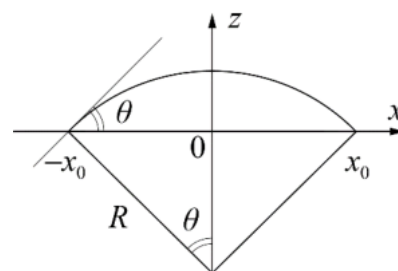


Э-9.2. Капля на стекле. Маленькая капля жидкости на плоской поверхности принимает форму шарового сегмента (см. рис.). Диаметр d ($d = 2x_0$) капли зависит от объёма V_B жидкости в капле и угла θ . При увеличении объёма капли её поверхность перестаёт быть сферической и становится более плоской. Критерием того, что капля действительно представляет собой шаровой сегмент, является линейная зависимость её объёма от куба диаметра



$$V_B = kd^3. \quad (1)$$

В данной работе вам предстоит определить коэффициент пропорциональности k для капли воды на стекле и оценить угол θ .

Задание

1. Определите объём V_K одной капельки воды, отрывающейся от иглки шприца (см. фото) при медленном движении поршня.
2. Подготовьте поверхность стекла. Для этого нанесите на неё несколько капелек воды и тщательно протрите поверхность бумажной салфеткой до полного удаления следов жидкости. Дайте возможность испариться невидимым остаткам воды в течение 1 – 2 минут.
3. Используя миллиметровую бумагу и увеличительное стекло, снимите зависимость диаметра капли на стекле d от её объёма V_B . Для этого вам достаточно изменять объём капли от V_K до $10V_K$.
4. Постройте график зависимости $V_B = kd^3$. Укажите на нём абсолютные погрешности измеренных величин. Определите значение коэффициента k и оцените его погрешность.
5. С помощью приведённой таблицы постройте график зависимости угла θ от коэффициента k . Определите угол θ_0 , соответствующий условиям вашего эксперимента и оцените его погрешность.



$k, 10^{-3}$	0,0	17,8	53,5	82,7	102,3	128,3	147,2	168,7
θ , град	0,0	10	30	44	52	61	66	72

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

После окончания работы с иглой помещайте её в защитный колпачок!

Оборудование. Предметное стекло, шприц, увеличительное стекло, лист миллиметровой бумаги, стакан с водой, бумажные салфетки – 3 шт.

Э-9.2. Возможное решение

1. Определяем объём V_k одной капельки, отрывающейся от иглы шприца. Для этого набираем полный шприц воды и, удерживая его в вертикальном положении, медленно выдавливаем воду в стакан. Производим подсчёт числа N вытекающих капелек, а по шкале шприца определяем объём вытекающей воды V_B . Ниже представлена таблица 1 зависимости $N(V_B)$. Объём одной капельки V_k находим как угловой коэффициент линейной функции $V_B = V_k N$, график которой представлен на рис. 1. В результате получаем $V_k = 4,2 \cdot 10^{-3}$ мл. Этот объём зависит от внутреннего диаметра иглы и свойств жидкости.

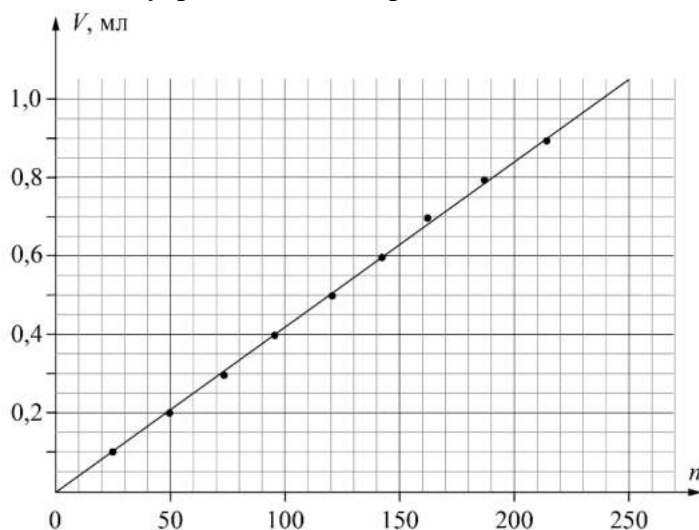


Рис.1

V_B , мл	N , шт
0,1	24
0,2	49
0,3	73
0,4	95
0,5	120
0,6	142
0,7	162
0,8	187
0,9	214

Табл. 1

Следует подчеркнуть, что при оценивании данного пункта задания необходимо учитывать **многократность измерений**, которая может быть реализована и другими способами. Отметим, также, что полученные результаты зависят от свойств используемой в эксперименте воды, наличия или отсутствия вибрации шприца в момент отрыва капли, т.е. могут отличаться от авторских.

2. Наносим несколько капелек на стекло с помощью шприца. Чтобы они оставались фиксированного объёма, капельки не должны касаться большой капли на стекле. Измерение диаметра капли на стекле производим по клеточкам миллиметровой бумаги (рис. 3). На рис. 4 приведён вид капли сбоку.

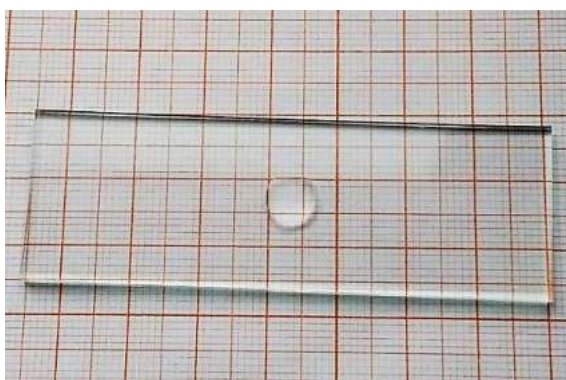


Рис.3



Рис. 4

3. По правилам физических измерений мы не можем определять размеры капли точнее, чем половина цены деления измерительного прибора (миллиметровой бумаги).

При измерениях для удобства пользуемся увеличительным стеклом. Полученные результаты представлены в таблице 2. В пятом столбце приведена относительная погрешность измерения диаметра капли, рассчитанная как отношение половины цены деления (0,5 мм) к измеренному значению диаметра. В шестом столбце приведена относительная погрешность определения куба диаметра капли рассчитанная как значение пятого столбца, умноженное на 3.

Число капель N , шт	Объём капли на стекле V_B , мл	Диаметр капли на стекле d , мм	d^3 , мм ³	$\varepsilon(d)$, %	$\varepsilon(d^3)$, %	$\Delta(d^3)$, мм ³
1	0,0042	5,0	125	10,0	30,0	38
2	0,0084	5,5	166	9,1	27,3	45
3	0,0126	6,0	216	8,3	25,0	54
4	0,0168	7,5	422	6,7	20,0	84
5	0,0210	8,0	512	6,3	18,8	96
6	0,0252	9,0	729	5,6	16,7	122
7	0,0294	9,5	857	5,3	15,8	135
8	0,0336	10,0	1000	5,0	15,0	150
9	0,0378	10,0	1000	5,0	15,0	150
10	0,0420	10,5	1158	4,8	14,3	165

Табл.2

В седьмом столбце указана абсолютная погрешность определения куба диаметра. Эти значения необходимы для построения графика зависимости $V_B(d^3)$, который представлен на рис. 5. Угловой коэффициент прямой, проведённой с минимально возможным наклоном, равен $k_{\min} = 0,032$, а с максимально возможным наклоном $k_{\max} = 0,041$. В итоге, значение углового коэффициента можно представить как $k = (37 \pm 5) \cdot 10^{-3}$.

Примечание. Расчёт, проведенный методом наименьших квадратов для прямой, построенной по точкам второго и четвёртого столбца таблицы 2, дает $k = (36 \pm 3) \cdot 10^{-3}$, что подтверждает достоверность приведённой оценки погрешности графическим методом.

Из графика зависимости k от θ находим, что в данном эксперименте угол θ_0 равен $21^\circ \pm 3^\circ$.

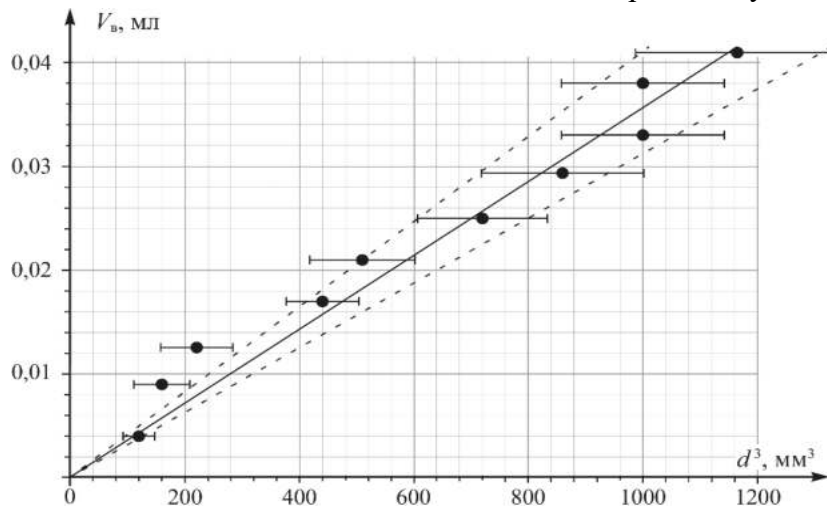


Рис.5

LVI Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 24 января 2022 г.
9 класс

№	Э-9.1. Критерии оценивания (из 20 баллов)	Баллы
1	<p>Определено значение объёма одной капельки из шприца V_k</p> <p>Множественно (график или иначе) 2 балла</p> <p>Однократно 1 балл</p> <p>Результат 1 балл</p>	3
2	<p>Таблица измерений зависимости $d(N)$</p> <p>Серия измерений проведена 2 раза или более 4 балла</p> <p>Однократно 3 балла</p>	4
3	Дополнение таблицы значениями V_v и d^3	1
4	<p>График зависимости $V_v(d^3)$</p> <p>- подписаны оси и указаны единицы измерения 1 балл</p> <p>- равномерная и удобная шкала (1, 2, 5 мелких клеток между соседними оцифрованными штрихами) 0,5 балла</p> <p>- масштаб (график занимает более 60% поля листа) 0,5 балла</p> <p>- верно нанесено не менее 90% точек 0,5 балла</p> <p>- проведена гладкая линия 0,5 балла</p> <p>- нанесены погрешности (кресты ошибок) 1 балл</p>	4
5	Определено значение коэффициента k	2
6	Оценка погрешности k	1
7	<p>Построение калибровочного графика θ от коэффициента k</p> <p>- подписаны оси и указаны единицы измерения 1 балл</p> <p>- равномерная и удобная шкала 0,5 балла</p> <p>- масштаб (график занимает более 60% поля листа) 0,5 балла</p> <p>- верно нанесено не менее 90% точек 0,5 балла</p> <p>- проведена гладкая линия 0,5 балла</p>	3
8	Определено значение угла θ_0	1
9	Найдена погрешность θ_0	1