

Лабораторная работа № 16.

$\Delta T =$

№

Протокол.  
Определение вязкости воздуха.

Графобрик и оборудование: склянкой со щелью с мерной линией, пробка с петлей для выравнивания температуры, секундомер.

$$R_{\text{запись}} = 1,62 \cdot 10^{-2} \text{ см}$$

$$r_{\text{запись}} = 3,4 \text{ см.}$$

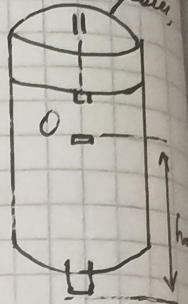
$$h_0 = 59,0 \text{ см}$$

$$S = 18,5 \text{ см}^2$$

$$\rho_{\text{возд}} = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}, \Delta t = 0,0005 \text{ см}, \Delta l = 0,4 \text{ см}, \Delta h = 0,1 \text{ см}$$

$$t = 20^\circ \text{C}$$

$$P = 748 \text{ мм.рт.ст.}$$



Метод	h, см	t <sub>1</sub> , с	t <sub>2</sub> , с	t <sub>3</sub> , с	t <sub>среднее</sub> , с	ln(h/h <sub>0</sub> )
2	57	16,41	15,42	15,70	15,94	-0,03049
4	55	33,05	32,07	32,49	32,54	-0,04020
6	53	48,86	48,63	49,21	48,90	-0,10428
8	51	66,93	66,94	67,64	67,18	-0,14571
10	49	85,44	85,46	86,42	85,98	-0,18572
12	47	104,45	104,36	104,92	104,58	-0,22439
14	45	124,18	123,68	124,22	124,03	-0,24088
16	43	144,04	144,64	145,16	144,82	-0,21639
18	41	166,41	165,92	166,80	166,38	-0,26387
20	39	188,64	188,49	188,93	188,79	-0,41398
22	37	212,04	211,97	213,41	212,57	-0,48882
24	35	236,19	236,85	237,43	236,80	-0,52219
26	33	262,13	262,58	263,59	262,74	-0,58103
28	31	289,35	290,02	292,20	290,52	-0,64355
30	29	318,65	320,44	322,00	320,36	-0,710242
32	27	351,84	351,48	352,79	352,03	-0,48140
34	25	383,91	385,34	386,96	385,40	-0,85866
36	23	419,84	420,40	421,11	420,55	-0,94204
38	21	460,50	460,53	464,63	460,89	-1,03302
40	19	504,35	504,28	505,33	504,65	-1,13210
42	17	550,42	550,35	551,86	550,98	-1,24432
44	15	602,68	603,95	604,89	603,84	-1,36948
46	13	663,51	662,56	662,89	662,99	-1,51259

$$\eta = \frac{\pi R \rho g}{8l S c} t^4$$

Горюнов

17.02.21

Астаров

(пункт 30)

Одно из изобретений Гейзера  
Определение вязкости воздуха.

Цель работы: определение вязкости воздуха.

Задание «оборудование»: стеклянный сосуд с плоской мембраной, пробка с каллиграфом, сосудомер.

$$R_{\text{плоского}} = 1,82 \cdot 10^{-2} \text{ см.}$$

$$L_{\text{плоского}} = 5,4 \text{ см}$$

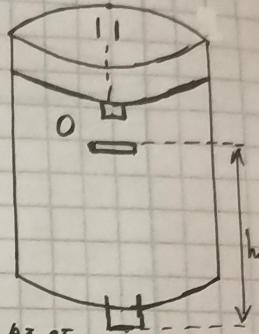
$$h_0 = 59,0 \text{ см}$$

$$S' = 18,5 \text{ см}^2$$

$$\beta_{\text{вязкости}} = 1 \% / \text{см}^3$$

$$\Delta t = 0,2 \text{ с}, \Delta R = 0,0001 \text{ см}, \Delta L = 0,1 \text{ см}, \Delta h_0 = 0,1 \text{ см.}$$

Температура и давление в помещении  
во время эксперимента:  $t = 20^\circ\text{C}$ ;  $p = 748 \text{ милли. рт. ст.}$



### Георгийевская часть.

В недногородском лаборатории газа (ныне гидрометеорологический институт), для которых в различных условиях проводились различные исследования, в частности, вязкость воздуха, было предложено методом пробки с каллиграфом определять вязкость воздуха. Наиболее распространенным уровнем вязкости воздуха является сопротивление течению воздуха в трубах, которое определяется вязкостью воздуха [1]. Для этого, скорость которого зависит от давления  $p$  и температуры  $T$ , а также от коэффициента сопротивления  $\eta$  (рис. 2), т.е.

$$V_x = V_x(y), \quad \text{где } V_x - \text{скорость воздуха, } F - \text{сопротивление течению.}$$

$$F = \eta S / \left| \frac{dV_x}{dy} \right| \quad (1)$$

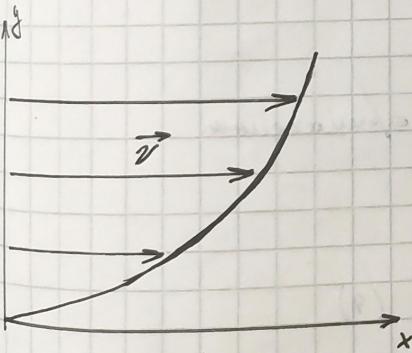


Рис. 2. Недногородский лаборатория газа

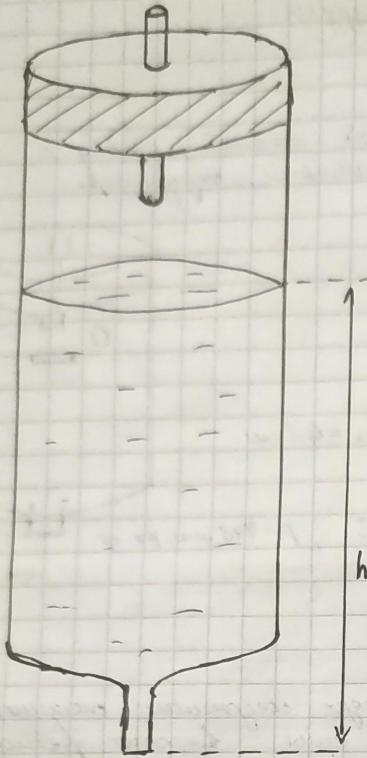
Коэффициент вязкости определяется из формулы, полученной Гейзером, для случая течения газа через каллиграфическое устройство, имеющее форму конуса (калиграф). При этом коэффициент вязкости газа определяется из формулы

коэффициента вязкости газа в единицах времени  $\Delta t$  по формуле

$$\eta = \frac{\pi R^4}{8 \gamma L} \Delta t \quad (2)$$

где  $R$  — радиус калиграфа, а  $L$  — его длина. Измеряется же вязкость по формуле (2) можно определить при известных значениях  $R$  и  $L$ .

## Экспериментальная установка.



Экспериментальная установка для определения коэффициента вытекания воздуха из сосуда передаваемого водой анионитическим сортом с помощью отверстия внизу, которое сверху закрывается пробкой с целью избавления в ней капилляров (рис. 2). К сосуду присоединена вертикальная линия для измерения уровня воды в сосуде.

Сосуд начиняется водой (при закрытии отверстия) и засыпается пробкой с капиллярами. Воды начнет отверстие открываться, и вода начнет вытекать. При этом объем воздуха в сосуде уменьшается и его давление понижается (воздух не успевает поступать в сосуд через капилляр). В результате скорость вытекающего из сосуда начнет уменьшаться. Когда скорость вытекания становится достаточно медленной, разность давлений воздуха вне сосуда (измеряемая давлением) и внутри сосуда станет равной состоявшему давлению в сосуде воды, измеренному со временем  $t_0$ . Тогда  $\Delta p = \rho g h(t)$ .

Объем  $V$  воздуха, вытекающего через капилляр за 1 секунду, равен объему вытекающему за 1 секунду воды  $v$ , таким образом, разница скорости изменения уровня воды, измеренная на концах капилляра, т.е.  $\Delta v = \rho g h(t)$ .

$$Q = -S \frac{dh}{dt} \quad (3)$$

Здесь  $"-$  учитывает, что вытекающая вода движется впереди.

Из формул (2) и (3) получаем

$$S \frac{dh}{dt} = - \frac{\pi R^4}{8 \gamma L} \rho g h \quad (4)$$

Интегрируя правое выражение (4), получим, что изменение уровня воды в сосуде приводит к экспоненциальному закону:

$$h(t) = h_0 e^{-t/t_0} \quad (5)$$

где  $t_0 = \frac{8 \gamma L S}{\pi R^4 \rho g}$  — характеристическое время вытекания воды, то есть время, за которое падает половина исходного уровня воды.

Момент
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
36
38
40
42
44
46

Сосуд

Прим

Практическая часть.

$$1044,13 \left( \frac{h_4}{h_0} - 0,255 \right) = \Delta T$$

номер	$h, \text{ см}$	$t_1, \text{ °C}$	$t_2, \text{ °C}$	$t_3, \text{ °C}$	$t_4, \text{ °C}$	$\ln \left( \frac{h}{h_0} \right)$
1	57	16,48	15,72	15,40	15,94	-0,03449
2	55	88,05	82,04	82,49	82,54	-0,04020
4	53	48,88	48,83	49,24	48,99	-0,10725
6	51	88,93	88,94	87,87	87,18	-0,14541
8	49	85,47	85,48	88,42	85,98	-0,18572
10	47	104,45	104,38	104,92	104,58	-0,22739
12	45	184,18	123,68	124,22	124,08	-0,27088
14	43	104,07	144,64	145,18	144,62	-0,31634
16	41	188,41	185,92	188,80	188,38	-0,36397
18	39	188,84	188,49	188,93	188,49	-0,41398
20	37	812,04	211,97	213,41	212,57	-0,48882
22	35	238,13	238,85	237,42	238,90	-0,52219
24	33	282,13	282,58	283,59	282,74	-0,58403
26	31	289,35	280,02	292,20	290,52	-0,64355
28	29	318,65	320,44	322,00	320,98	-0,730242
30	27	354,84	352,48	352,49	352,03	-0,78170
32	25	383,91	385,34	386,96	385,40	-0,85866
34	23	419,84	420,40	421,11	420,55	-0,934208
36	21	460,50	480,53	484,63	480,89	-1,03302
38	19	504,35	504,28	505,33	504,65	-1,13310
40	17	550,42	550,55	551,88	550,98	-1,24432
42	15	602,68	603,95	604,89	603,84	-1,36949
44	13	663,51	682,58	682,89	682,99	-1,51259

$$\gamma = \frac{\partial R^4}{8 \ell S_c}$$

Соответствующие параметры:  $\Delta t = 0,2 \text{ °C}$ ;  $\Delta h = \Delta h_0 = 0,1 \text{ см}$

$\Delta T = 0,03$

Дифференциальное уравнение:

$$Y = a X_1 + b X_2$$

$$\Delta Y = \sqrt{\left( \frac{\partial Y}{\partial X_1} \Delta X_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial Y}{\partial X_2} \Delta X_2 \right)^2}$$

$$\Rightarrow \Delta \ln \left( \frac{h}{h_0} \right) = \sqrt{\left( \frac{1}{h_0} \cdot \Delta h \right)^2 + \left( \frac{1}{h} \cdot \Delta h \right)^2} = \sqrt{\left( \frac{\Delta h}{h_0} \right)^2 + \left( \frac{\Delta h}{h} \right)^2}$$

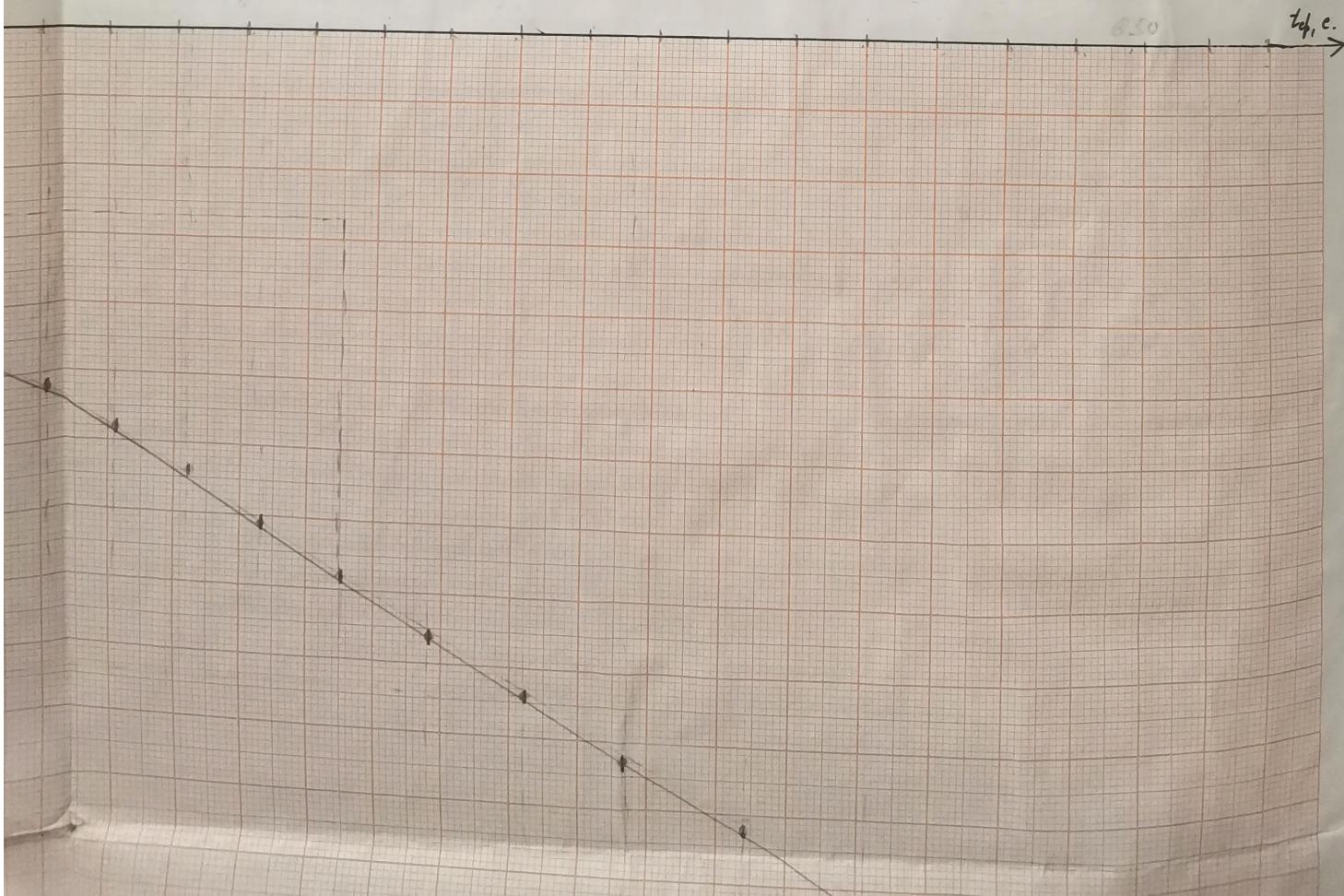
$\Delta T = 0,03$

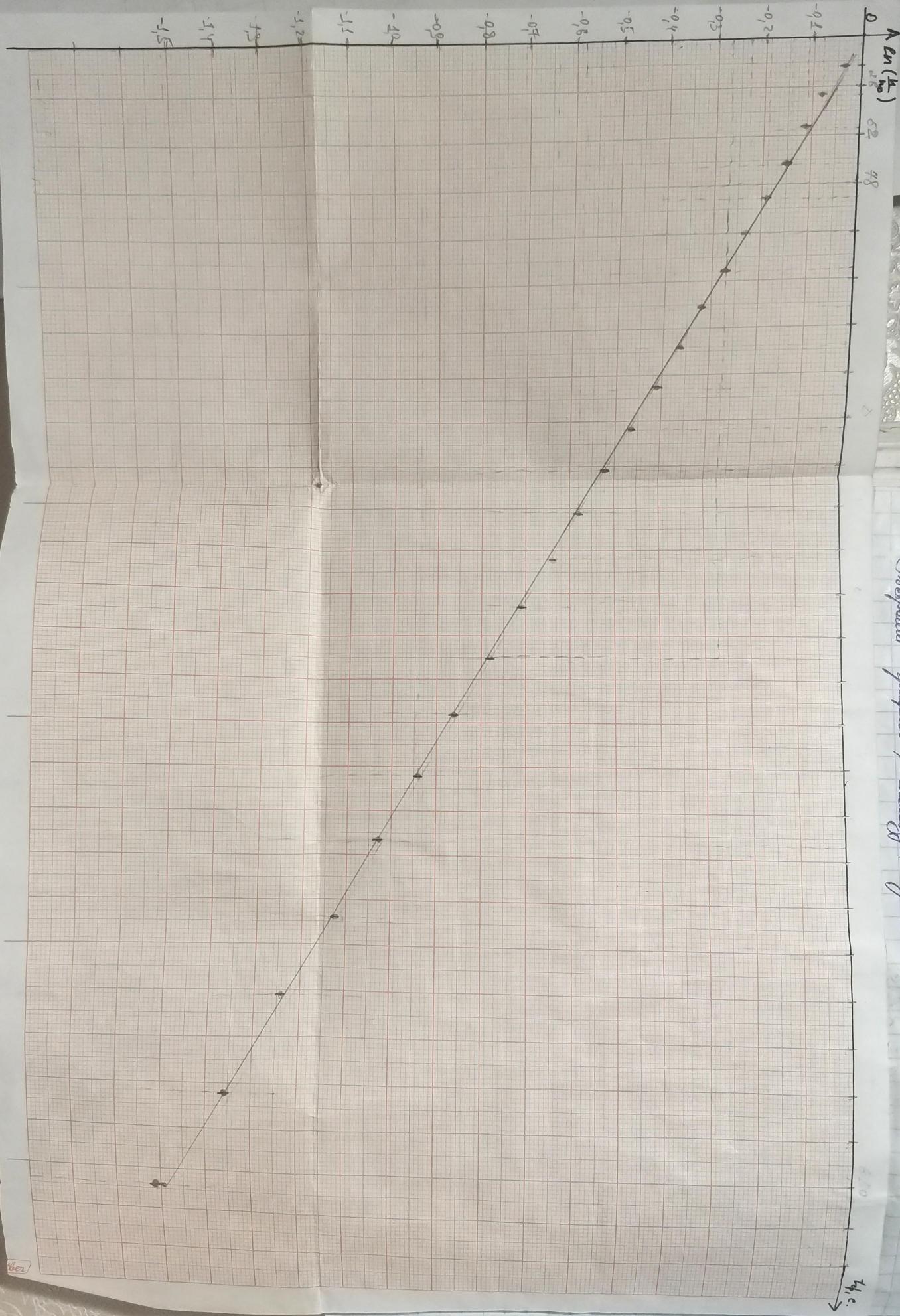
Примечание к таблице:  $h$  - высота стояка манометра ( $h(t), \text{ см}$ );  
 $t_1, t_2, t_3$  - время изменения стояка  
 манометра в 1, 2 и 3 опуское сопротивление;  
 $t_{ср.}$  - среднее из  $t_1, t_2, t_3$ ;  
 $h_0$  - начальная высота стояка манометра.

Габариты погрешностей.

$h, \text{см}$	$\Delta \ln\left(\frac{h}{h_0}\right) = \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{h_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta n}{n}\right)^2}$	$\ln\left(\frac{h}{h_0}\right)$	$\Delta t, \text{с}$	$\Delta h, \text{см}$	$h_0, \text{см}$
57	0,0024	-0,03449			
55	0,0025	-0,07020			
53	0,0025	-0,10725			
51	0,0026	-0,14571			
49	0,0024	-0,18572			
47	0,0027	-0,22439			
45	0,0028	-0,24088			
43	0,0029	-0,24634			
41	0,0030	-0,36397			
39	0,0031	-0,46898			
37	0,0032	-0,48862			
35	0,0033	-0,52219			
33	0,0035	-0,58103			
31	0,0036	-0,64355			
29	0,0038	-0,410242			
27	0,0041	-0,48140			
25	0,0043	-0,85866			
23	0,0044	-0,94204			
21	0,0051	-1,08302			
19	0,0055	-1,13310			
17	0,0061	-1,24432			
15	0,0069	-1,36949			
13	0,0079	-1,51259			

Построение графиков, используя данные таблицы.





Природа процесса, неизвестные параметры

Будем, что график лин  $\ln\left(\frac{h}{h_0}\right)$  от  $t$   $\rightarrow 1044,13 \left( \frac{4\pi}{16\pi} - 0,255 \right) = \Delta T$

$$\Delta T = \frac{4\pi}{16\pi} - 0,255$$

$$h(t) = h_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

$$e^{-\frac{t}{T}} = \frac{h(t)}{h_0} \rightarrow -\frac{t}{T} = \ln\left(\frac{h}{h_0}\right)$$

$$\Rightarrow T = -\frac{t}{\ln\left(\frac{h}{h_0}\right)} = -\frac{t}{\frac{\ln\left(\frac{h}{h_0}\right)}{t}} = -\frac{t}{k}, \text{ где}$$

$k$  - коэффициент наклона прямой (из графика)

По графику:  $T \approx \frac{1}{9,508} \approx 447 \text{ с.}$

Расчет коэффициента без коэс.

$$\eta = \frac{\Delta R \cdot g \cdot T}{8 \cdot h \cdot S}$$

$$\delta\eta = 4\delta R + \delta L = 4 \cdot \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta L}{L_{\text{номинальна}}} \approx 0,0641 = 6,41\%$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} \cdot (1,82 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 981 \cdot 1 \cdot 447}{8 \cdot 2,4 \cdot 18,5} \approx 18,86 \cdot 10^{-5} \Pi$$

$$\Delta\eta = \delta\eta \cdot \eta \approx 1,02 \cdot 10^{-5} \Pi$$

$$\Rightarrow \eta \approx (18,86 \pm 1,02) \cdot 10^{-5} \Pi$$

Вывод: В результате работы было измерено время вспышки

$$\eta = (18,86 \pm 1,02) \cdot 10^{-5} \Pi$$

\* определена зависимость времени вспышки от времени ( $\ln\left(\frac{h}{h_0}\right)$  от  $t$ )

Причина этого заключается в том, что, когда время вспышки становиться меньше (при  $h < 9 \text{ см.}$ ), она не гаснет спонтанно, а так просто погасает (переопределение определения времени "ожига").

17.03.26