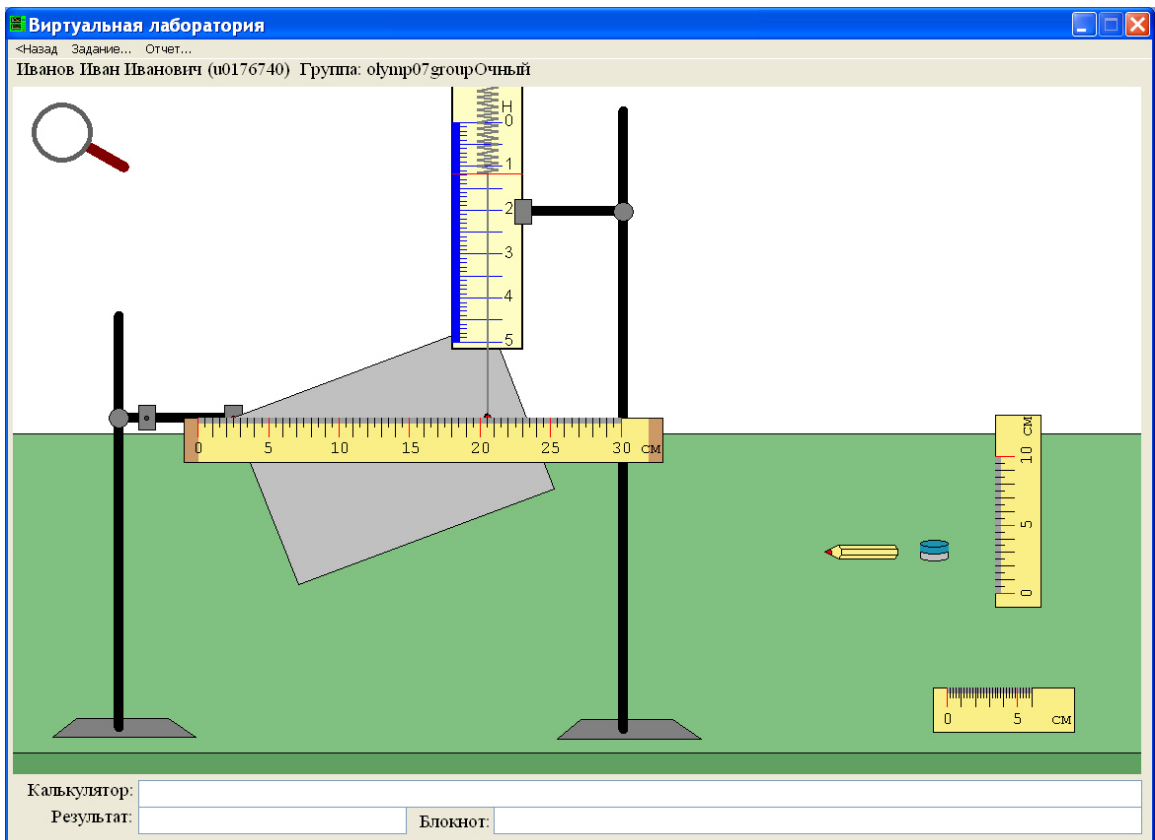
Как ни удивительно, именно это действие оказалось самым сложным для большинства участников как в 7 классе, так и в аналогичных (но отличающихся) заданиях в 8–11 классах. Участники подвешивали лист за совершенно другие точки, после чего у них возникали проблемы с тем, чтобы подцепить лист динамометром и закрепить динамометр на штативе.

2. Цепляем динамометром лист за красную точку, поднимаем его так, чтобы точка находилась примерно на уровне угла, за который подвешивали лист, и отпускаем динамометр. При этом лапка штатива автоматически сдвигается и захватывает динамометр.

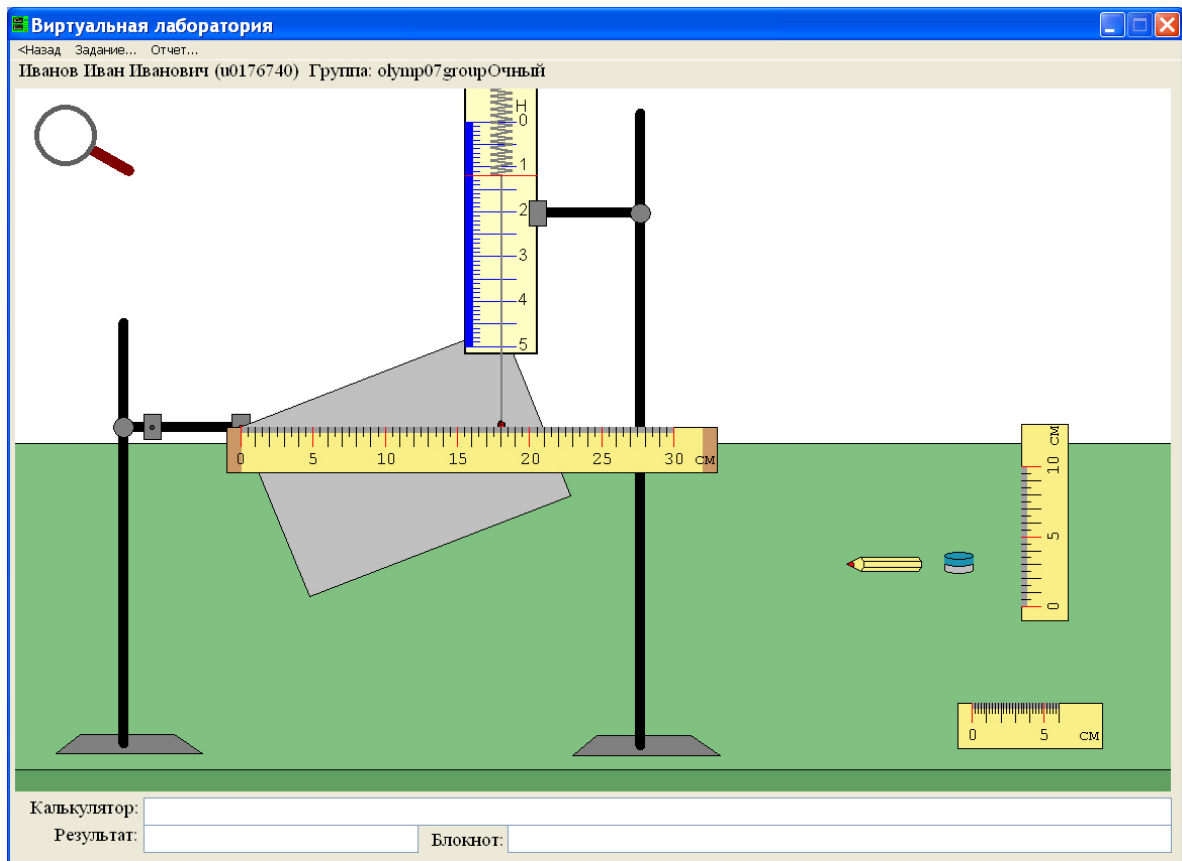
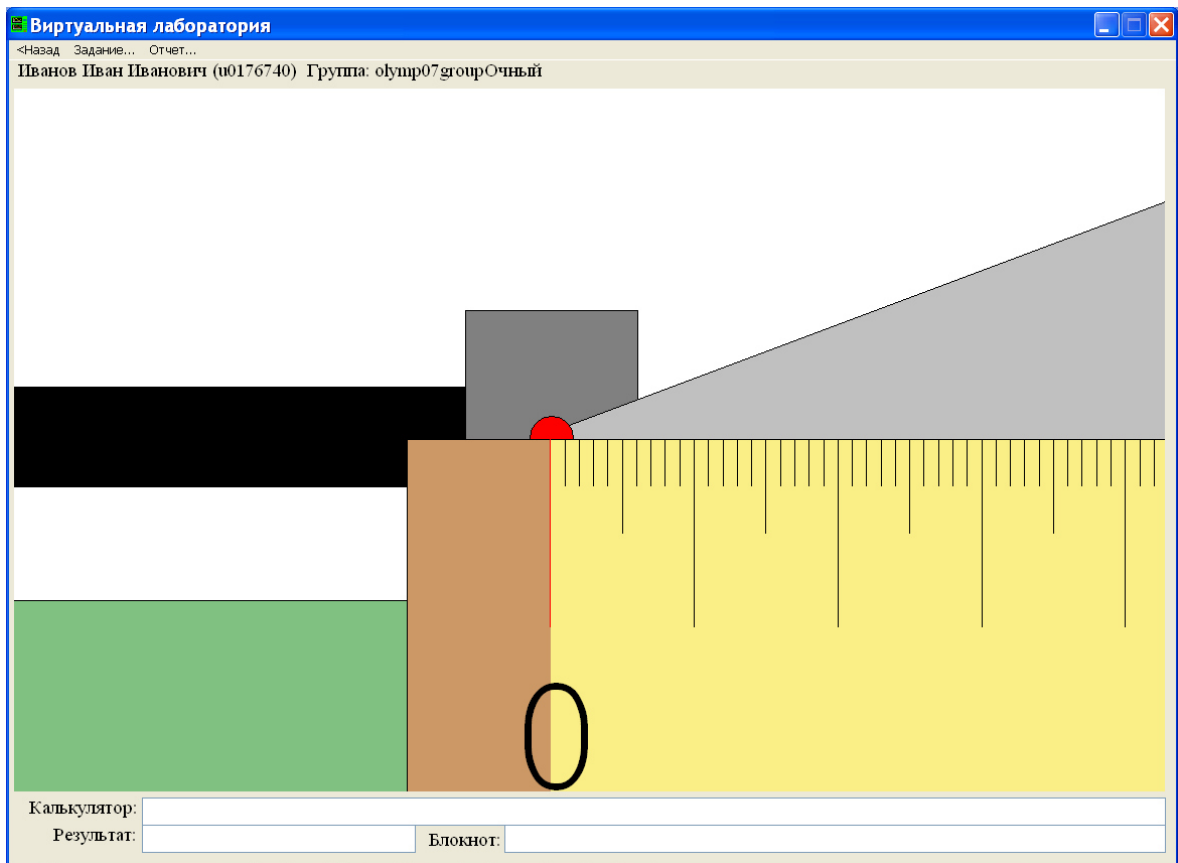


Захвата динамометра лапкой штатива при отпускании динамометра не происходит только в том случае, когда лист был подвешен совсем далеко от левого верхнего угла.

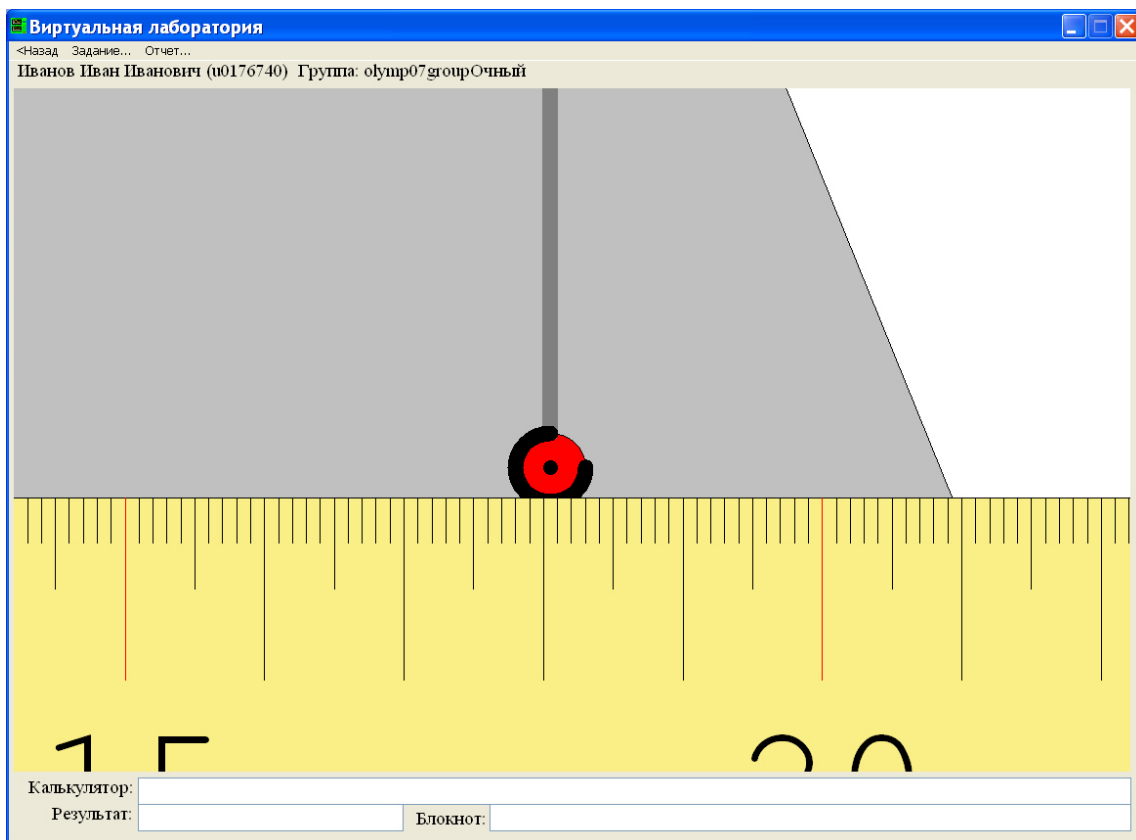
3. Прикладываем линейку.



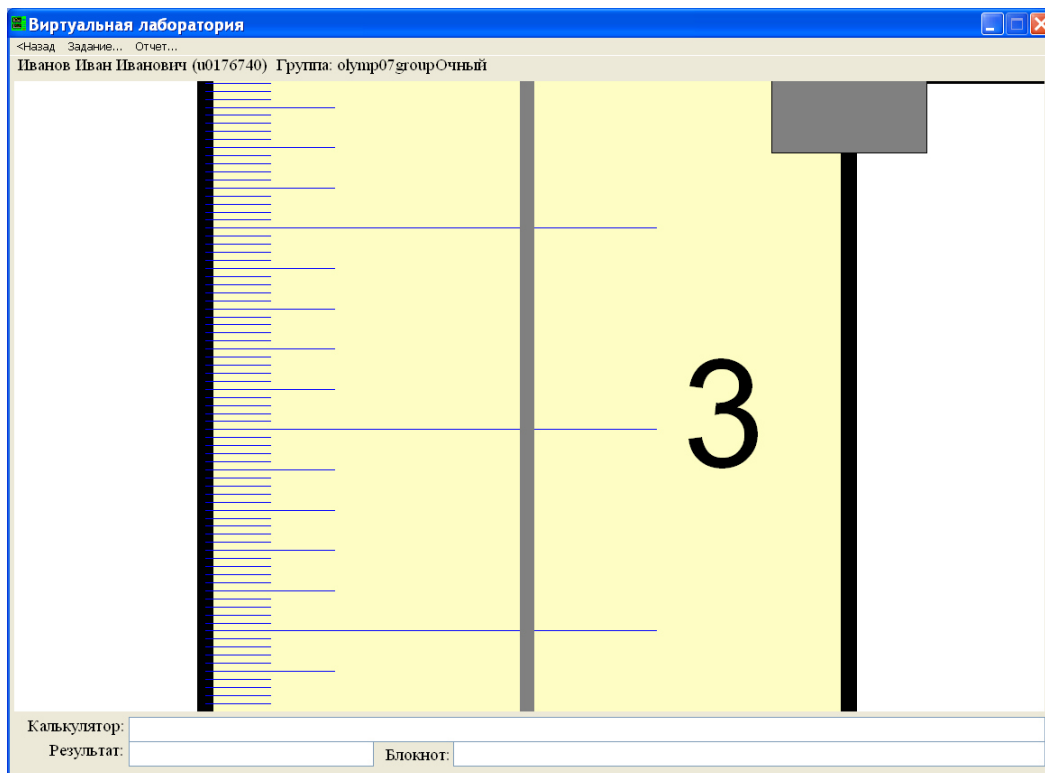
4. Под увеличительным стеклом перемещаем линейку к точке закрепления на левом штативе угла листа, сохраняя горизонтальность линейки.



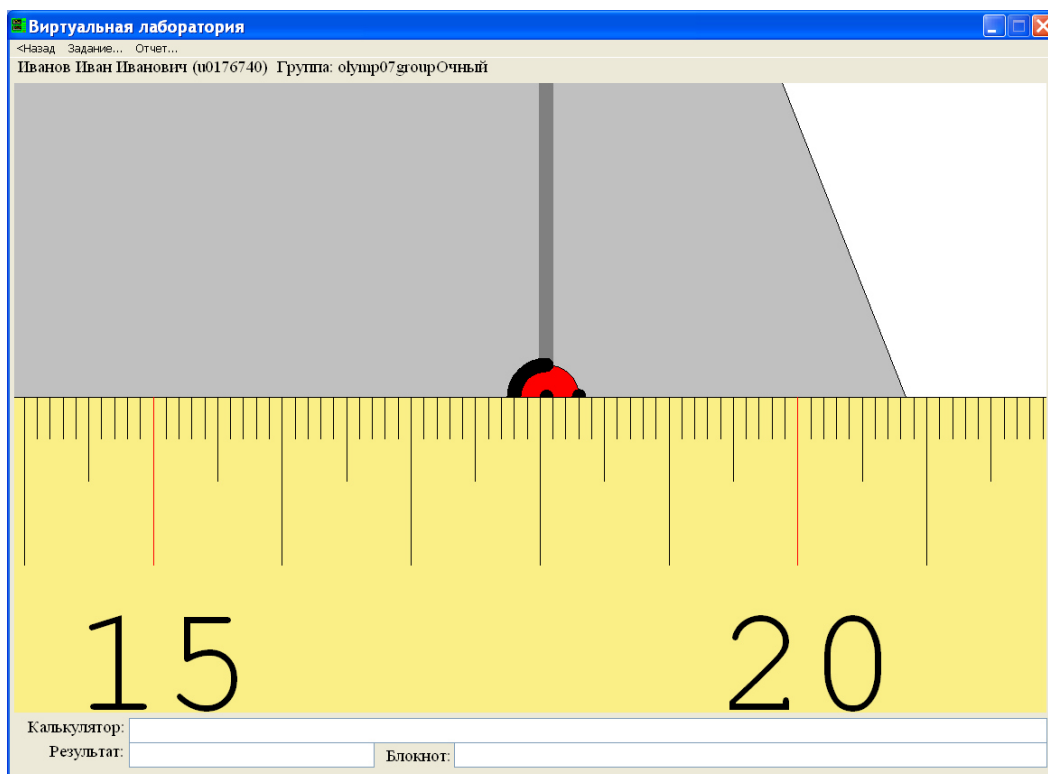
5. Под увеличительным стеклом смотрим, находится ли красная точка, за которую лист зацепили динамометром, на уровне линейки, то есть на уровне левого верхнего угла листа.



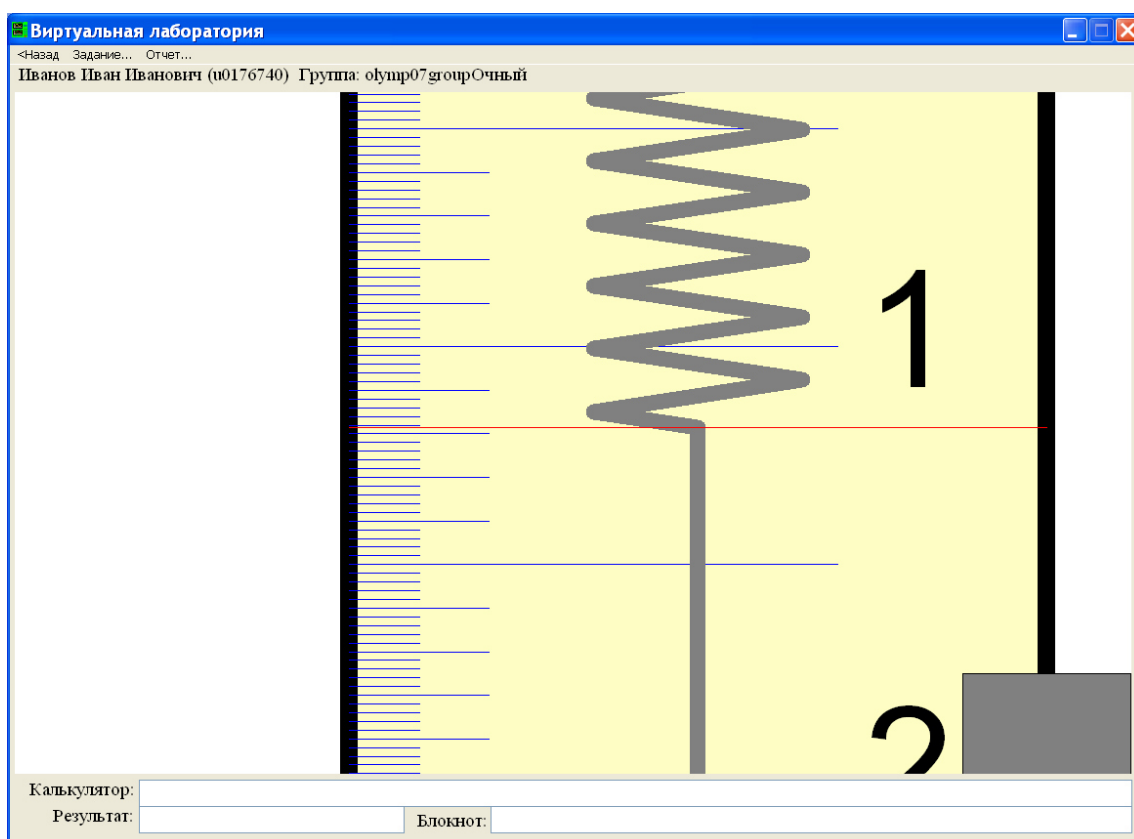
6. Под увеличительным стеклом немного смещаем динамометр в нужную сторону, в данном случае вниз.



7. И так повторяем до тех пор, пока не поместим центр красной точки на уровень линейки.

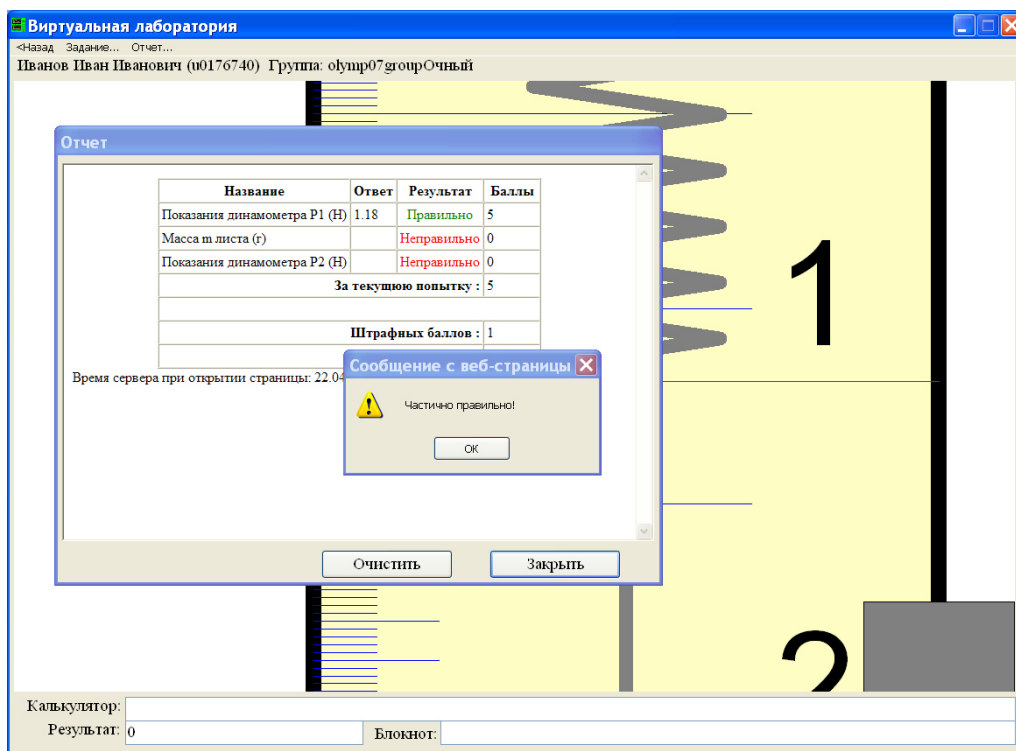


8. После чего смотрим показания динамометра.



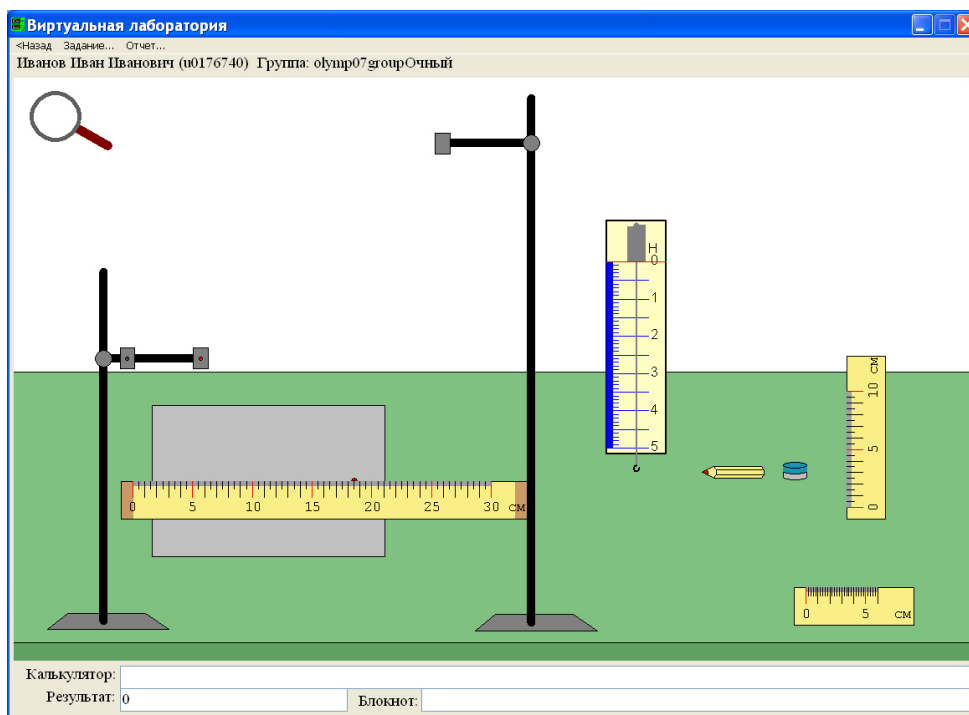
9. Находим цену делений шкалы динамометра. В одном Ньютоне 10 средних делений, поэтому цена среднего деления 0.1 Н. В одном среднем делении 5 малых делений, поэтому цена малого деления $0.1/5 \text{ Н} = 0.02 \text{ Н}$.

10. Получаем $P_1=1.18$ Н. Если вы не уверены, что проделали правильно все предыдущие действия, этот результат можно отослать на сервер, не выполняя вторую и третью части задания.

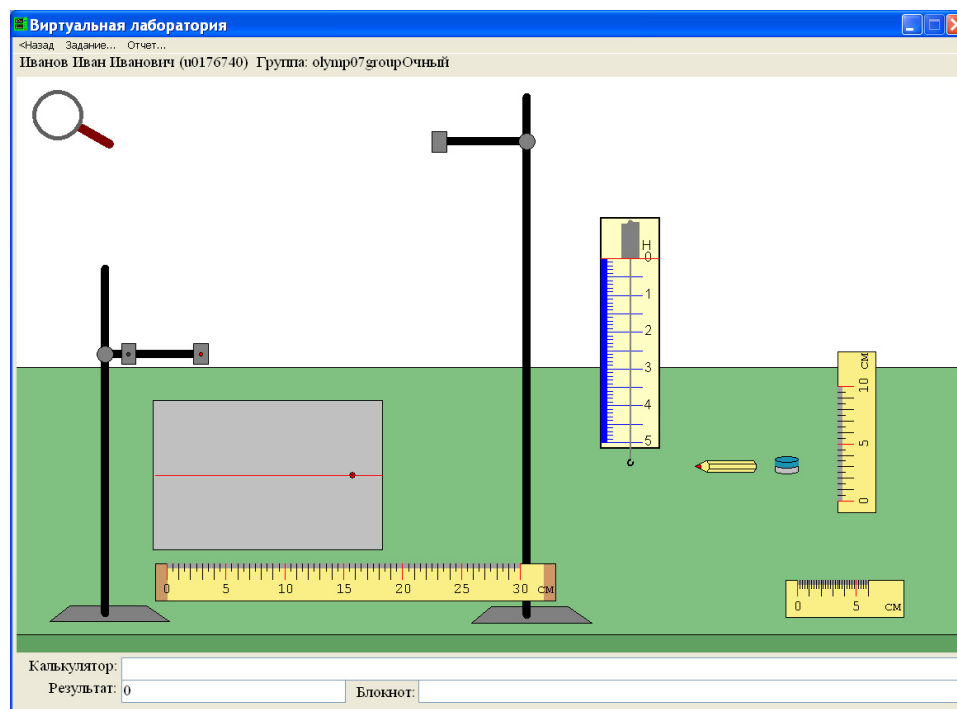


Однако в этом случае в дальнейшем при выполнении этих частей за них будут назначены штрафные баллы, так как они будут сделаны не с первой попытки.

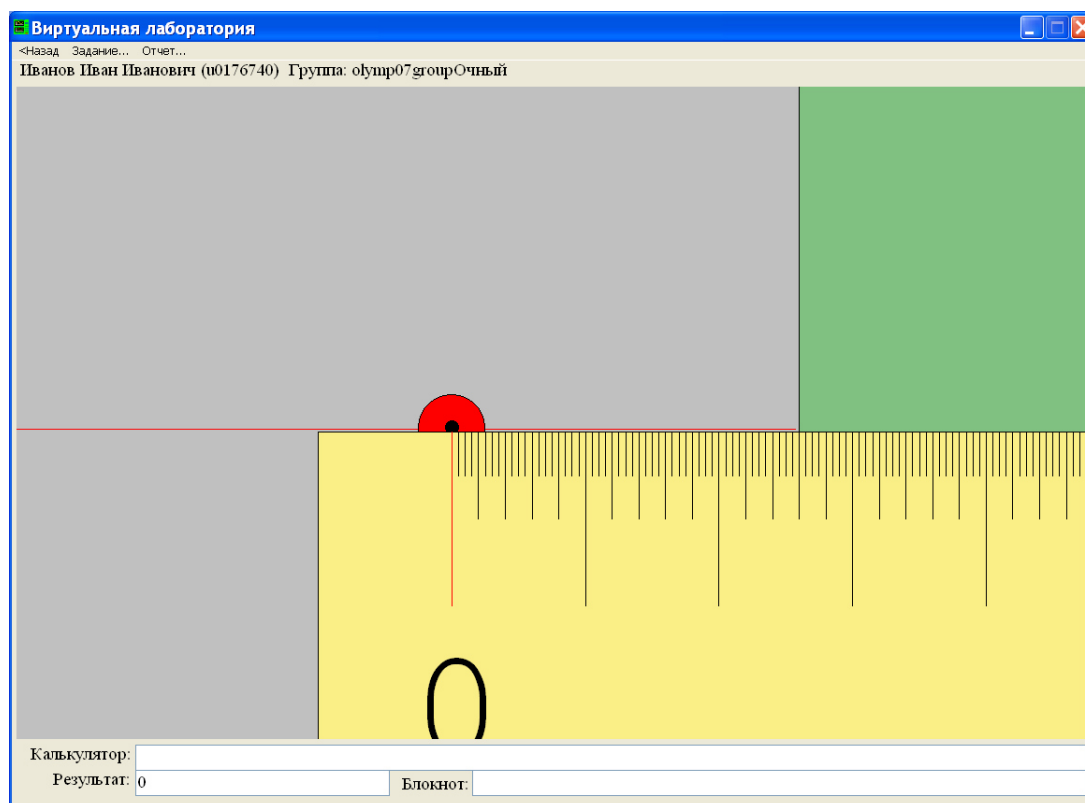
11. Самый простой способ найти массу листа — подвесить лист симметрично относительно его центра тяжести. При этом показания динамометра будут равны половине веса листа. Для этого сначала найдём точку, симметричную красной точке, за которую цепляем лист динамометром. Прикладываем линейку.



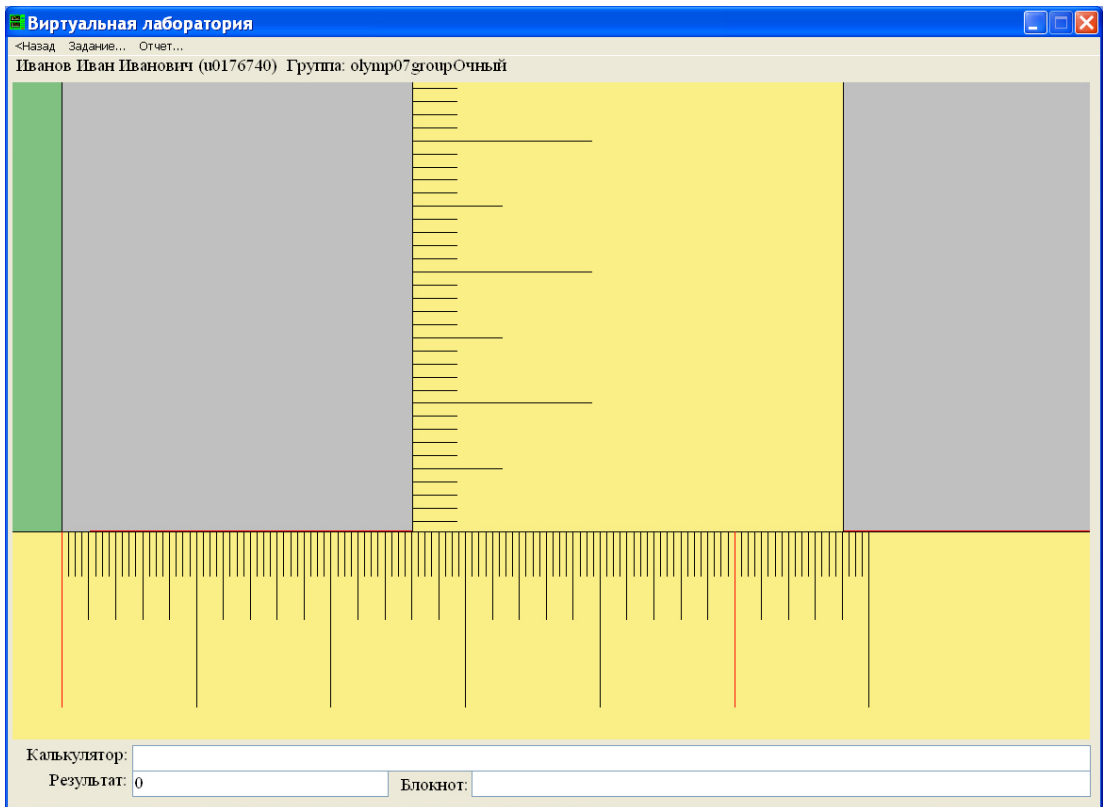
12. Проводим карандашом линию через красную точку.



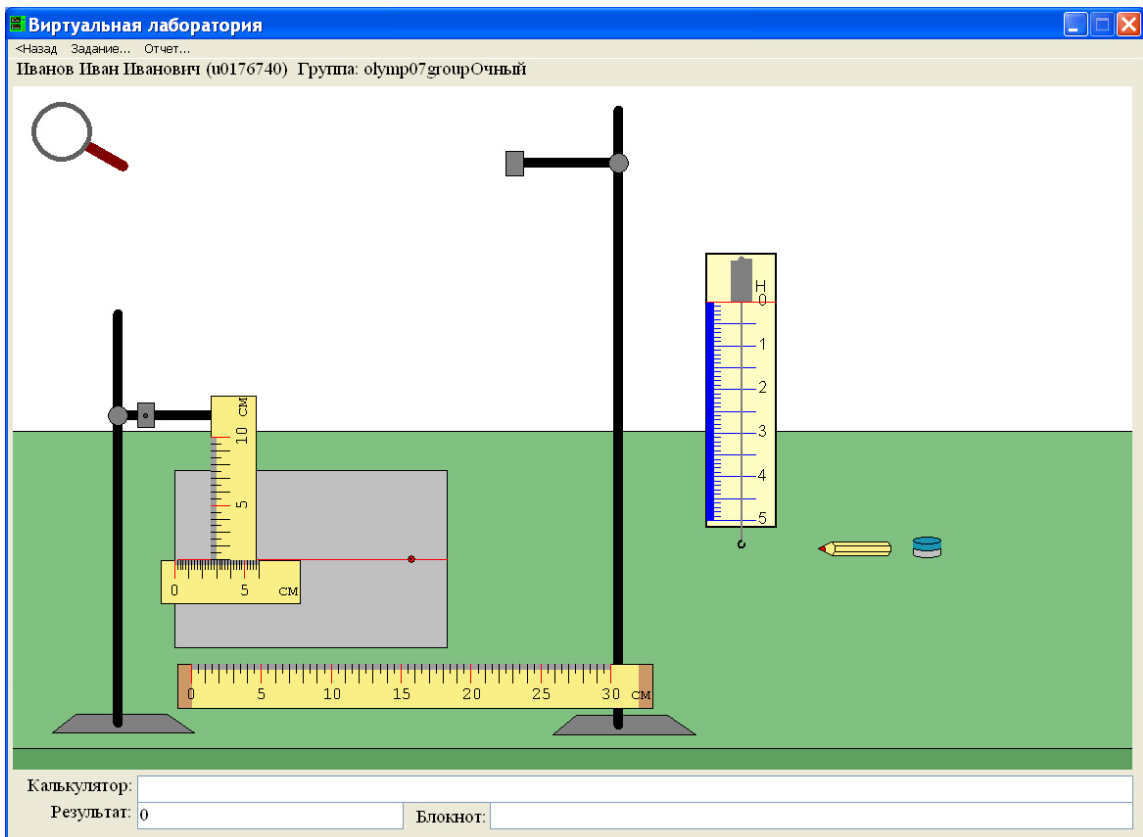
13. Измеряем расстояние от этой точки до правого края листа.

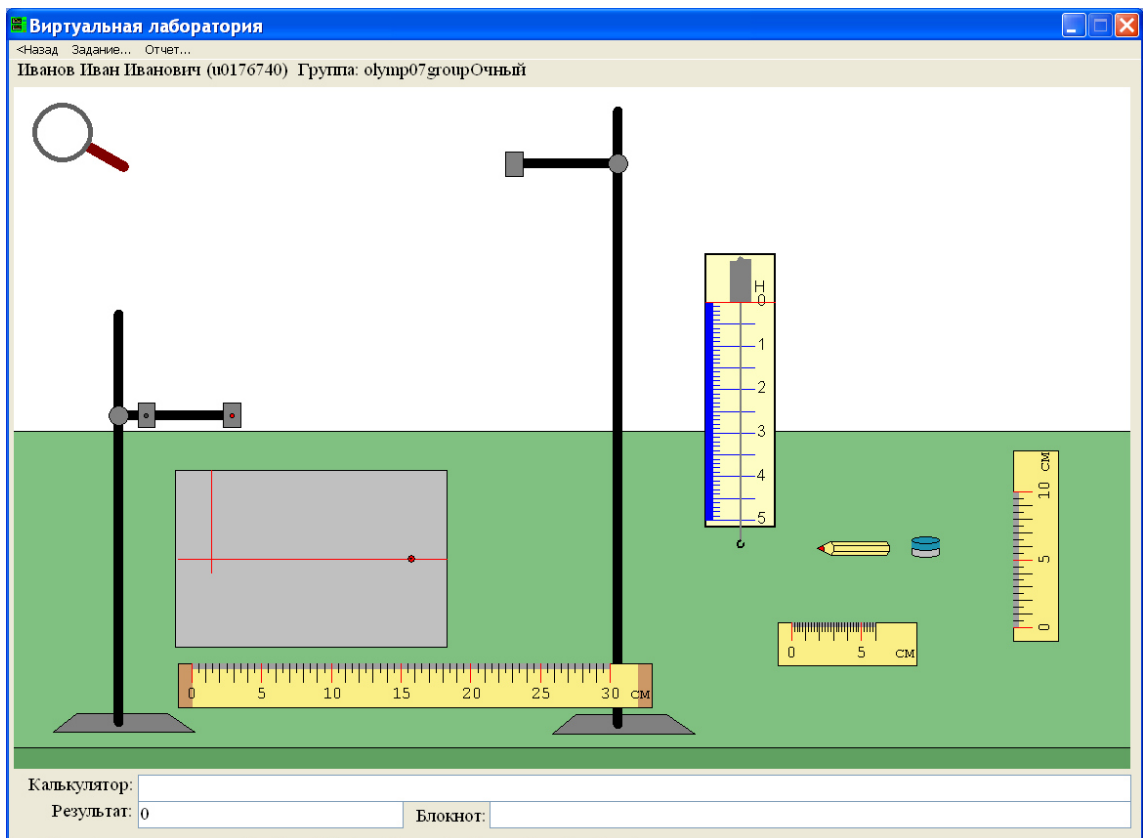


14. Отмеряем такое же расстояние от левого края листа.

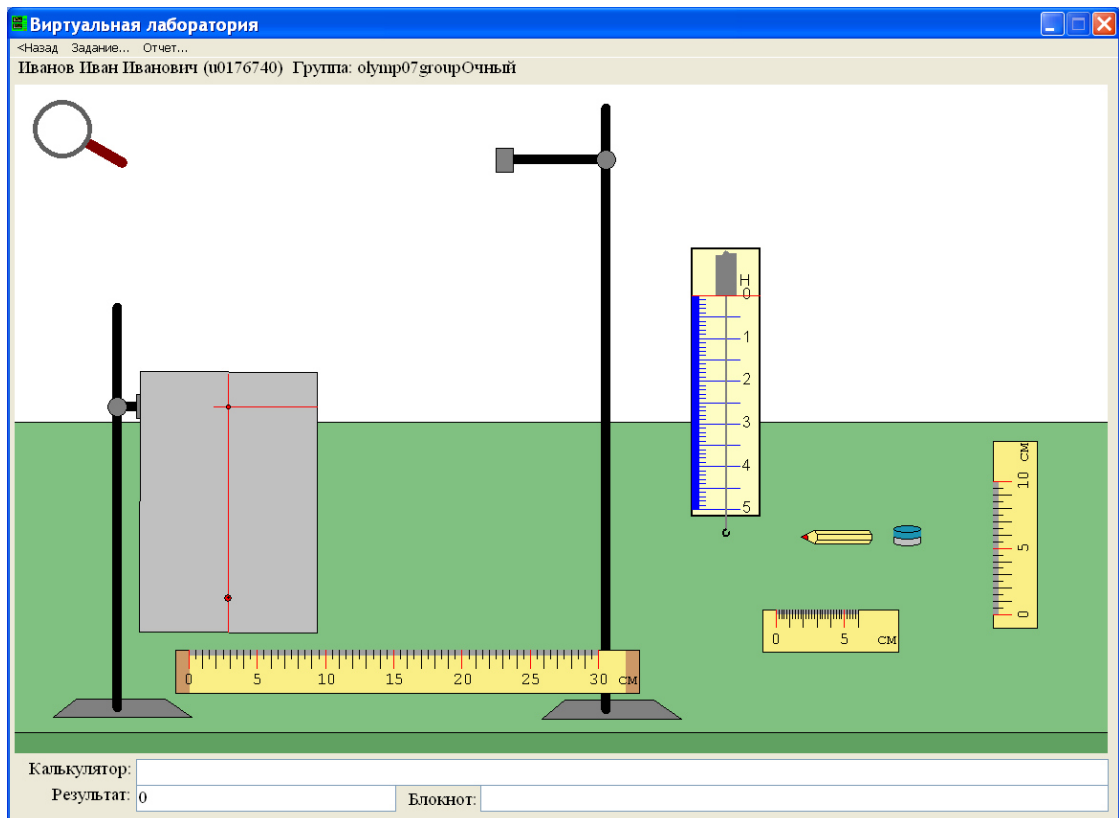


15. Проводим линию вдоль вертикальной линейки.

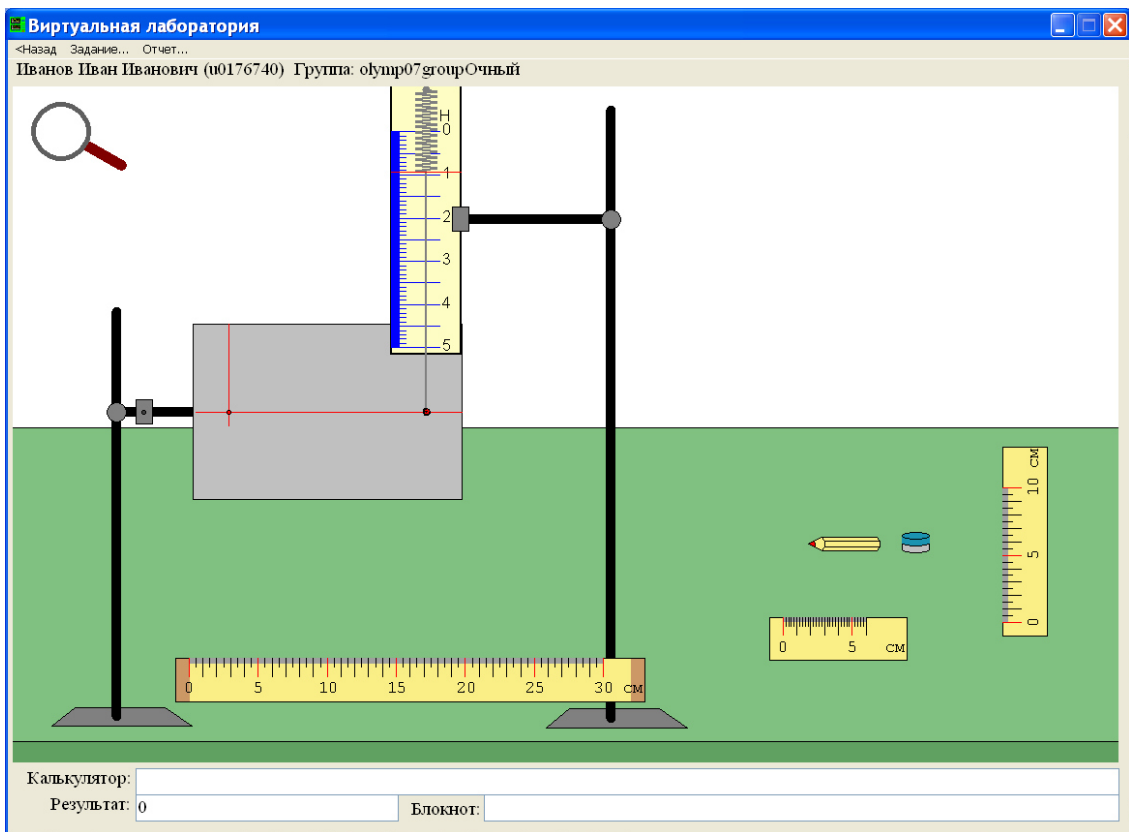




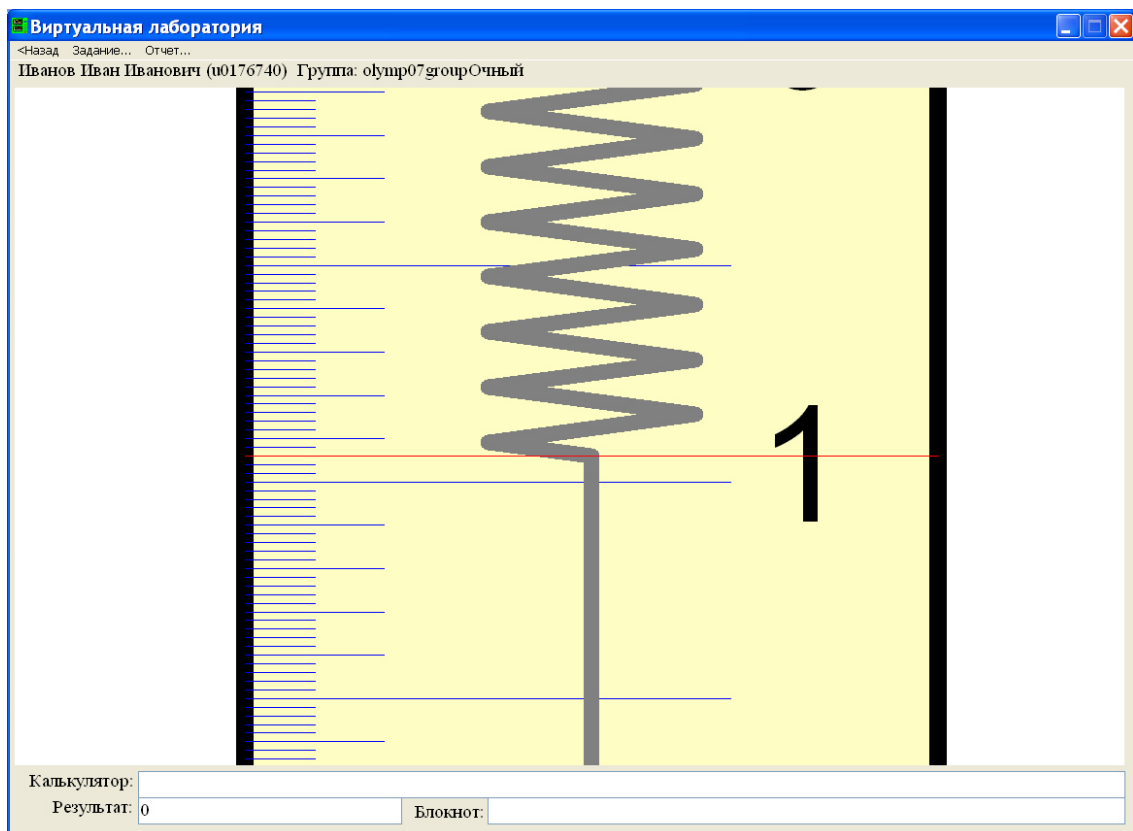
16. Теперь можно подвешивать лист за точку пересечения линий. Идеальной точности не надо, небольшое отклонение от правильного положения вдоль короткой стороны листа почти не влияет на момент силы.



17. Цепляем лист динамометром и располагаем его горизонтально.

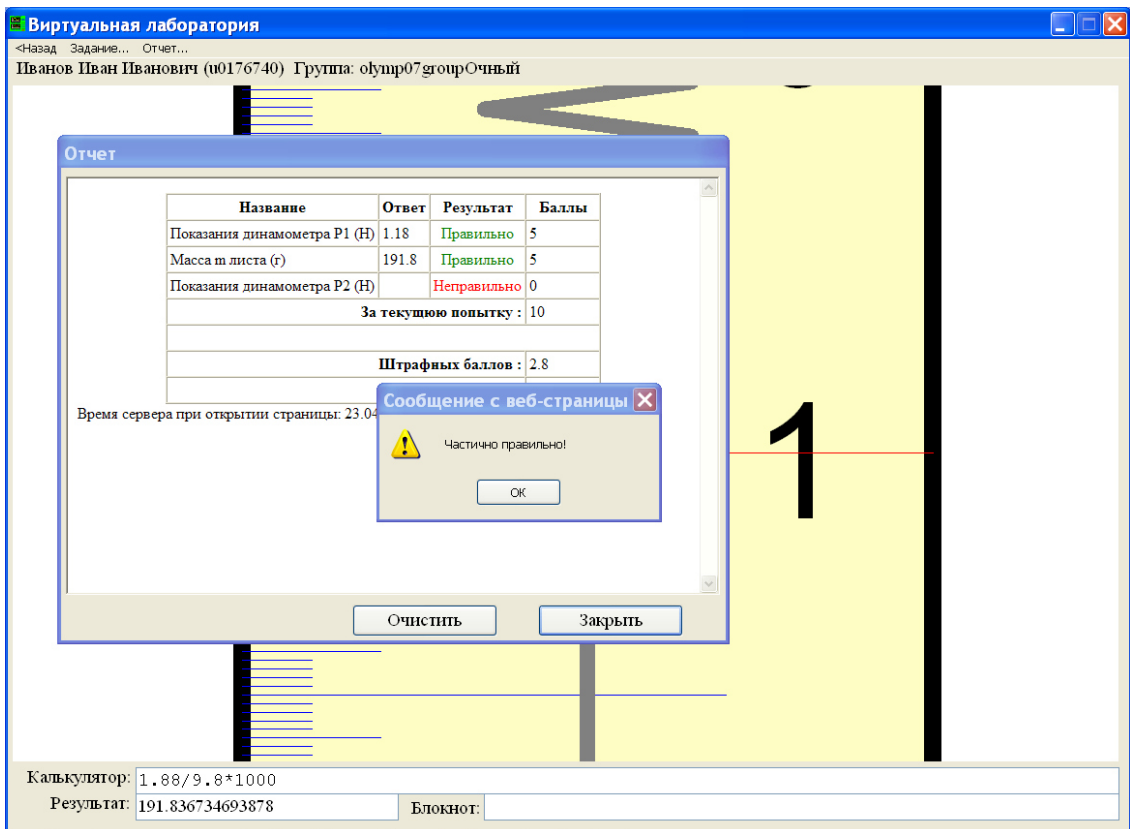


18. Измеряем показания динамометра.

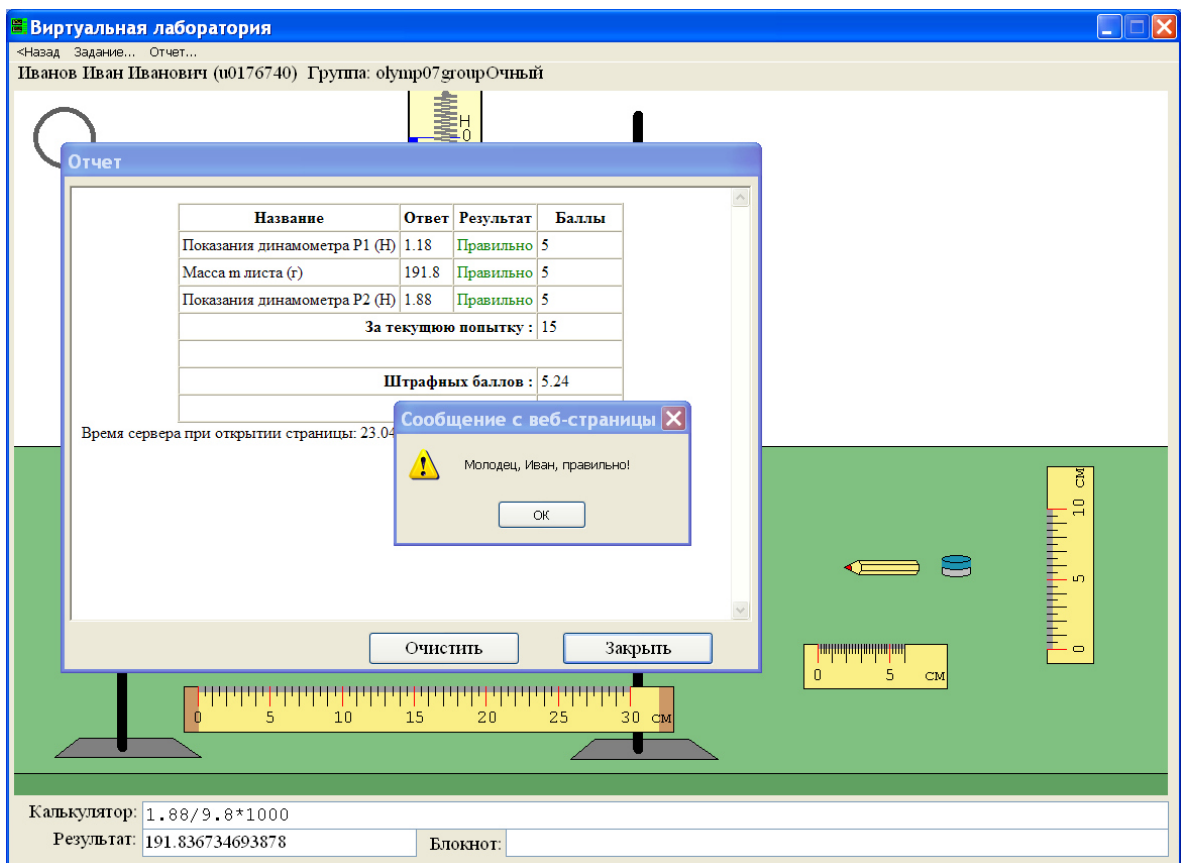


Получаем 0.94 Н. Это означает, что вес листа $P=1.88$ Н, а его масса $m=P/g=1.88/9.8$ кг=
 $=191.8$ г.

19. Отсылаем результаты на сервер (если не до конца уверены, что всё сделали правильно).



20. Значение P2 равно весу P листа, так как если тело подвесить за его центр тяжести, момент силы, приложенный к любой другой точке крепления, окажется равен нулю.



7 класс. Задача: Труба со ртутью (20 баллов)

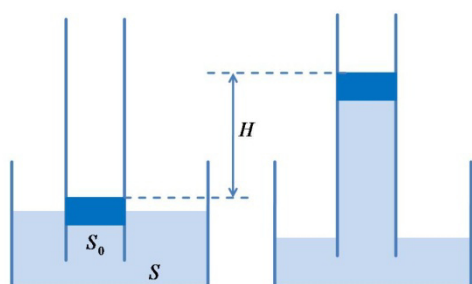


РИС. 1.

РИС. 2.

Труба имеет площадь внутреннего сечения $S_0=40 \text{ см}^2$. Её ставят вертикально, в нижний конец вровень с краем задвигают цилиндрический поршень массой $M=3 \text{ кг}$ и закрепляют его там. Затем трубу аккуратно опускают нижним концом в сосуд, заполненный ртутью. Площадь внутреннего сечения сосуда $S=2240 \text{ см}^2$. После этого поршень освобождают. Плотность поршня меньше плотности ртути, он может скользить внутри трубы без трения и в конце концов устанавливается в равновесии (рис.1). Атмосферное давление $P_0=101.8 \text{ кПа}$.

- Определите расстояние h_0 от нижней поверхности поршня до уровня ртути в сосуде. Поршень медленно, равномерно поднимают. Вычислите:
- силу F_1 , с которой надо удерживать поршень, когда его подняли на $H_1=56.5 \text{ см}$ (рис.2);
- разность уровней ртути в трубке и в сосуде h_2 , когда поршень подняли на $H_2=129.2 \text{ см}$;
- максимально возможное изменение L_{max} уровня ртути в сосуде за счёт подъёма поршня.

В процессе движения поршня труба остается неподвижной, уровень ртути не опускается ниже её нижнего конца. Плотность ртути равна 13.55 г/см^3 . Ускорение свободного падения примите равным 9.8 м/с^2 . Ответы вводите с точностью до десятых.

Введите ответ:

$h_0 =$ см
 $F_1 =$ Н
 $h_2 =$ см
 $L_{\text{max}} =$ мм

Решение.

1. В положении равновесия (рис.1) силы, действующие на верхнюю и нижнюю поверхности поршня уравновешивают друг друга:

$$Mg + p_0 S_0 = \rho g h_0 S_0 + p_0 S_0,$$

где ρ — плотность ртути. Разность уровней ртути в трубке и в сосуде

$$h_0 = \frac{M}{S_0 \rho} = 5.5 \text{ см}. \quad (1)$$

После подъёма поршня на высоту H разность уровней ртути в трубке и в сосуде

$$h = -h_0 + H + L. \quad (2)$$

Здесь L — расстояние, на которое опустился уровень ртути в сосуде из-за того, что часть её вошла в трубку,

$$L = \frac{S_0 H}{S - S_0}. \quad (3)$$

Из формул (2) и (3) получаем, что

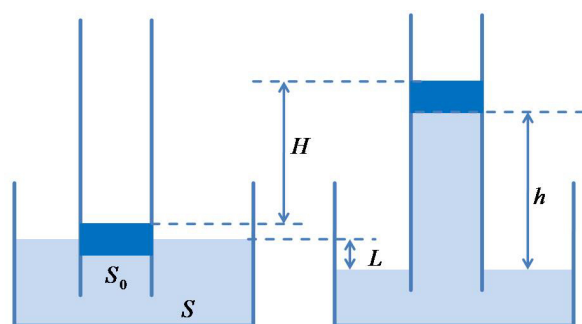


РИС. 1.

РИС. 2.

$$h = -h_0 + \frac{SH}{S - S_0}. \quad (4)$$

Столбик ртути удерживается под поршнем только силой атмосферного давления, поэтому h не может превышать

$$h_{\max} = \frac{p_0}{\rho g}. \quad (5)$$

Если поднять поршень на высоту, превышающую H_{\max} , значение h превысит максимально допустимое значение h_{\max} , ртуть оторвется от поршня и при дальнейшем его подъёме останется на месте. Из (4) и (5) следует

$$H_{\max} = \frac{p_0}{\rho g} + h_0 - \frac{S_0 H_{\max}}{S - S_0} = \left(\frac{p_0}{\rho g} + h_0 \right) \frac{S - S_0}{S} = 80.73 \text{ см}. \quad (6)$$

2. В случае (рис.2), когда значение H не превышает H_{\max} (обозначим его как H_1), сила, с которой надо удерживать поршень,

$$F_1 = Mg + p_0 S_0 - (p_0 S_0 - \rho g h_1 S_0) = Mg + \rho g h_1 S_0, \quad (7)$$

где h_1 — разность уровней ртути в трубке и в сосуде. Согласно (4),

$$h_1 = -h_0 + \frac{SH_1}{S - S_0} = 51.99 \text{ см}.$$

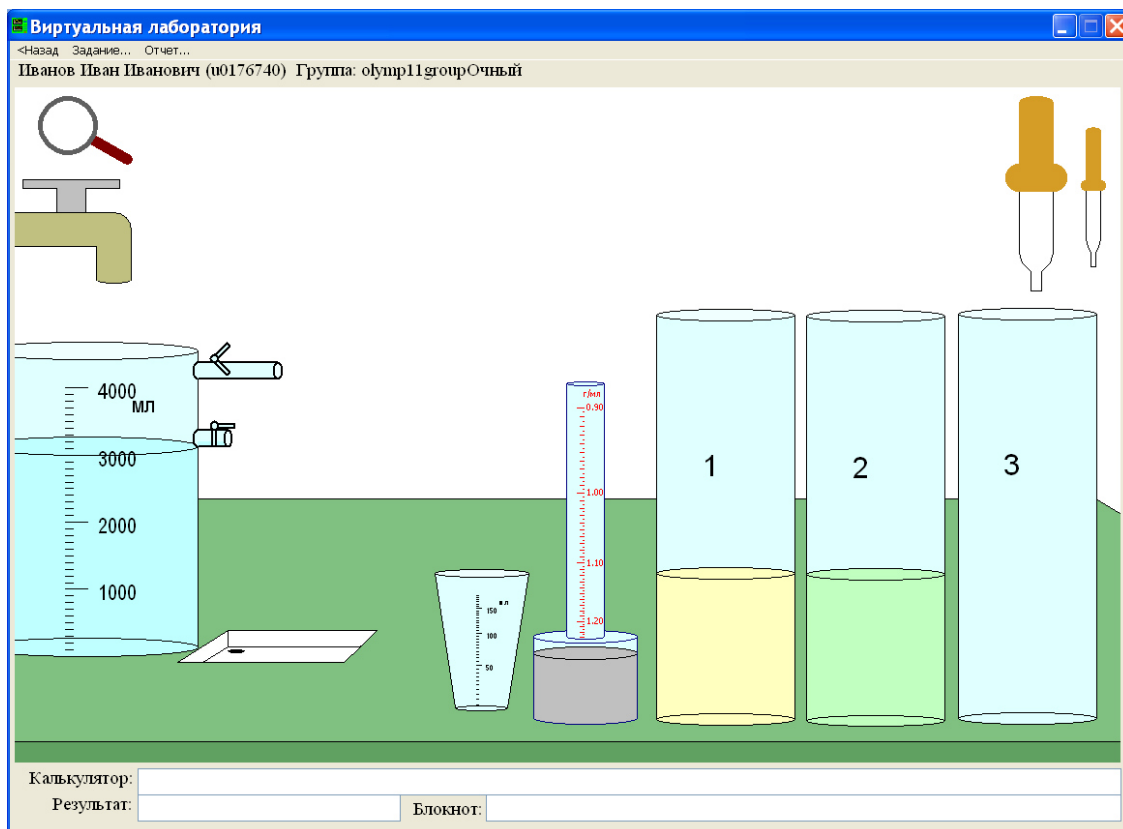
Подставляем результат в (7) и находим $F_1 = 305.6 \text{ Н}$.

3. В случае, когда значение H превышает H_{\max} (обозначим его как H_2), разность уровней ртути в трубке и в сосуде равна предельно возможной, и из формулы (5) получаем, что $h_{\max} = 76.7 \text{ см}$.

4. Максимальное изменение уровня ртути в сосуде за счёт подъёма поршня будет, если высота его подъёма достигнет или превысит H_{\max} . Поэтому, согласно формулам (3) и (6),

$$L_{\max} = \left(\frac{p_0}{\rho g} + h_0 \right) \frac{S_0}{S} = 14.7 \text{ мм}.$$

11класс. Модель: Ареометр и жидкости (15 баллов)



Имеются два стакана с одинаковыми объёмами некоторых жидкостей, ареометр (прибор, позволяющий измерять плотность жидкостей), а также другие элементы лаборатории. Большие стаканы закреплены, и их передвигать нельзя. Можно наливать жидкость в стаканы с помощью пипетки или (в маленький мерный стакан) из крана. В стакан №1 жидкость можно только наливать, набирать из него жидкость в пипетку нельзя. Кран включается/выключается щелчком по его ручке. Считайте, что жидкости перемешиваются мгновенно. Они несжимаемы и не вступают в химическую реакцию. Определите:

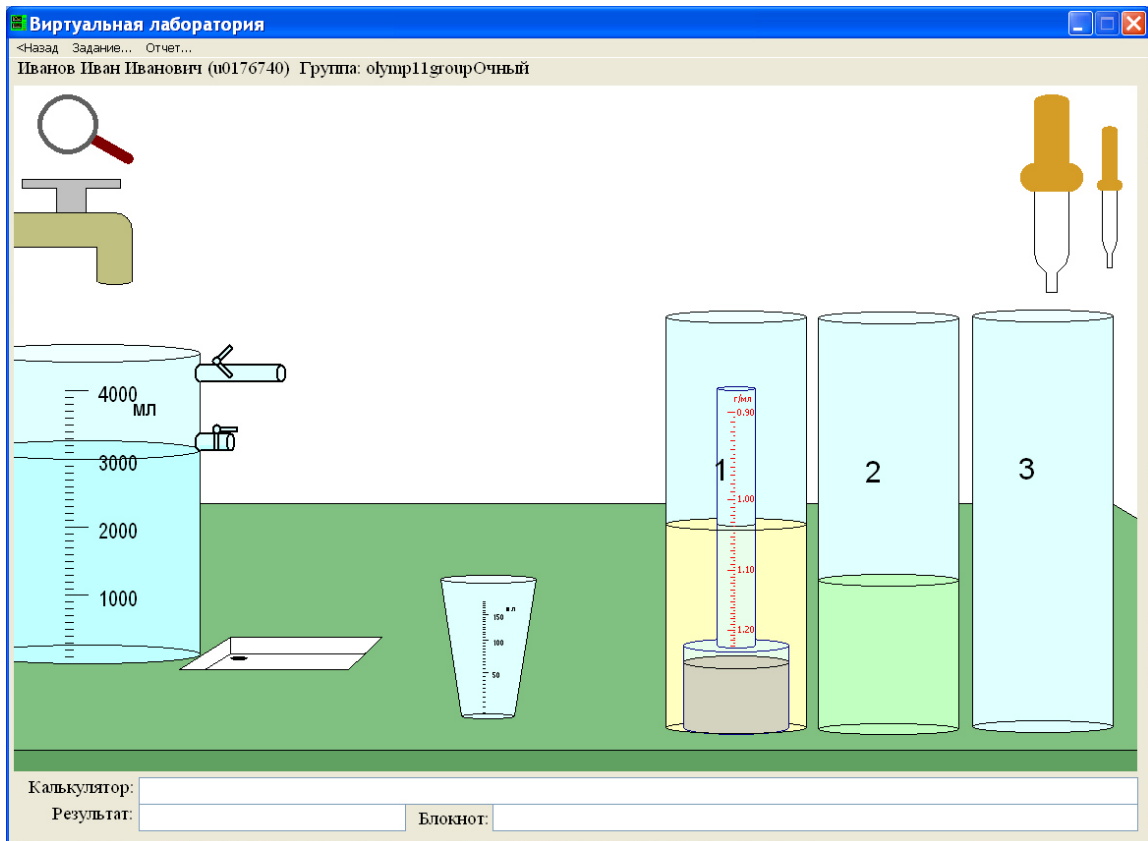
- плотность жидкости № 1 — с точностью до тысячных;
- плотность жидкости № 2 — с точностью до тысячных;
- объём жидкости № 1 — с точностью до одного миллилитра.

Занесите результаты в отчёт и отошлите его на сервер.

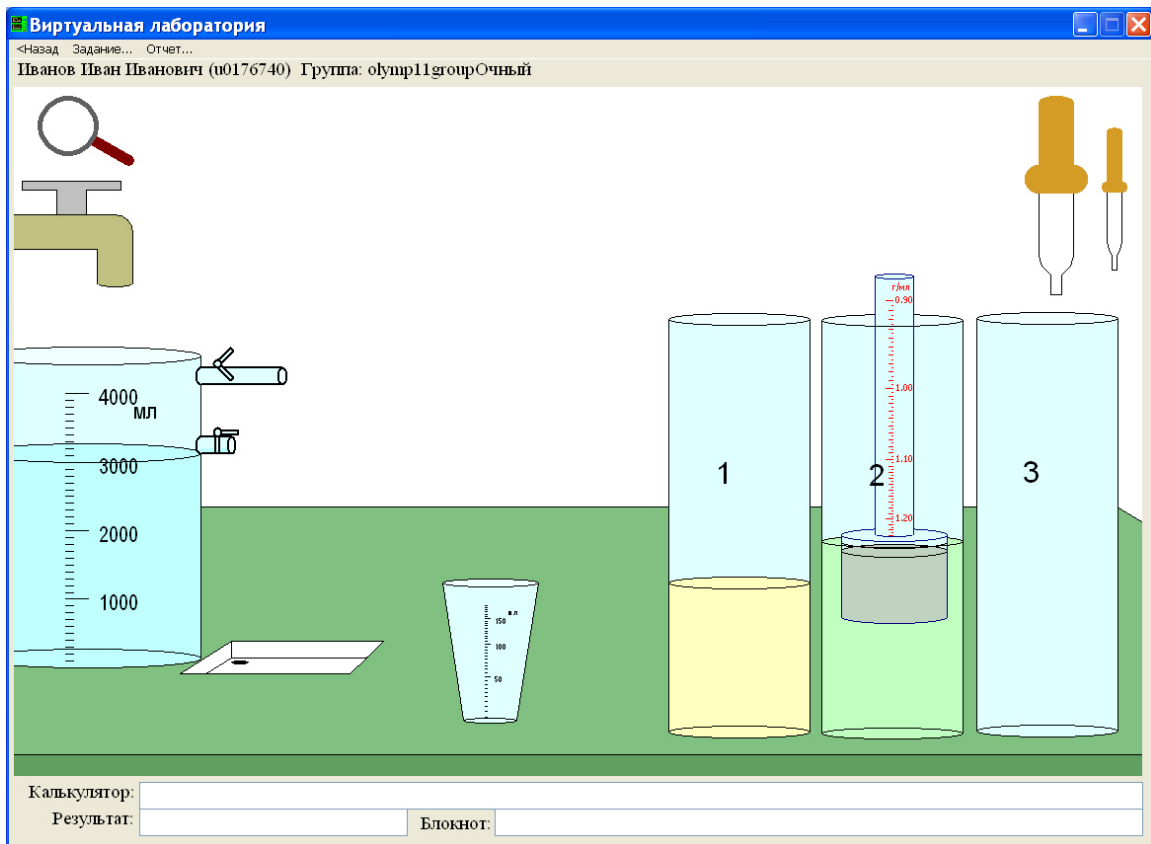
Для приведения системы в начальное состояние можно выйти из модели и зайти в неё вновь. Не забудьте записать перед выходом все измеренные значения — их надо будет повторно вводить в пункты ввода отчёта.

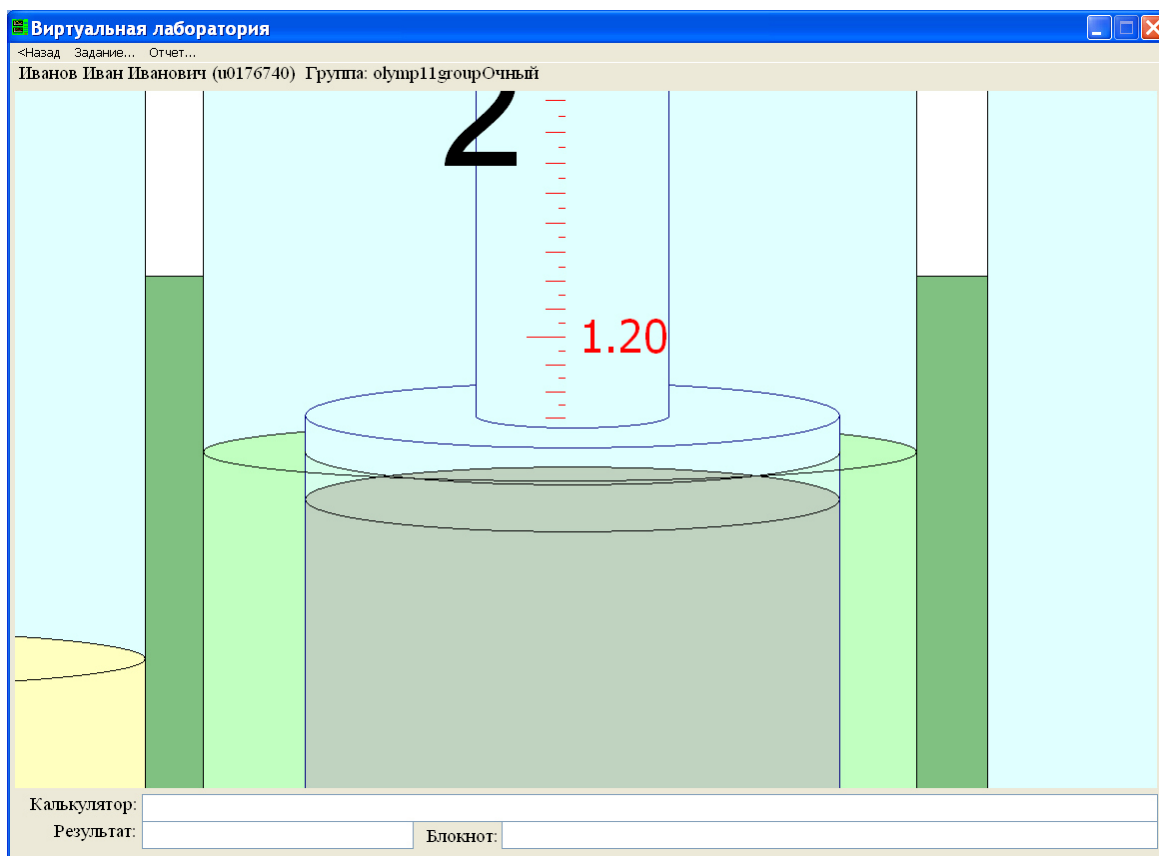
Решение.

1. Непосредственно измерить плотность первой жидкости не удаётся — ареометр погружается до самого дна.

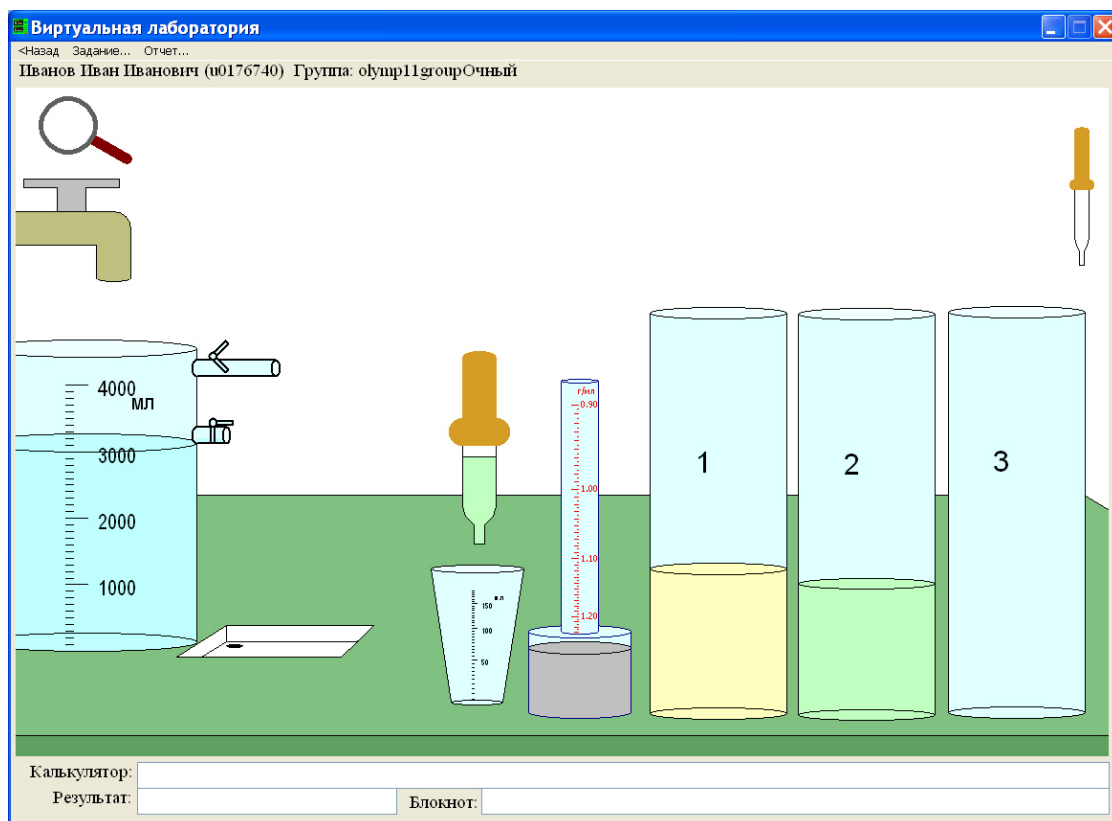


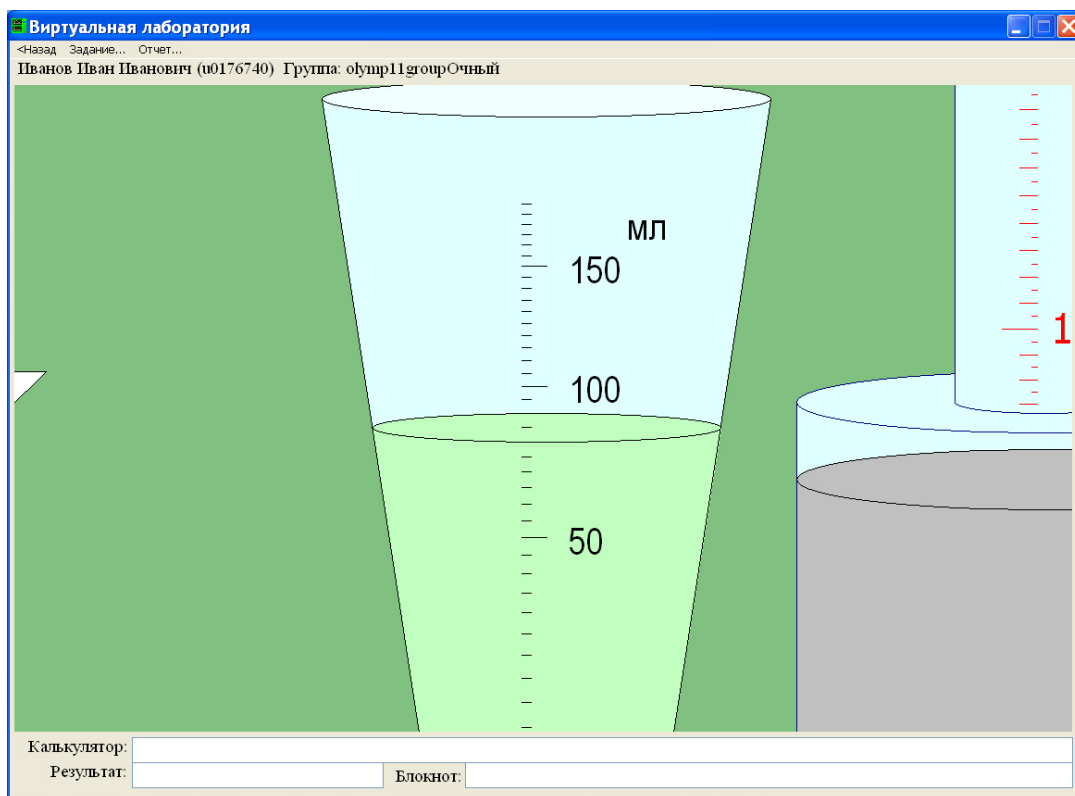
2. То же со второй жидкостью — ареометр всплывает выше нижнего предела шкалы.



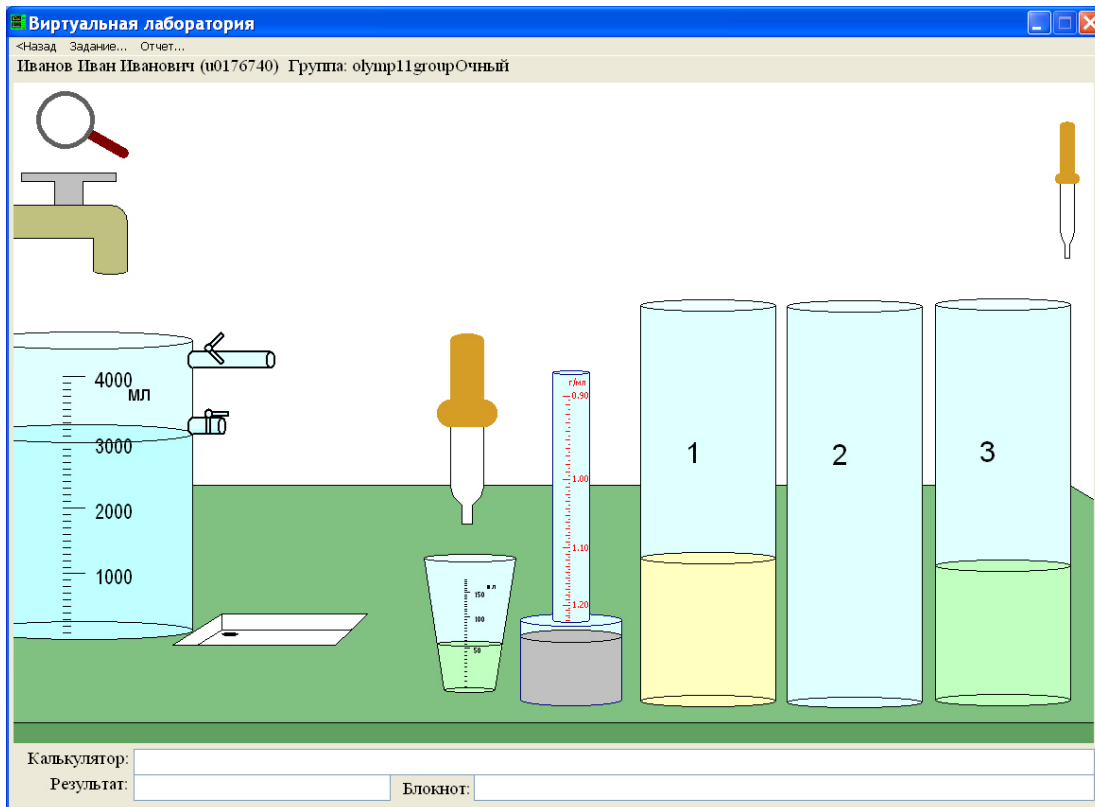


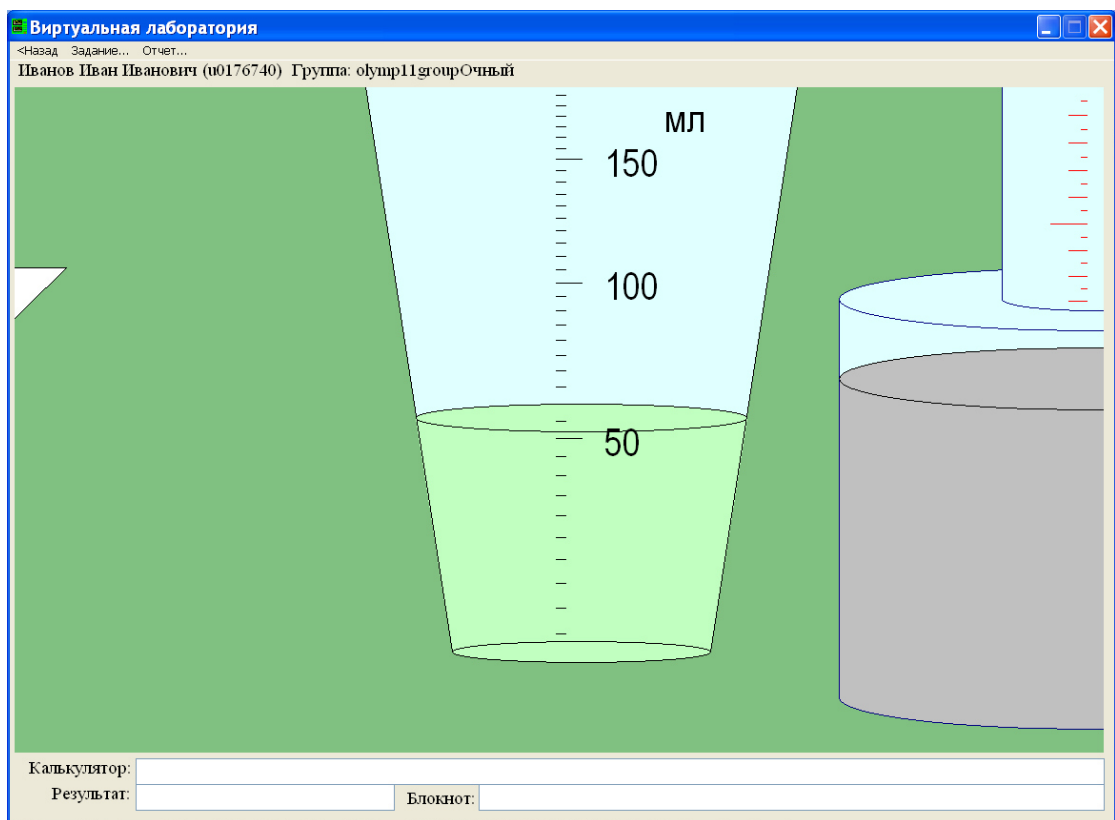
3. А вот объём V_1 можно легко найти. В первый стакан жидкости можно только доливать, но по условию объёмы V_1 первой и второй V_2 жидкостей одинаковы, $V_1=V_2$. Поэтому найдём объём V_2 второй жидкости, набирая её пипеткой. Сначала измерим объём большой пипетки, он оказался равным 80 мл.





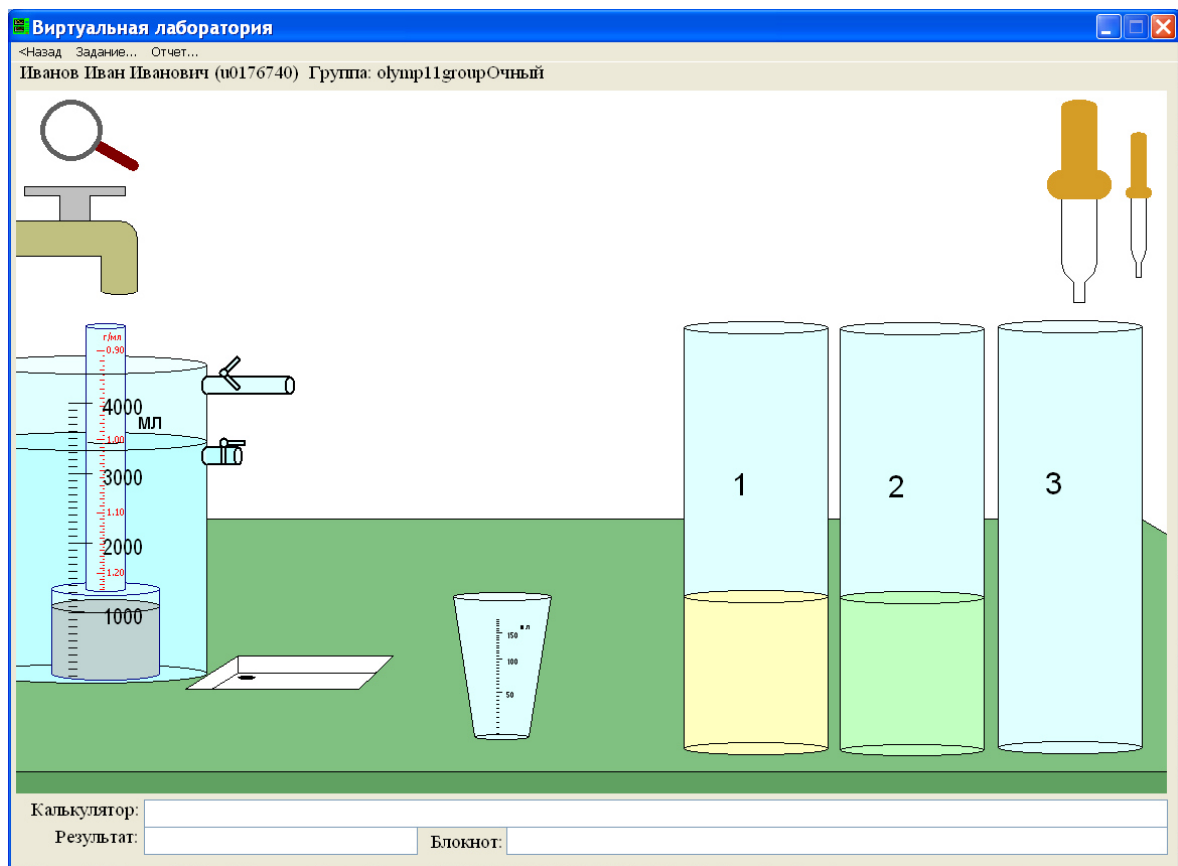
4. Затем измеряем значение V_2 , набирая жидкость большой пипеткой и переливая её в правый стакан. Получилось 10 целых пипеток, то есть 800 мл, и неполная, жидкость из которой выливаем в маленький мерный стаканчик.



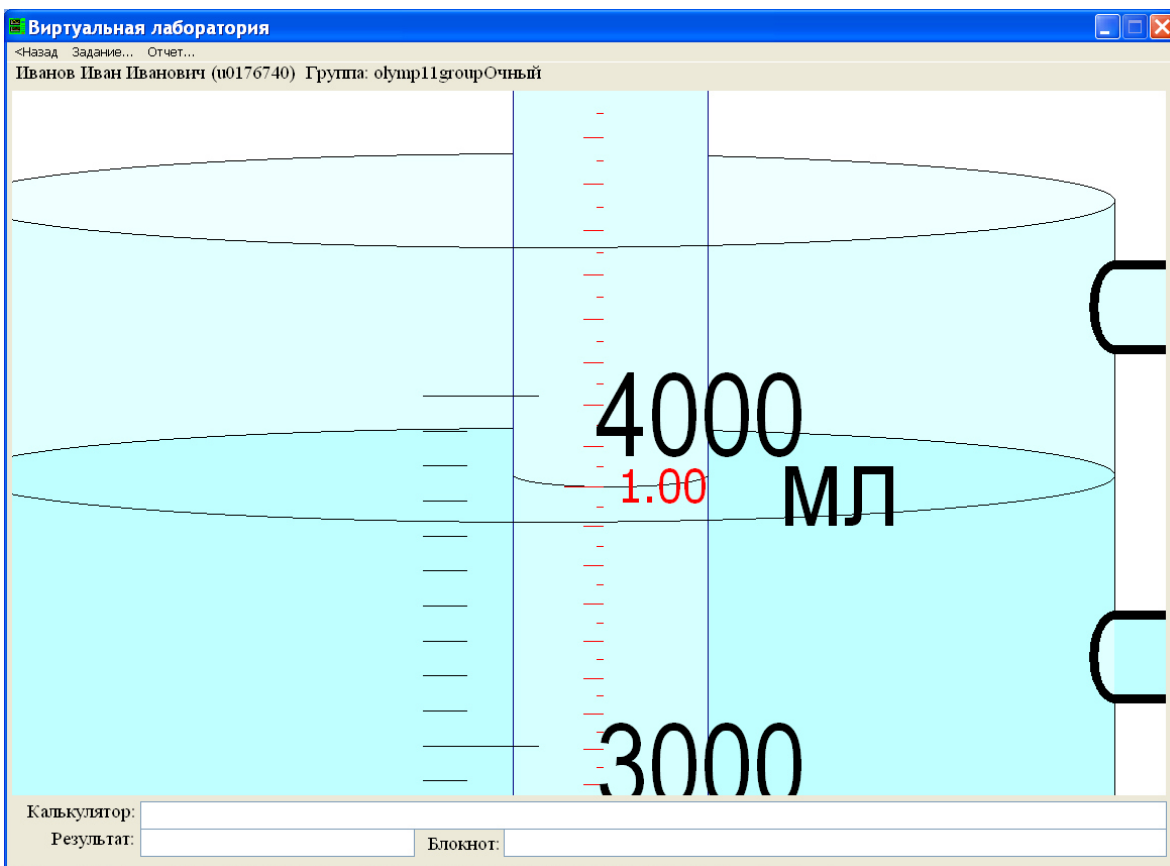
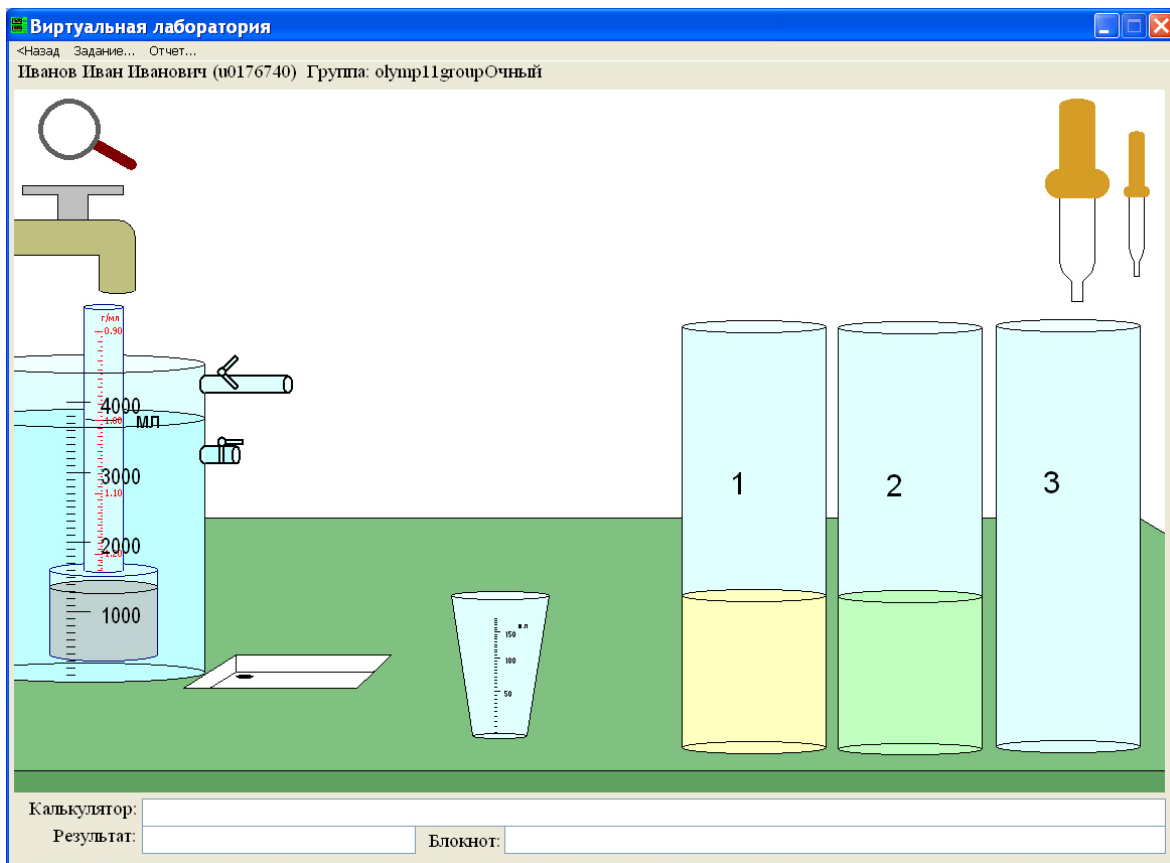


Обнаруживаем, что одна капля маленькой пипетки имеет объём 1 мл, и в мерный стаканчик налито 52 мл жидкости. Таким образом, $V_1 = V_2 = 852$ мл.

5. Теперь можно заняться измерением плотностей жидкостей. В отливном стакане ареометр погружается до самого дна.

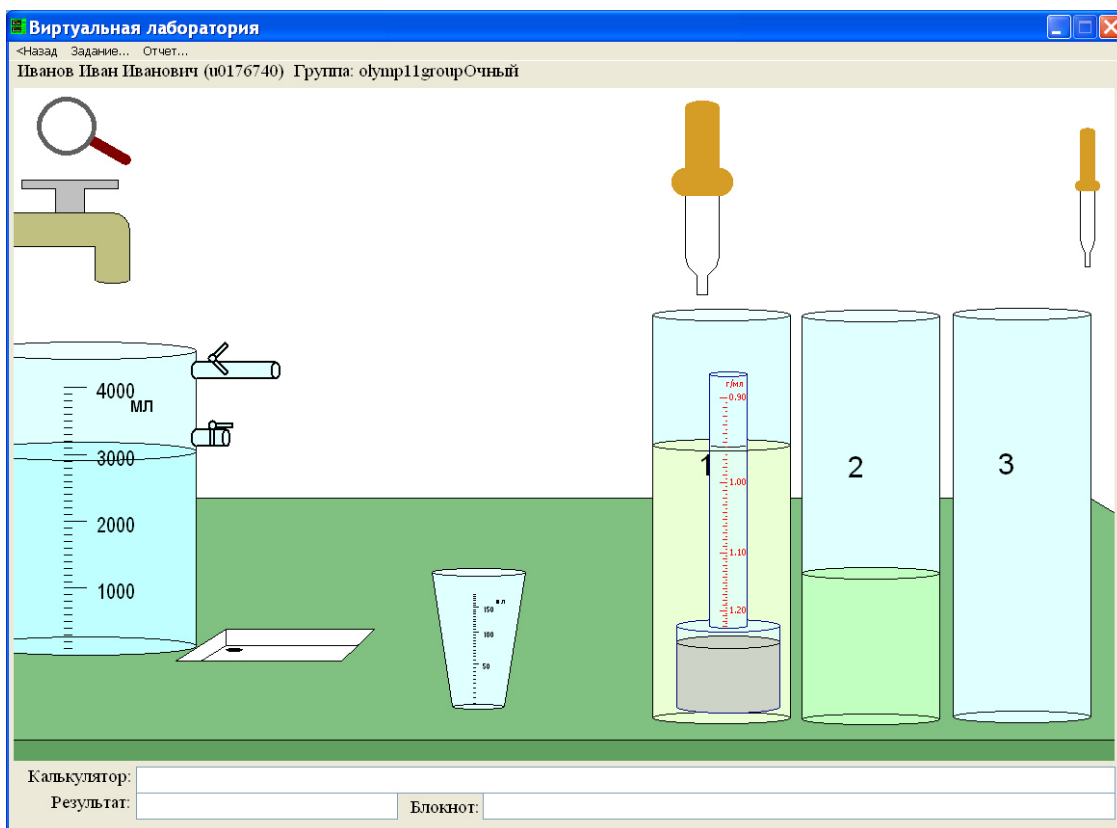


5. Поэтому дольём жидкость из крана и обнаружим, что её плотность 1 г/см^3 .

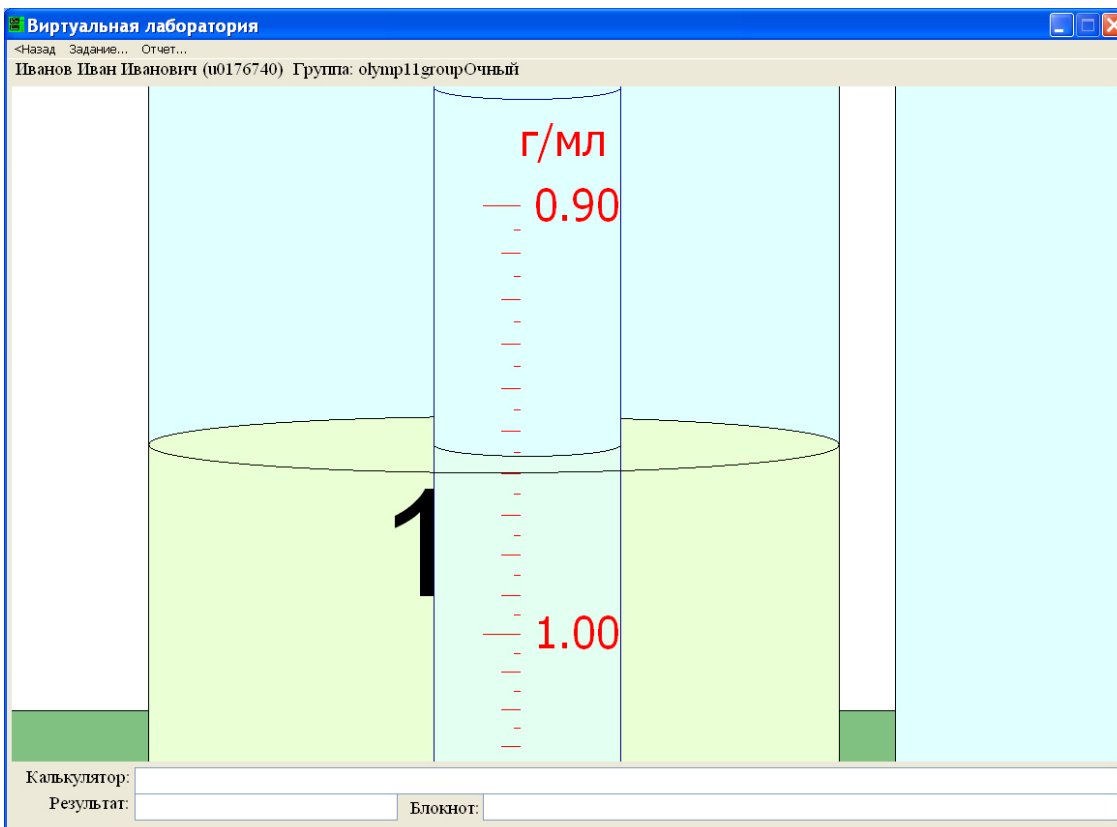


Поэтому естественно считать, что из крана льётся вода. Будем в дальнейшем называть эту жидкость водой.

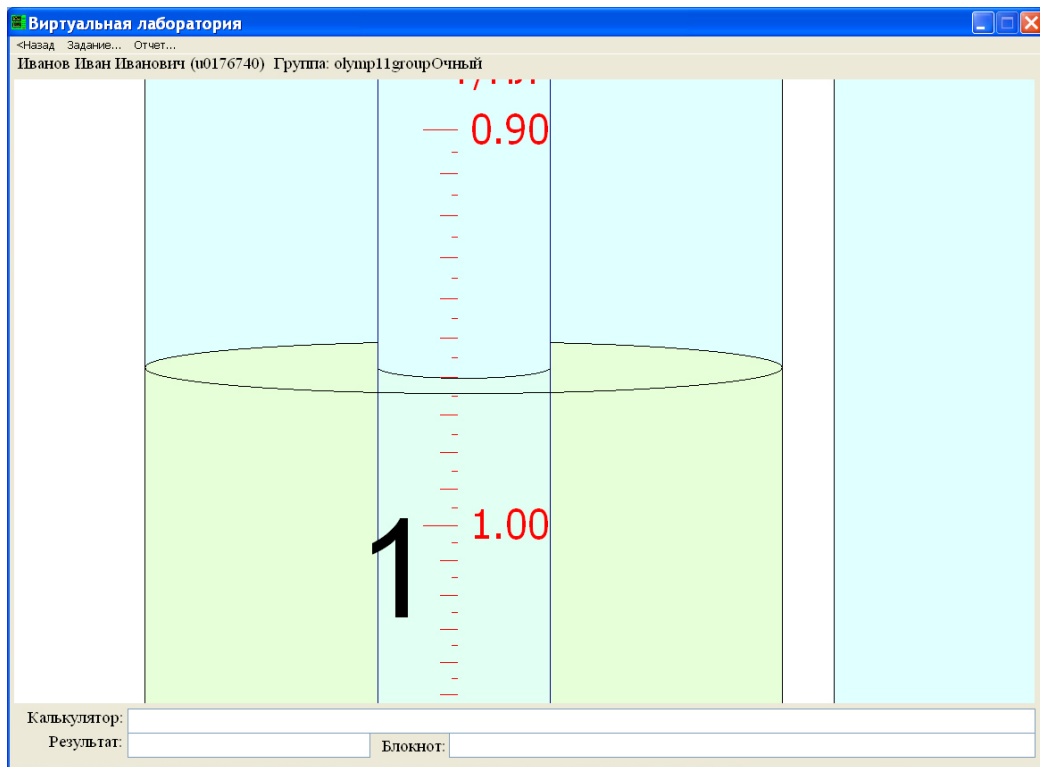
6. Доливаем большой пипеткой воду в первый стакан до тех пор, пока ареометр не всплывёт, и при этом считаем количество долитой воды. В данном случае 400 мл.



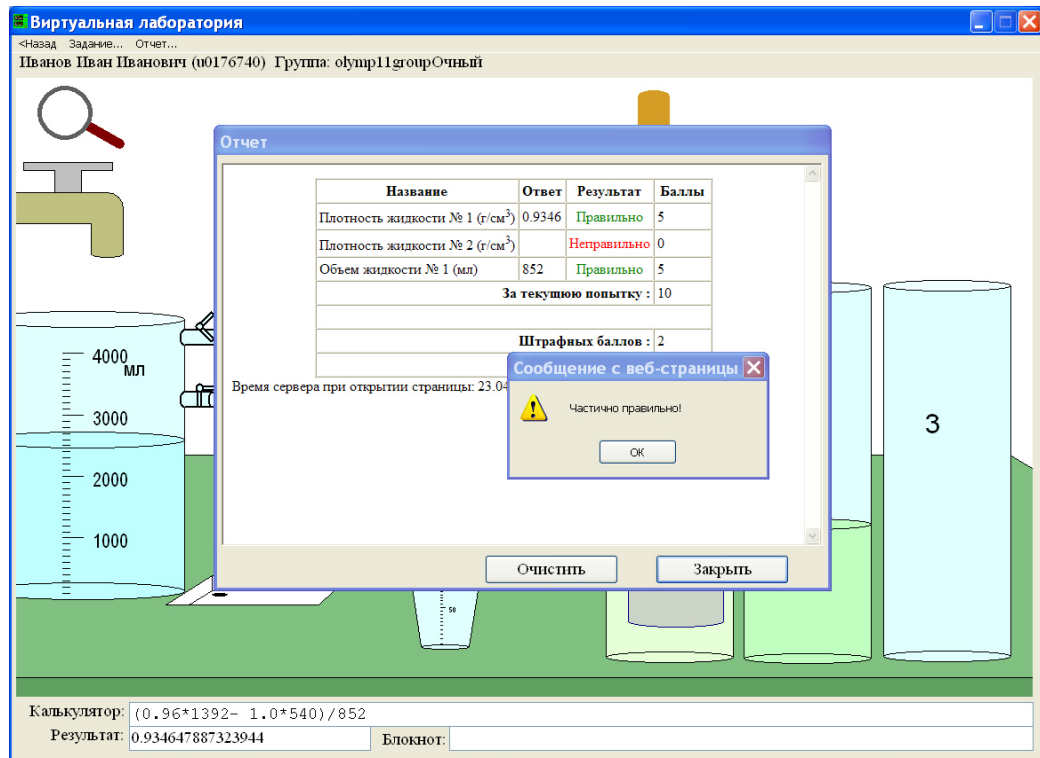
7. Смотрим на показания ареометра.



8. Доливаем воду сначала большой, а затем маленькой пипеткой так, чтобы попасть точно на риску. Добавленный объем воды ΔV оказывается равен $6 \cdot 80 + 60 = 540$ мл.

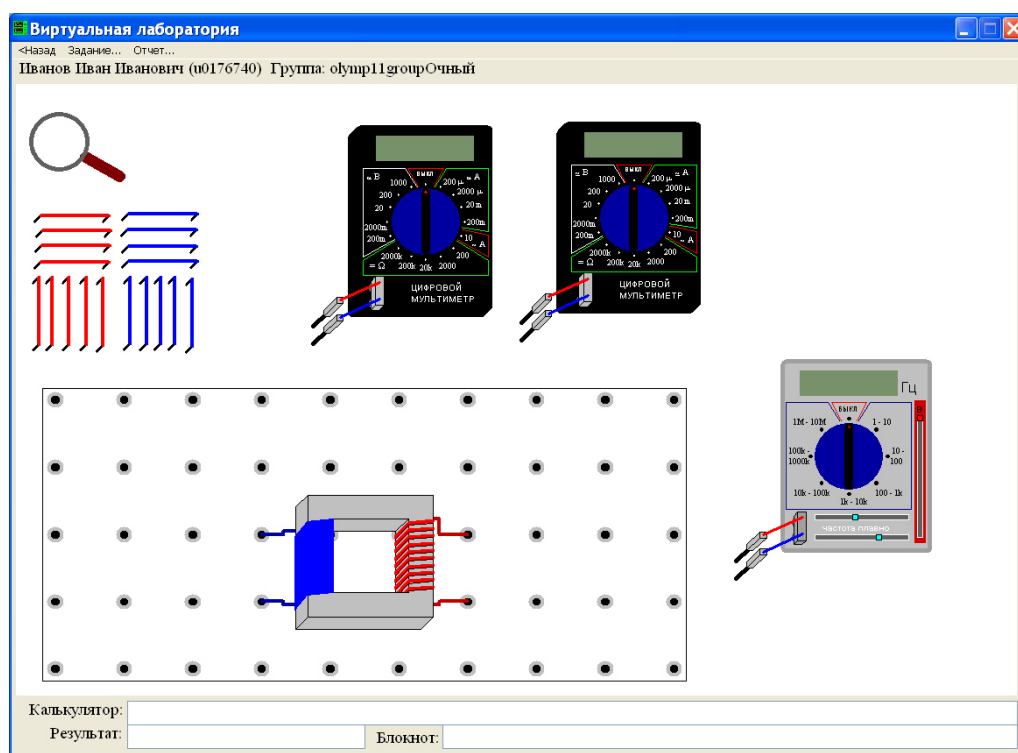


Итоговая плотность $\rho_{\text{смеси}} = 0.96 \text{ г/см}^3$. $V_{\text{смеси}} = V_1 + \Delta V = 852 + 540 \text{ мл} = 1392 \text{ мл}$, масса смеси $m_{\text{смеси}} = m_1 + \Delta m = \rho_1 V_1 + \rho_{\text{воды}} \Delta V = \rho_{\text{смеси}} V_{\text{смеси}}$. Поэтому $\rho_1 V_1 = \rho_{\text{смеси}} V_{\text{смеси}} - \rho_{\text{воды}} \Delta V$, то есть $\rho_1 = (\rho_{\text{смеси}} V_{\text{смеси}} - \rho_{\text{воды}} \Delta V) / V_1$. Получаем $\rho_1 = (0.96 \cdot 1392 - 1.0 \cdot 540) / 852 \text{ г/см}^3 = 0.9346 \text{ г/см}^3$.



Совершенно аналогично путём доливания воды находится плотность жидкости №2.

11класс. Модель: Высокочастотный трансформатор (20 баллов)



Имеется повышающий трансформатор (первичная обмотка справа, вторичная — слева) и генератор переменного напряжения регулируемой частоты. Амплитуда напряжения на его выходе меняется движком в правой части генератора. Кроме того, имеются соединительные провода и два мультиметра, которые могут работать в режиме (милли)амперметров и (милли)вольтметров — на них показывается эффективное значение напряжения или тока. Определите с минимально возможной погрешностью (желательно, не более 0.1%):

- число витков N_2 вторичной обмотки трансформатора;
- сопротивление R_1 первичной обмотки трансформатора;
- сопротивление R_2 вторичной обмотки трансформатора;
- индуктивность L_1 первичной обмотки трансформатора.

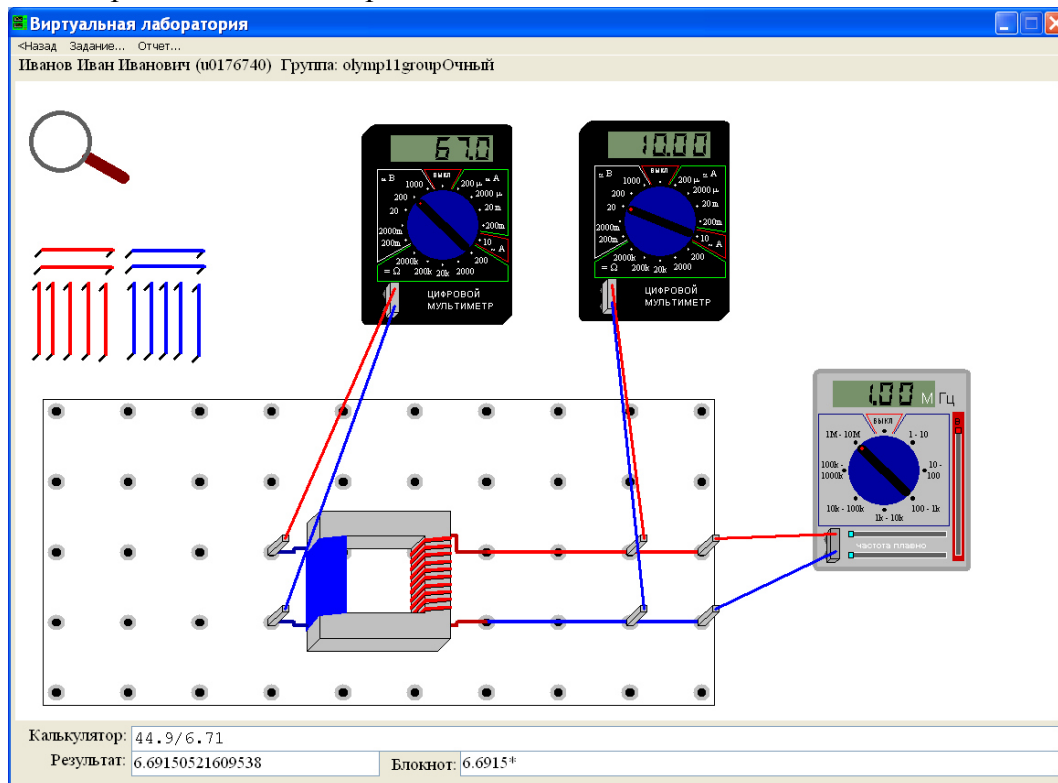
Соберите для этого необходимые электрические схемы, проведите измерения и выполните расчеты. Добивайтесь максимальной точности измерений! Учтите, что мультиметр можно подключать только к одной из обмоток — подключение одной клеммы к первичной обмотки, а второй к вторичной, не работает.

Задания можно переделывать, но за каждую повторную отсылку результатов на сервер начисляется до 4 штрафных баллов.

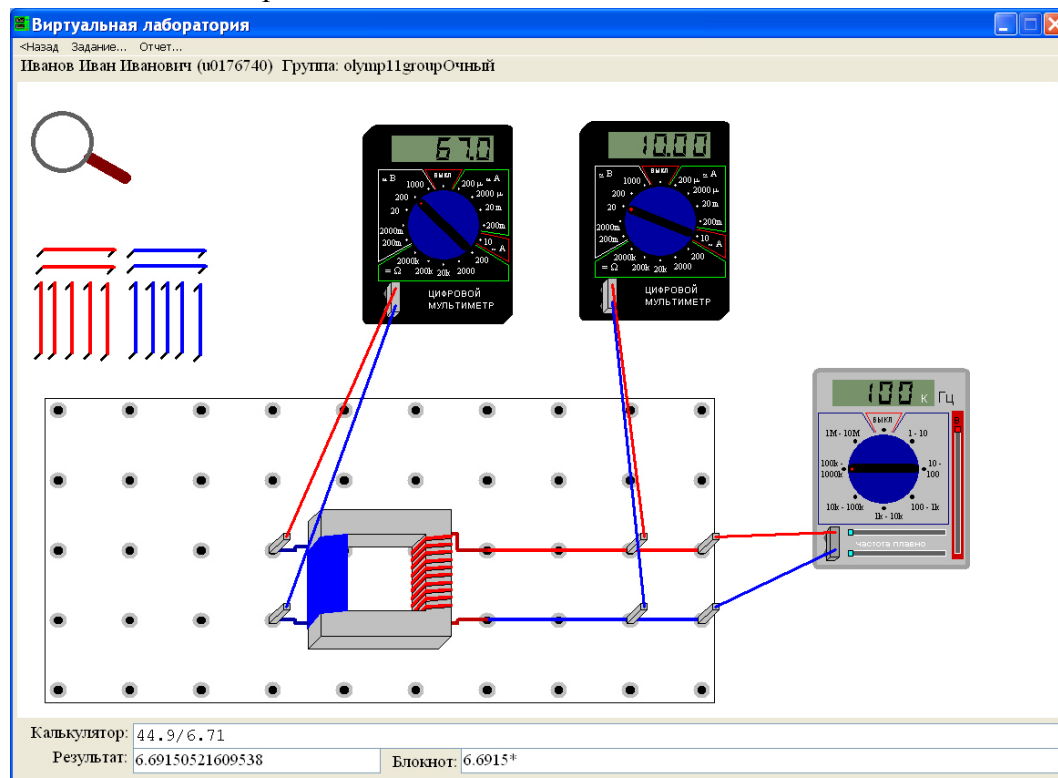
Буква μ у диапазона означает «микро», буква m — «милли». Мультиметр — измерительный прибор, позволяющий измерять токи, напряжения. (Измерение сопротивлений в данной системе отключено). Провода имеют практически нулевое сопротивление, их можно растягивать для подсоединения к нужным клеммам. Тип измеряемой величины и предел измерительной шкалы мультиметра меняется с помощью поворота ручки. Внутреннее сопротивление мультиметра в режиме вольтметра очень велико (можно считать бесконечным), а в режиме измерения тока очень мало (можно считать равным нулю). Внутреннее сопротивление генератора очень мало (можно считать равным нулю).

Решение.

1. Собираем электрическую схему, позволяющую измерять напряжение V_1 на первичной обмотке и напряжение V_2 на вторичной обмотке.

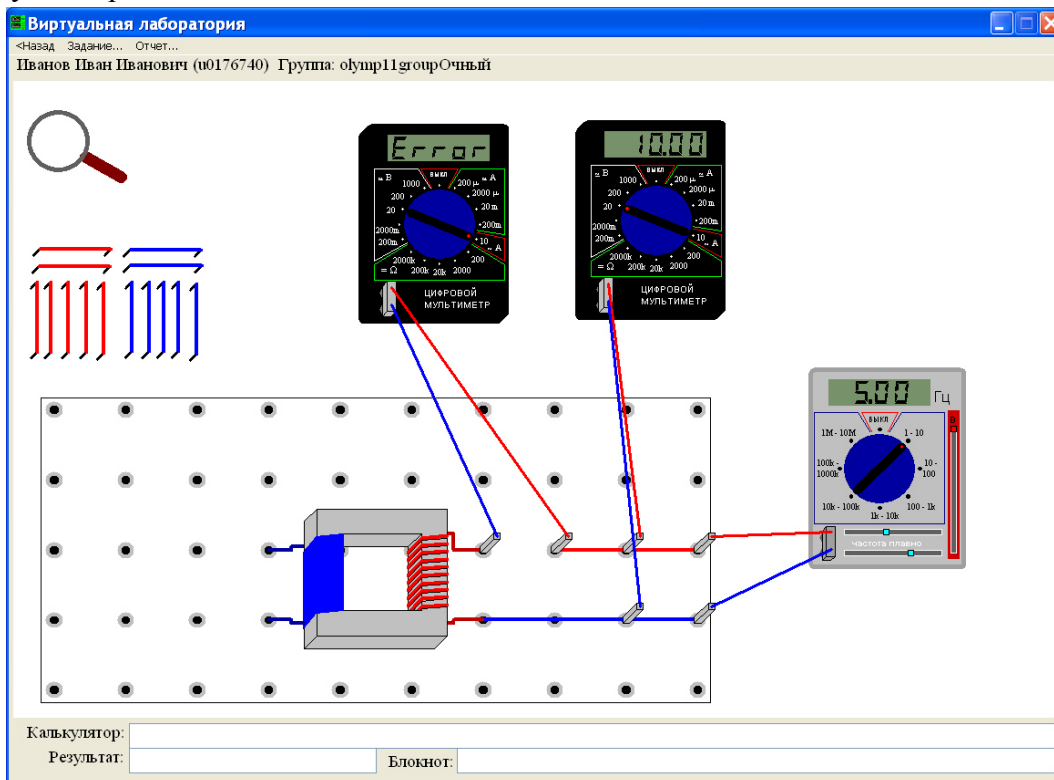


2. Частоту меняем в области самых больших частот, где вклад от активной составляющей мал. Убеждаемся, что напряжение на вторичной обмотке не зависит от частоты при изменении частоты на порядок.

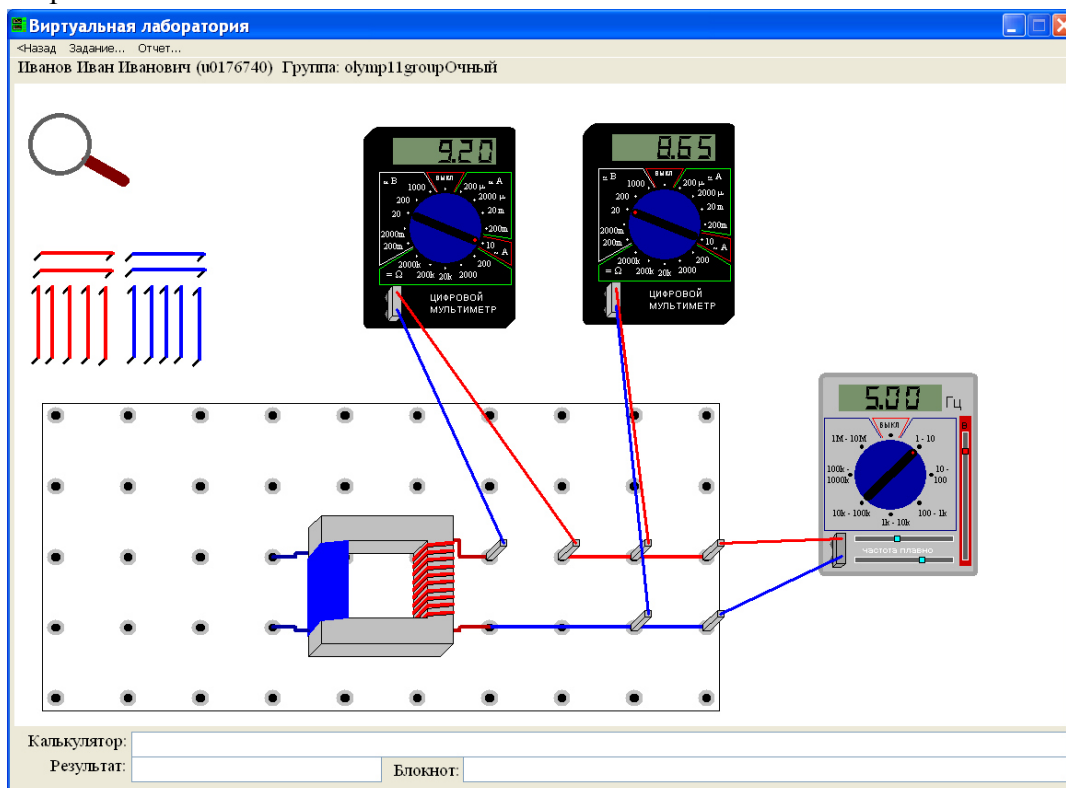


3. Подсчитываем число витков первичной обмотке N_1 , в нашем случае оно равно 10. Следовательно, число витков во вторичной обмотке $N_2 = N_1 * V_2 / V_1 = 10 * 67 / 10$ витков = 67 ВИТКОВ.

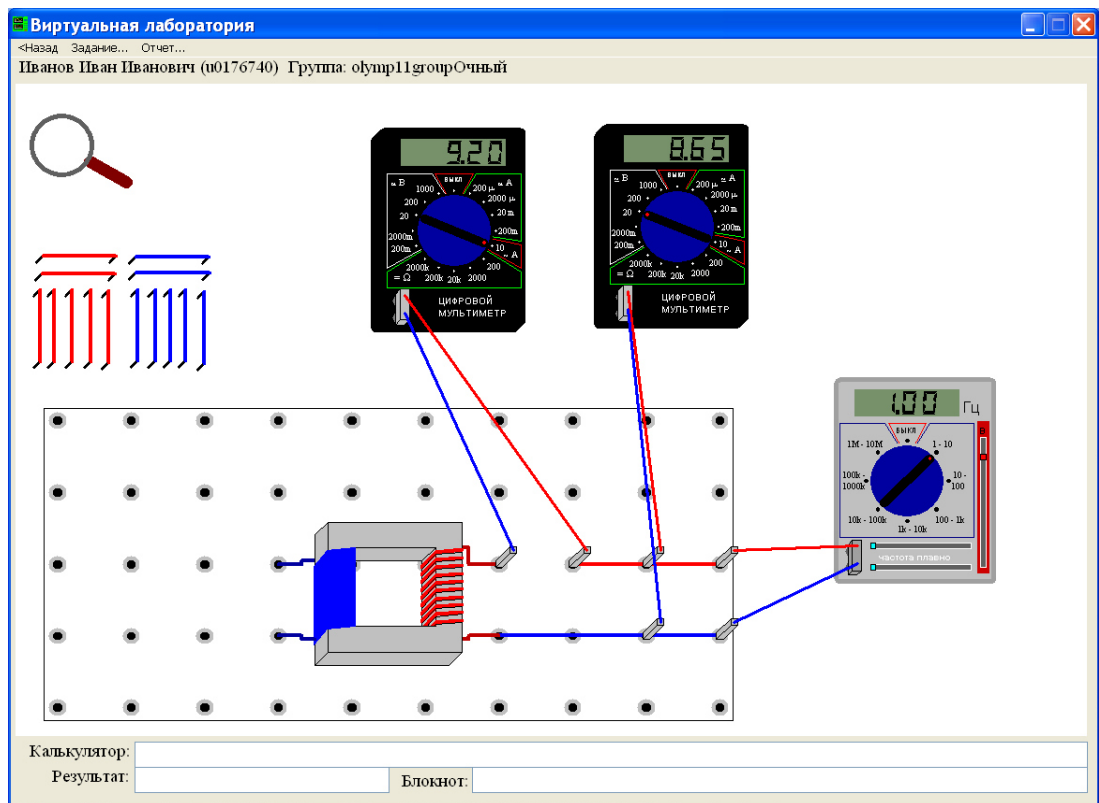
4. Собираем электрическую схему, позволяющую измерять ток I_1 через первичную обмотку и напряжение V_1 на ней.



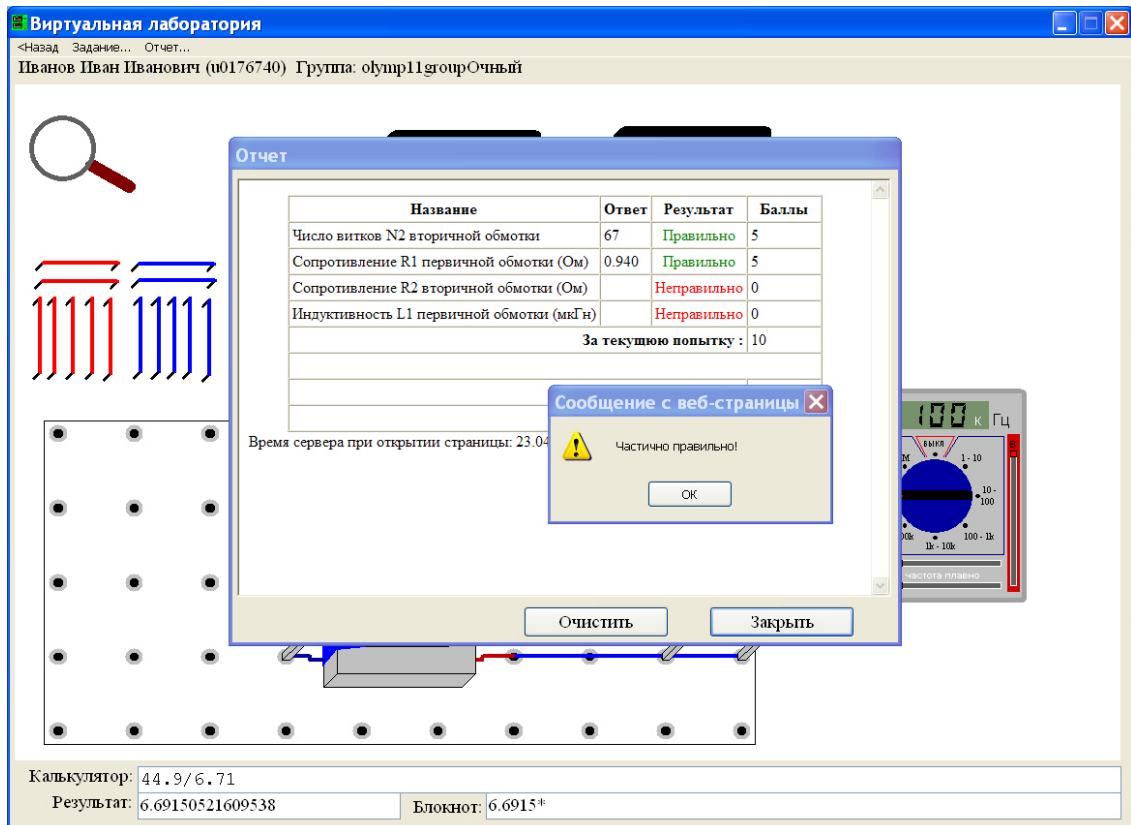
5. Уменьшаем напряжение на выходе генератора так, чтобы не было зашкаливания амперметра.



6. Уменьшаем частоту до минимально возможной и обнаруживаем, что уменьшение частоты в 5 раз не приводит к изменению тока через первичную обмотку.

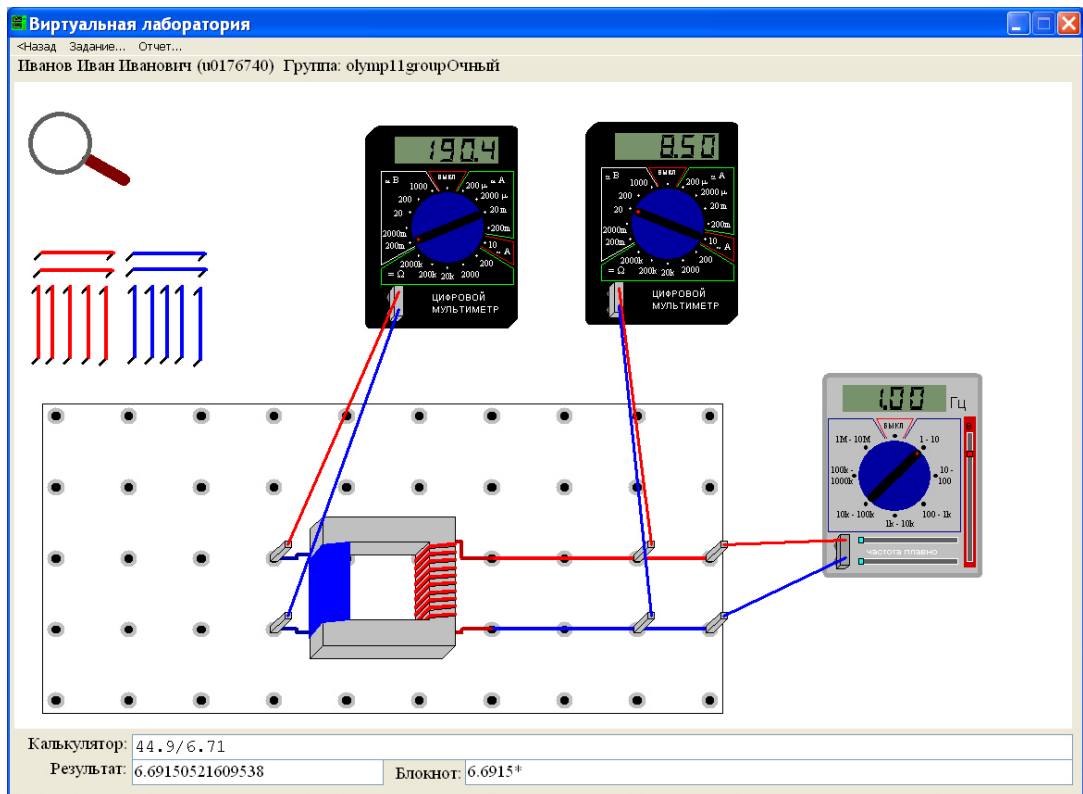


7. Это означает, что при частотах 1–5 Гц ток через первичную обмотку полностью определяется активным сопротивлением обмотки $R_1 = V_1/I_1 = 8.65/9.20 \text{ Ом} = 0.940 \text{ Ом}$.



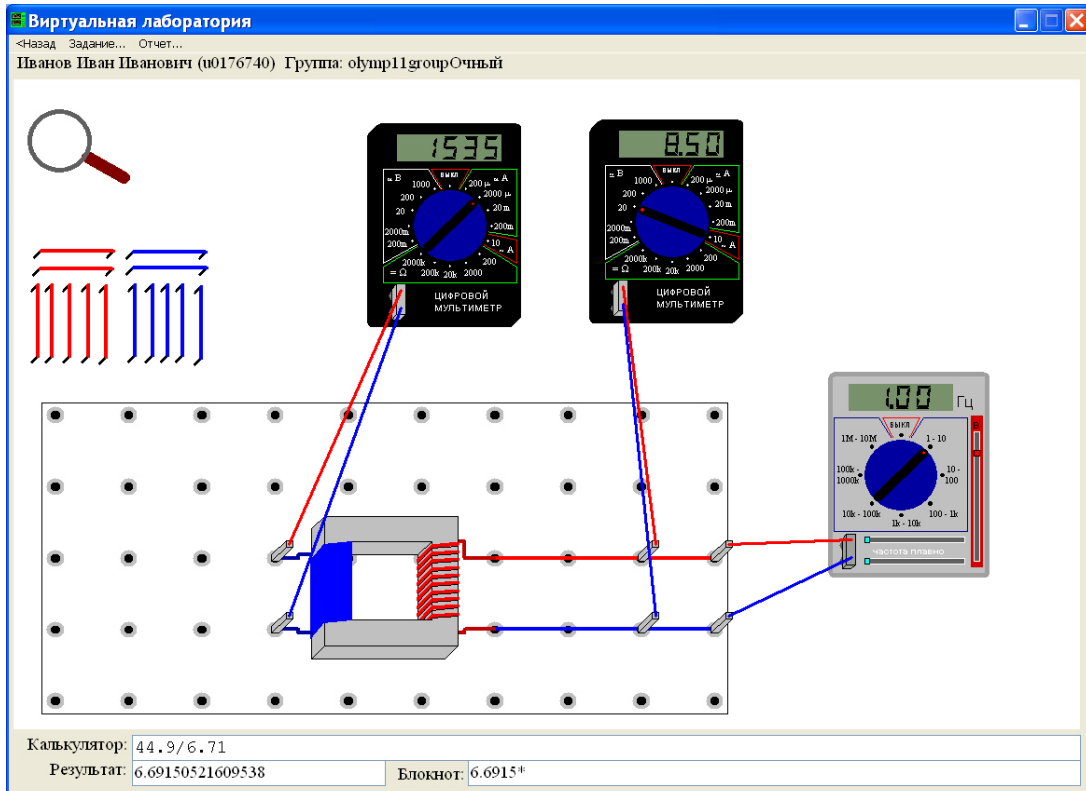
5. Уменьшаем частоту до минимальной, чтобы минимизировать влияние индуктивного сопротивления вторичной обмотки.

6. Увеличиваем частоту до максимальной, чтобы минимизировать влияние активного сопротивления первичной обмотки, и уменьшаем напряжение на выходе генератора так, чтобы получить на обоих вольтметрах максимальное количество значащих цифр.



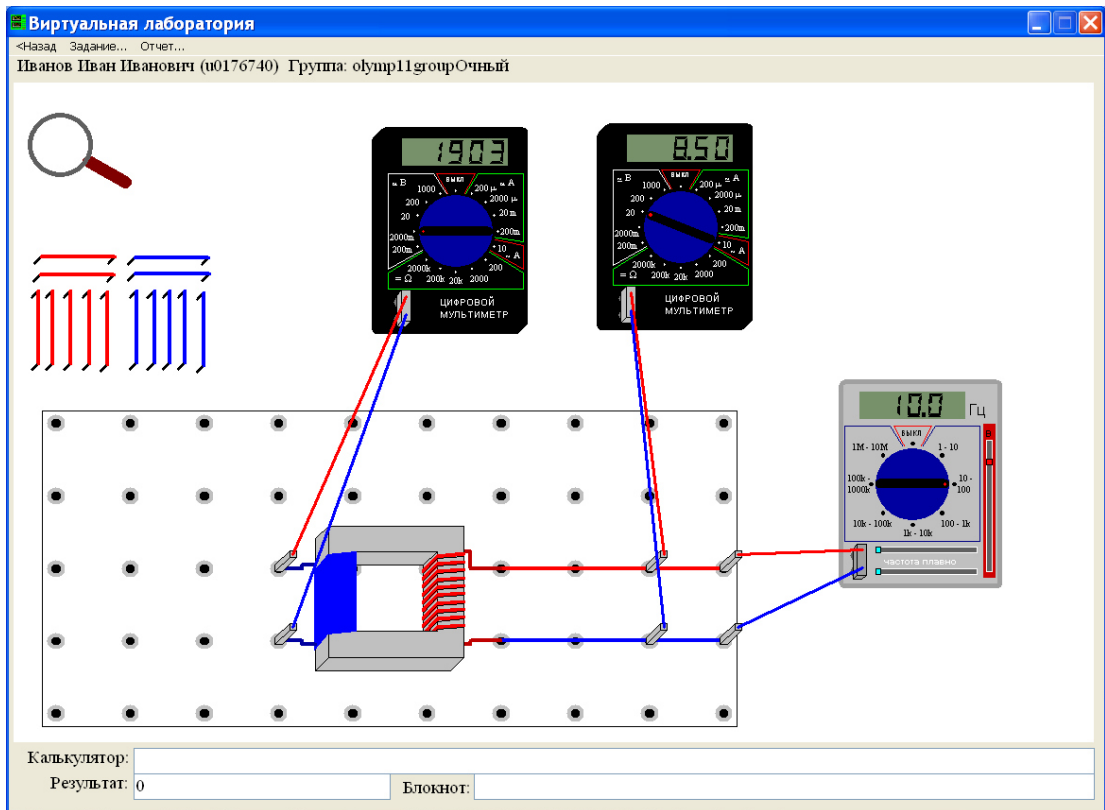
Напряжение на вторичной обмотке $V_2=190.4$ мВ.

7. Переключаем мультиметр, подключенный к вторичной обмотке, в режим микроамперметра. Ток $J_2=1535$ мкА=1.535 мА.

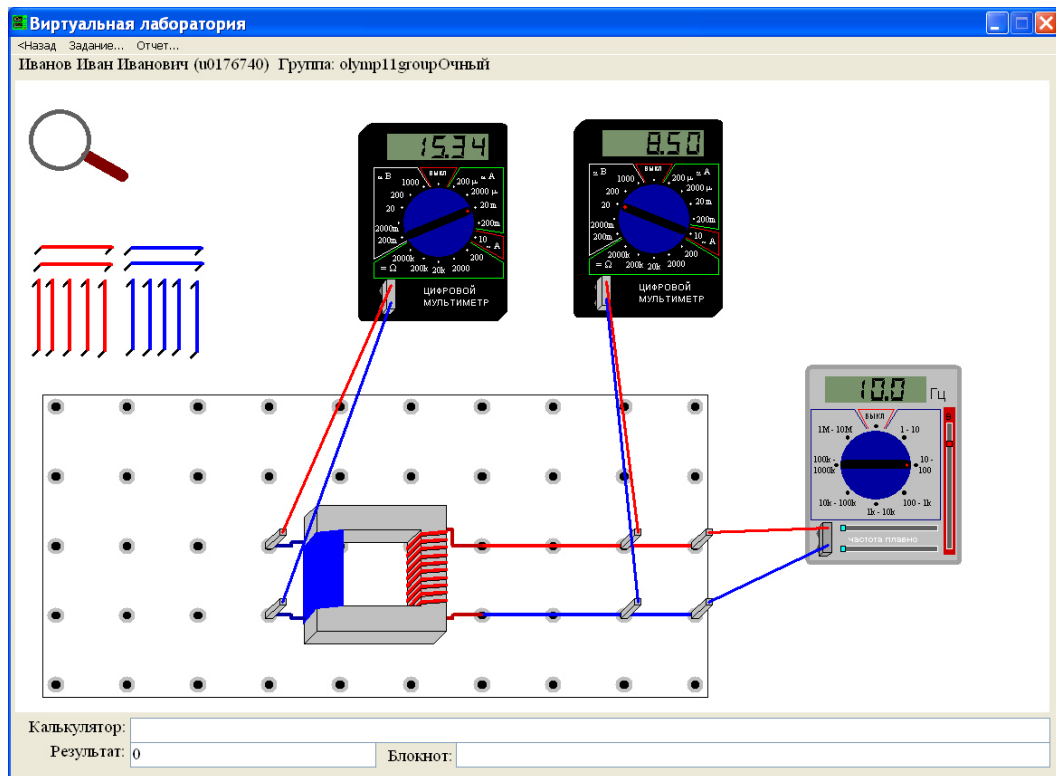


При низких частотах индуктивное сопротивление мало, и получаем $R_2=190.4/1.535$ мВ/мА= 124.04 Ом.

8. Проверяем результат, увеличивая частоту на порядок.



Напряжение на вторичной обмотке $V_2' = 1903$ мВ. Измеряем ток.



Получаем $I_2' = 15.34$ мА, $R_2 = 1903 / 15.34$ мВ/мА = 124.05 Ом. Таким образом, полученное значение не зависит от частоты, и, следовательно, погрешность от вклада в его измерение реактивной составляющей пренебрежимо мала.

9. Результат отсылки результатов на сервер:

Виртуальная лаборатория

<Назад Задание... Отчет...
Иванов Иван Иванович (и0176740) Группа: олимп11groupОчный

Отчет

Название	Ответ	Результат	Баллы
Число витков N2 вторичной обмотки	67	Правильно	5
Сопротивление R1 первичной обмотки (Ом)	0.940	Правильно	5
Сопротивление R2 вторичной обмотки (Ом)	124.04	Правильно	5
Индуктивность L1 первичной обмотки (мкГн)		Неправильно	0

За текущую попытку : 15

Сообщение с веб-страницы

Время сервера при открытии страницы: 24.04

Частично правильно!

Очистить Закрыть

Калькулятор: 190.4/1.535
Результат: 124.039087947882 Блокнот:

Обратите внимание, что в сложных многоступенчатых заданиях лучше не пытаться выполнить все задания, а проверить себя и отсылать на сервер результаты для наиболее простых частей задания, которые вы более-менее уверенно выполнили. Если вы что-то делаете неправильно, это будет видно по незачтённым пунктам, и у вас будет время для того, чтобы откорректировать свои действия или более точно провести измерения.

10. Вновь соберём схему, в которой измеряется ток I_1 через первичную обмотку и напряжение V_1 на ней. Поскольку нам необходимо измерять индуктивность первичной обмотки, необходимо минимизировать вклад активного сопротивления. Поэтому установим максимальную частоту F сигнала с генератора.

Виртуальная лаборатория

<Назад Задание... Отчет...
Иванов Иван Иванович (и0176740) Группа: олимп11groupОчный

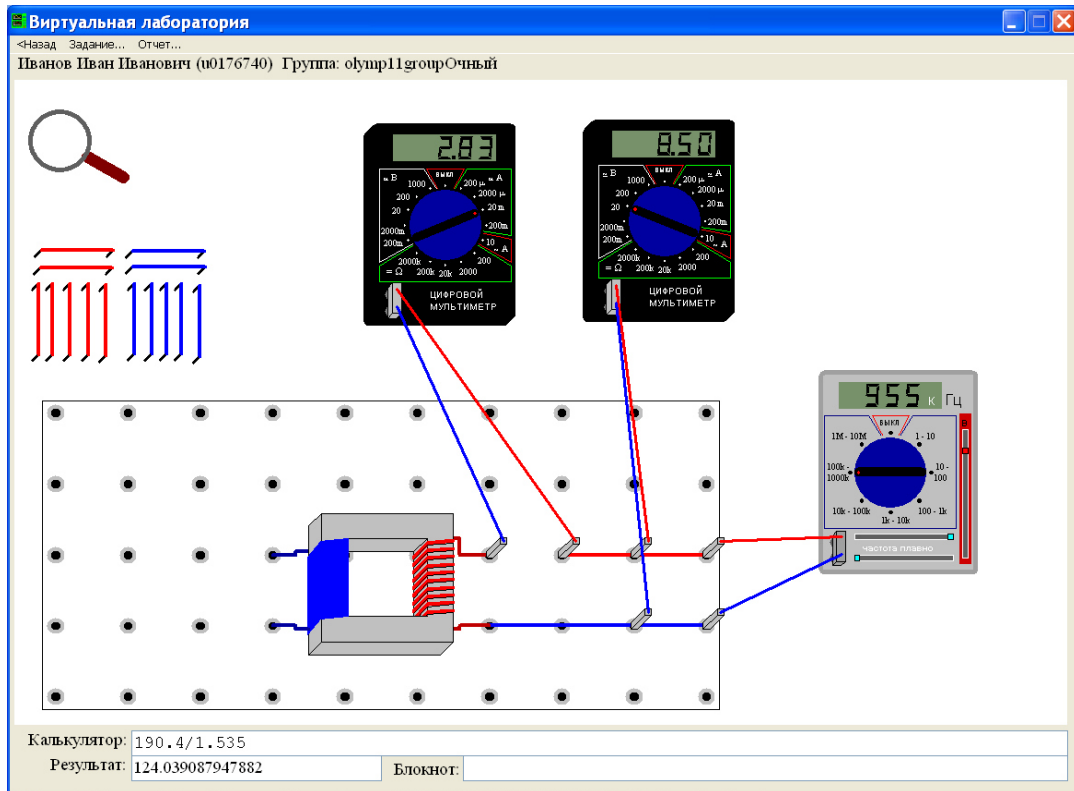
ЦИФРОВОЙ МУЛЬТИМЕТР

ЦИФРОВОЙ МУЛЬТИМЕТР

ЦИФРОВОЙ МУЛЬТИМЕТР

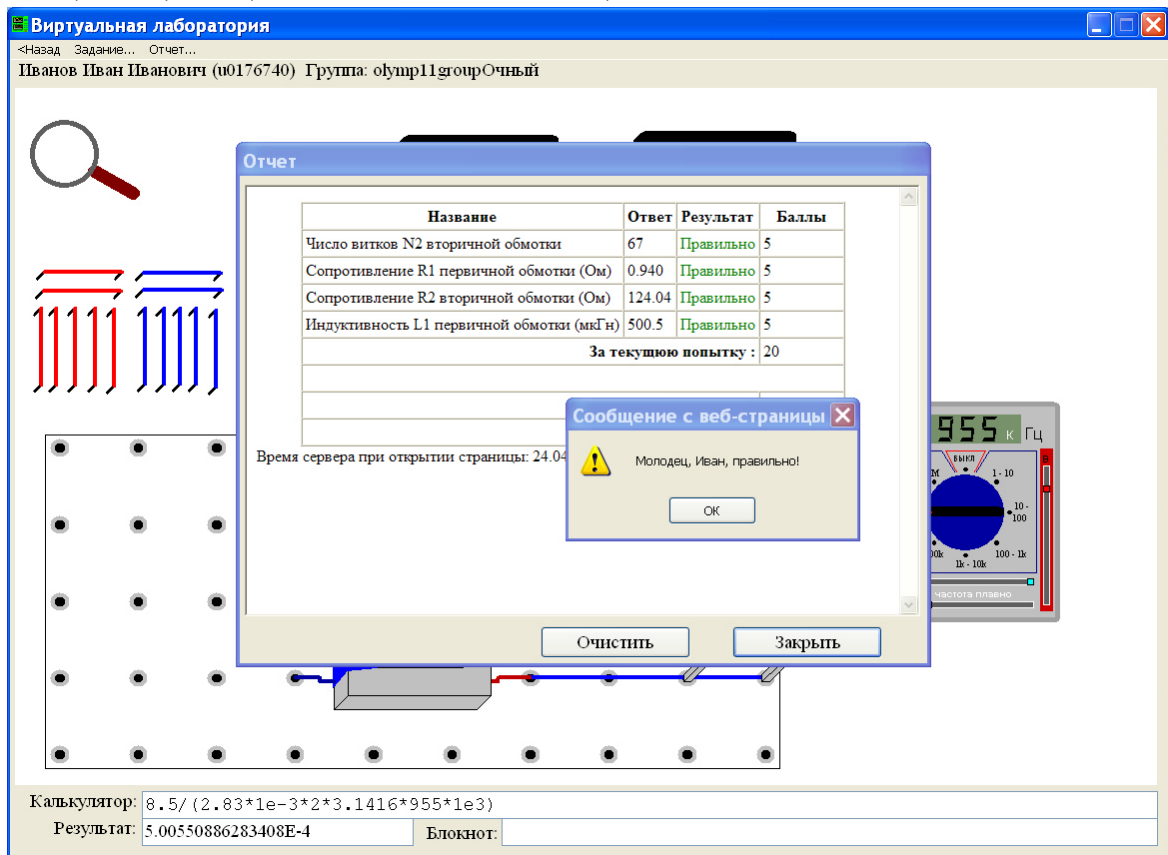
Калькулятор: 190.4/1.535
Результат: 124.039087947882 Блокнот:

11. При уменьшении частоты F на порядок ток возрастает на порядок.

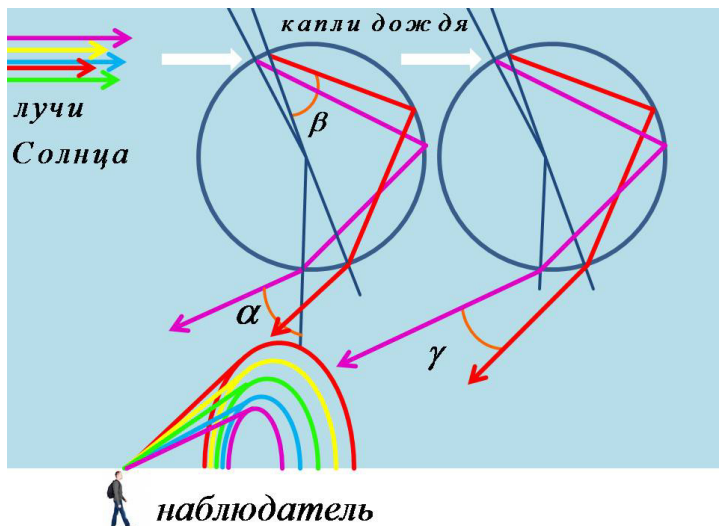


Это означает, что вклад активного сопротивления в сопротивление цепи пренебрежимо мал, и $V1/J1 = 2\pi F L$. Поэтому

$$L = V1/(J1 \cdot 2\pi F) = 8.5 / (2.83 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 3.1416 \cdot 955 \cdot 10^3) \text{ Гн} = 5.005 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} = 500.5 \text{ мкГн}.$$



11класс. Задача: Радуга на придуманной планете (20 баллов)



Первичная радуга (чаще всего мы видим именно её) возникает, когда солнечные лучи преломляются, падая на капельку дождя, один раз отражаются от ее поверхности и опять преломляются, выходя в воздух (см. рис.). Оказалось, что при увеличении угла падения лучей на поверхность каплю, скорость роста угла разворота лучей каплями в зависимости от угла падения проходит через минимум. Таким образом, интенсивность лучей, повернутых каплями именно на этот критический угол, выше, чем

идущих под чуть большими или меньшими углами. Величина этого угла зависит от показателя преломления воды, а он разный для лучей разного цвета, поэтому полоса каждого цвета в радуге наблюдается под своим углом. Школьники придумали планету, где капли дождя обладают очень сильной дисперсией — для красного света показатель преломления $n_1=1.37$, а для фиолетового $n_2=1.58$, при этом показатель преломления атмосферы равен единице. Определите:

- 1) На какой угол θ разворачиваются дождём красные лучи радуги.
 - 2) Под каким углом β преломляются красные лучи радуги, входя в каплю инопланетного дождя.
 - 3) Под каким углом α преломляются фиолетовые лучи, выходя из капли в атмосферу.
 - 4) Под каким углом γ друг к другу выходят из капли дождя фиолетовые и красные лучи.
- Ответы вводите с точностью до десятых, число $\pi=3.1416$. Производная от $\sin(x)$ равна $\cos(x)$, производная от $\arcsin(x)$ равна $1/\sqrt{1-x^2}$, где \sqrt{y} — квадратный корень из y .

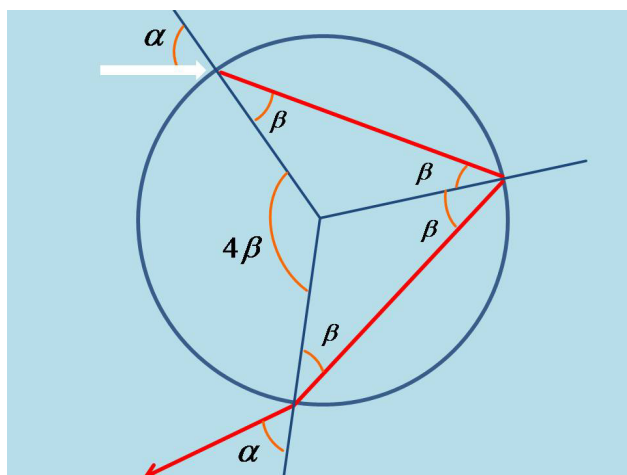
Введите ответ:

Угол поворота красных лучей $\theta =$ °

Входя в каплю, красные лучи преломляются на угол $\beta =$ °

Выходя из капли, фиолетовые лучи преломляются на угол $\alpha =$ °

Угол между лучами в радуге $\gamma =$ °



Решение.

1. Построим ход лучей в капле. Введём обозначения α — угол падения, β — угол преломления. По рисунку видно, что падающий луч разворачивается на угол $\theta = 2\pi - 4\beta + 2\alpha$.

По закону преломления света

$$\beta = \arcsin\left(\frac{\sin(\alpha)}{n}\right).$$

Для нахождения минимума про дифференцируем угол поворота

$$\theta = 2\pi - 4 \arcsin\left(\frac{\sin(\alpha)}{n}\right) + 2\alpha$$

по α и приравняем производную к нулю:

$$1 - \frac{2}{\sqrt{1 - \left(\frac{\sin(\alpha)}{n}\right)^2}} \frac{\cos(\alpha)}{n} = 0.$$

После алгебраических преобразований находим

$$\cos(\alpha) = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{3}},$$

$$\sin(\alpha) = \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}.$$

Отсюда находим значение α_1 для красных лучей и подставляем его в формулу для θ .
Получаем, что красные лучи разворачиваются в капле на угол

$$\theta_1 = 2\pi - 4 \arcsin\left(\frac{\sin(\alpha)}{n}\right) + 2\alpha = 360^\circ - 4 \arcsin\left(\frac{\sin(\alpha_1)}{n}\right) + 2\alpha_1 = 323.0^\circ.$$

2. Подставляя значение α_1 в формулу для β , находим угол преломления для лучей красного цвета $\beta_1 = 37.9^\circ$.

3. Аналогично, для фиолетовых лучей угол преломления на выходе из капли $\alpha_2 = 45.1^\circ$.

4. Угол между лучами в радуге равен разнице углов поворота для фиолетовых и для красных лучей $\gamma = 4\beta_1 - 2\alpha_1 - 4\beta_2 + 2\alpha_2 = 20.6^\circ$.

В.В.Монахов, С.А.Курашова, А.В.Кожедуб, А.А.Королев, О.В.Огинец

Разбор заданий интернет-олимпиады школьников по физике, 2017/2018 учебный год

Учебно-методическое пособие

2-е издание, переработанное и дополненное

Издание прошло редакционно-корректорскую правку