

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСМОТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

Маслов Артём

Брицко Владимир

Б01-104

18.05.2022

Цель работы:

1. Измерение осмотического давления при разной концентрации жёлтой кровяной соли;
2. Проверка закона Вант-Гоффа.

Оборудование:

Осмометр; секундомер; пипетка; мерный стаканчик; химический стакан.

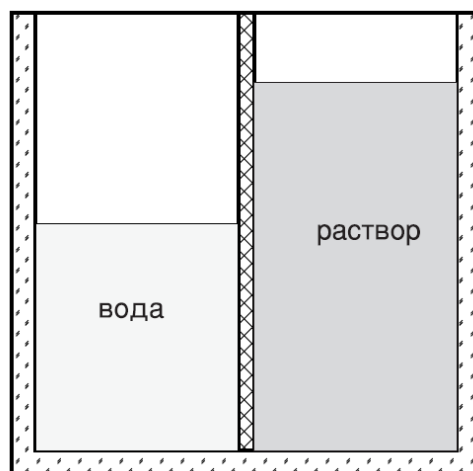
Аннотация

В работе изучаются свойства полупроницаемых перегородок. Измеряется осмотическое давление при разной концентрации кровяной соли. Проверяется выполнение закона Вант-Гоффа.

Теория

Полупроницаемой перегородкой называется перегородка, которая пропускает молекулы растворителя, но не пропускает молекулы растворённых в ней соединений. Прохождение растворителя через полупроницаемую перегородку называется *осмосом*.

Рассмотрим сосуд, разделённый на две части полупроницаемой перегородкой. По одну сторону находится вода, по другую — водный раствор вещества, молекулы которого не могут проходить через перегородку. Наполним обе части сосуда до одинакового уровня. Опыт показывает, что вода начинает переходить в ту часть сосуда, где содержится раствор. Этот переход продолжается до тех пор, пока между водой и раствором не установится некоторая разность уровней, а следовательно, и разность давлений, которая называется *осмотическим давлением*.



Опыт показывает, что осмотическое давление для весьма разбавленных растворов численно равно давлению, которое оказывало растворенное вещество, если бы оно при данной температуре находилось в состоянии идеального газа и занимало бы объём, равный объёму сосуда. Данное соотношение называется законом Вант-Гоффа:

$$P_{осм} = nkT$$

где n — концентрация растворенного вещества, k_B — постоянная Больцмана, T — температура.

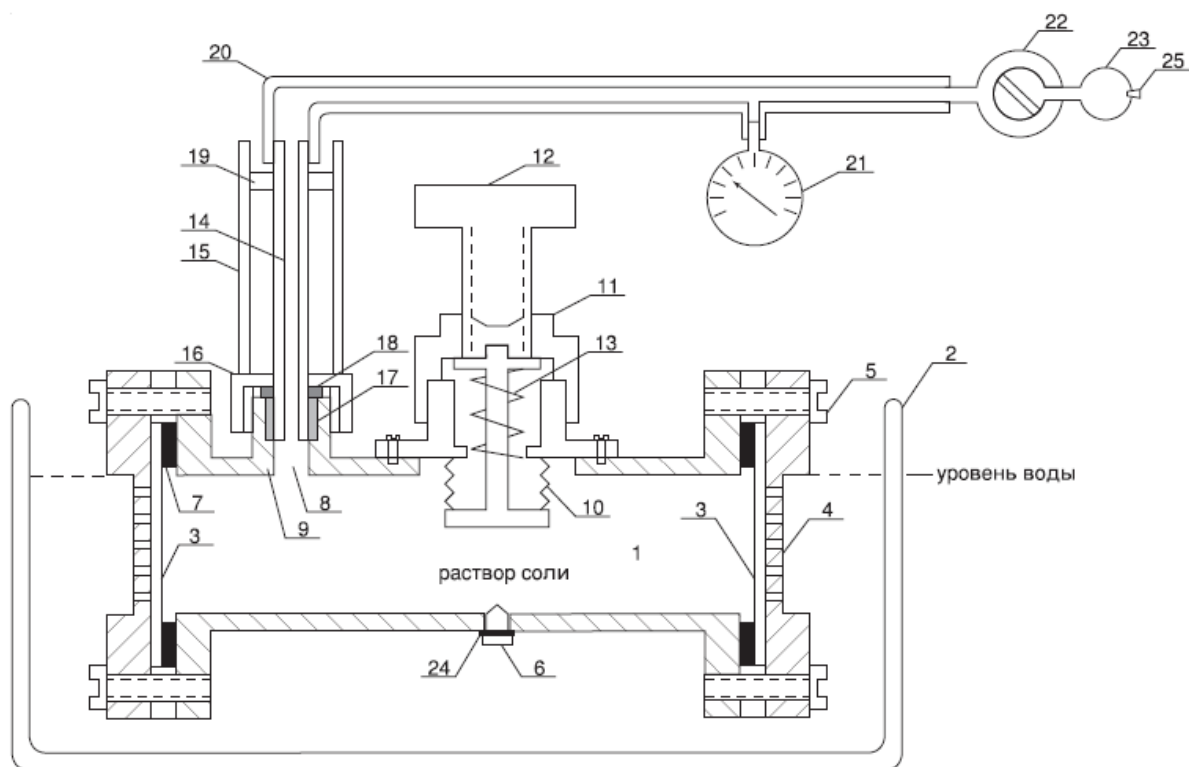
Методика измерения

Приборы, служащие для измерения осмотического давления, называются *осмометрами*. Прохождение растворителя через полупроницаемую перегородку происходит медленно, так что равновесие устанавливается не скоро. Для ускорения измерений, над раствором создают избыточное давление воздуха. Если избыточное давление равно осмотическому, то переход растворителя через перегородку прекращается. Если же оно превышает осмотическое давление, то растворитель переходит через перегородку в обратном направлении. Таким образом измерение осмотического давления сводится к измерению равновесного давления газа.

Для определения $P_{осм}$ измеряется изменение скорости v движения уровня раствора в капилляре в зависимости от давления P и строится график зависимости $v(P)$. Чем больше разность давлений $P - P_{осм}$, тем больше скорость v движения уровня в капилляре. При $P \approx P_{осм}$ эта скорость равна 0. Поэтому измерения следует проводить либо при $P \gg P_{осм}$, либо при $P \ll P_{осм}$. По графику определяется значение P , при котором $v = 0$, то есть осмотическое давление.

Схема экспериментальной установки

Схема используемого в работе осмометра приведена на рисунке:



- | | |
|--|---|
| 1. Контейнер для раствора соли. | 13. Пружина. |
| 2. Сосуд с дистиллированной водой. | 14. Стекланный капилляр. |
| 3. Целлофановая плёнка. | 15. Металлический кожух капилляра. |
| 4. Защитная сетка. | 16. Накидная гайка кожуха. |
| 5. Прижимной винт. | 17. Резиновая трубка, герметизирующая прокладка. |
| 6. Пробка-отверстие для заполнения сосуда раствором; | 18. Металлическая шайба. |
| 7. Резиновая прокладка. | 19. Подвижная резиновая втулка для крепления капилляра. |
| 8. Отверстие, через которое раствор поступает в капилляр. | 20. Резиновый шланг. |
| 9. Металлическая втулка, запрессованная в корпус контейнера. | 21. Манометр. |
| 10. Гофрированная поверхность. | 22. Стекланный кран. |
| 11. Накидная гайка для грубой регулировки объёма сосуда. | 23. Резиновая груша для создания повышенного внешнего давления. |
| 12. Винт тонкой регулировки объёма. | 24. Клапан. |

Раствор заливается в контейнер 1, который помещается в сосуд с растворителем 2. Контейнер представляет собой куб, закрытый с четырёх сторон полупроницаемыми целлофановыми мембранами 3 толщиной 0,2 мм. Мембраны зажимаются между стенками куба и металлическими сетками 4, которые предохраняют мембраны от раздувания наружу. Между мембранами и стенками вставлены резиновые уплотнения 7. Сосуд заполняется раствором через отверстие в дне куба, плотно закрываемое металлической гайкой 6 с резиновой прокладкой 21. Через крышку куба вставлен стеклянный капилляр 14, внутренний диаметр 0,5 мм.

В процессе осмоса объём раствора увеличивается, и уровень раствора движется по капилляру вверх. Скорость подъёма уменьшается при избыточном давлении воздуха на верхнем конце капилляра. Избыточное давление создаётся с помощью груши 23 со встроенный клапаном 25 и фиксируется краном 22. Давление измеряется манометром 21. Кран 22 также позволяет сбросить избыточное давление.

На крышке куба смонтировано устройство, состоящее из гофра 10, накидной гайки 11, винта 12 и пружины 13, позволяющие менять объём внутреннего пространства в кубе. Это бывает необходимо, если в процессе опыта мембраны вытягиваются и уровень раствора в капилляре понижается. При закручивании винта 12 объём контейнера уменьшается и раствор вытесняется в капилляр. Таким образом, уровень раствора можно установить на удобной для наблюдения высоте.

Описание эксперимента

В работе измеряется осмотическое давление водного раствора жёлтой кровяной соли $K_4Fe(CN)_6$, при нескольких значениях концентрации и проверяется справедливость закона Вант-Гоффа.

Молекулы жёлтой кровяной соли при растворении диссоциируют:



Ионы K^+ свободно проникают через используемую в работе перегородку и не создают осмотическое давление.

Начнём проводить измерения скорости движения мениска в капилляре от осмотического давления. Наблюдать прямой осмос при атмосферном давлении не удалось. За большой промежуток времени ~ 5 минут уровень мениска не изменился. При больших давлениях > 60 делений манометра (1 деление = 245 Па) наблюдается опускание уровня жидкости в капилляре с течением времени.

Измерим зависимость скорости опускания уровня жидкости в капилляре от давления при обратном осмосе.

$n, \%$	3.0
$P, \text{ дел}$	60
$t_{abc}, \text{ с}$	$h, \text{ мм}$
0,0	200,0
34,0	195,0
68,0	190,0
105,0	185,0
145,0	180,0
179,0	175,0
216,0	170,0
256,0	165,0
294,0	160,0
334,0	155,0
374,0	150,0
415,0	145,0
456,0	140,0
499,0	135,0
541,0	130,0
585,0	125,0

$n, \%$	3.0
$P, \text{ дел}$	100
$t_{abc}, \text{ с}$	$h, \text{ мм}$
0,0	200,0
19,0	195,0
39,0	190,0
60,0	185,0
80,0	180,0
101,0	175,0
121,0	170,0
142,0	165,0
162,0	160,0
183,0	155,0
205,0	150,0
226,0	145,0
249,0	140,0
270,0	135,0
293,0	130,0
316,0	125,0
338,0	120,0

$n, \%$	3.0
$P, \text{ дел}$	140
$t_{abc}, \text{ с}$	$h, \text{ мм}$
0,0	200,0
35,0	190,0
67,0	180,0
99,0	170,0
136,0	160,0
165,0	150,0
199,0	140,0
233,0	130,0
269,0	120,0
306,0	110,0
341,0	100,0
379,0	90,0

$n, \%$	3.0
$P, \text{ дел}$	160
$t_{abc}, \text{ с}$	$h, \text{ мм}$
0,0	200,0
32,0	190,0
60,0	180,0
89,0	170,0
118,0	160,0
147,0	150,0
177,0	140,0
207,0	130,0
240,0	120,0
271,0	110,0
303,0	100,0
337,0	90,0

$n, \%$	3.0
$P, \text{ дел}$	180
$t_{abc}, \text{ с}$	$h, \text{ мм}$
0,0	200,0
29,0	190,0
61,0	180,0
92,0	170,0
124,0	160,0
156,0	150,0
190,0	140,0
224,0	130,0
259,0	120,0
294,0	110,0
331,0	100,0
368,0	90,0

$n, \%$	3.0
$P, \text{ дел}$	200
$t_{abc}, \text{ с}$	$h, \text{ мм}$
0,0	200,0
35,0	190,0
73,0	180,0
111,0	170,0
150,0	160,0
191,0	150,0

$n, \%$	1.5
$P, \text{ дел}$	60
$t_{abc}, \text{ с}$	$h, \text{ мм}$
0,0	200,0
33,0	195,0
65,0	190,0
100,0	185,0
134,0	180,0
170,0	175,0
206,0	170,0

$n, \%$	1.5
$P, \text{ дел}$	100
$t_{abc}, \text{ с}$	$h, \text{ мм}$
0,0	200,0
27,0	195,0
56,0	190,0
87,0	185,0
115,0	180,0
147,0	175,0
177,0	170,0

$n, \%$	1.5
$P, \text{ дел}$	140
$t_{abc}, \text{ с}$	$h, \text{ мм}$
0,0	200,0
39,0	190,0
79,0	180,0
120,0	170,0
161,0	160,0
205,0	150,0

$n, \%$	1.5
$P, \text{ дел}$	180
$t_{abc}, \text{ с}$	$h, \text{ мм}$
0,0	200,0
27,0	190,0
55,0	180,0
83,0	170,0
111,0	160,0
141,0	150,0

$n, \%$	1.5
$P, \text{ дел}$	200
$t_{abc}, \text{ с}$	$h, \text{ мм}$
0,0	200,0
24,0	190,0
50,0	180,0
76,0	170,0
101,0	160,0
127,0	150,0

$n, \%$	0.75
$P, \text{ дел}$	60
$t_{abc}, \text{ с}$	$h, \text{ мм}$
0,0	200,0
85,0	195,0
171,0	190,0
262,0	185,0
357,0	180,0

$n, \%$	0.75
$P, \text{ дел}$	100
$t_{abc}, \text{ с}$	$h, \text{ мм}$
0,0	200,0
43,0	195,0
83,0	190,0
127,0	185,0
170,0	180,0
216,0	175,0
262,0	170,0

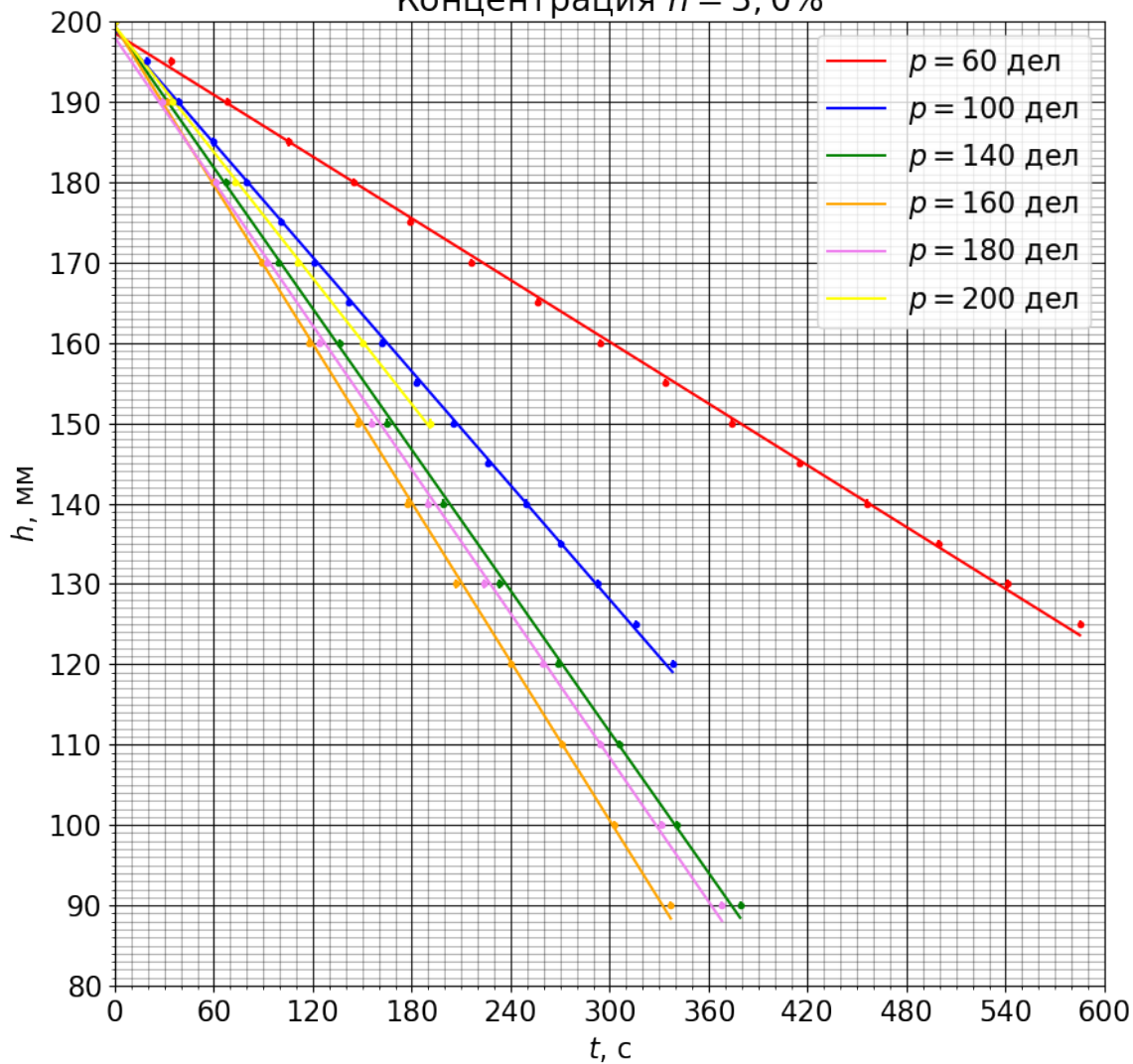
$n, \%$	0.75
$P, \text{ дел}$	140
$t_{abc}, \text{ с}$	$h, \text{ мм}$
0,0	200,0
53,0	190,0
106,0	180,0
163,0	170,0
220,0	160,0
281,0	150,0

$n, \%$	0.75
$P, \text{ дел}$	180
$t_{abc}, \text{ с}$	$h, \text{ мм}$
0,0	200,0
37,0	190,0
75,0	180,0
116,0	170,0
155,0	160,0
198,0	150,0

$n, \%$	0.75
$P, \text{ дел}$	200
$t_{abc}, \text{ с}$	$h, \text{ мм}$
0,0	200,0
31,0	190,0
64,0	180,0
96,0	170,0
129,0	160,0
163,0	150,0

График зависимости уровня в капилляре от времени $h(t)$.

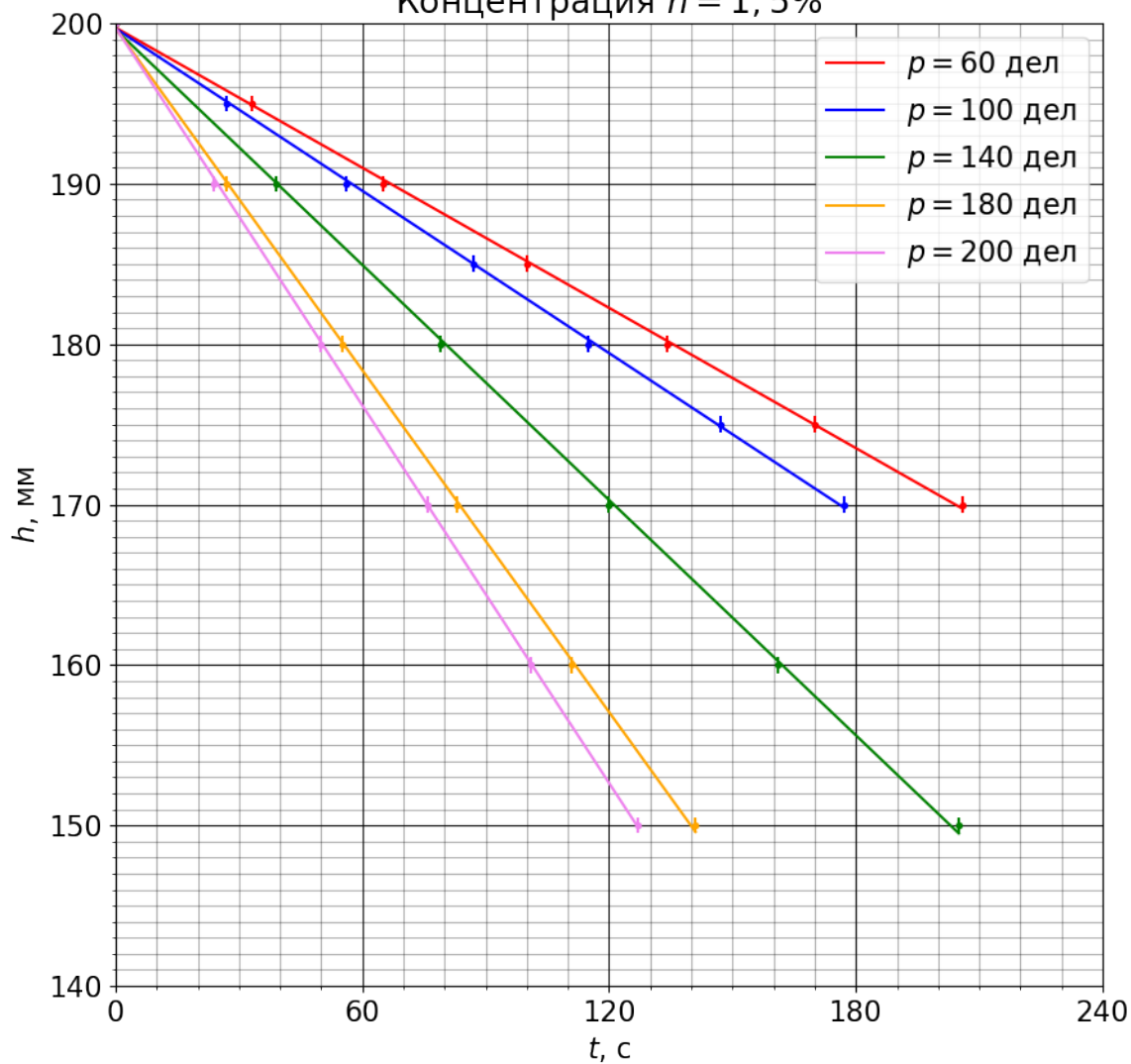
Концентрация $n = 3,0\%$



Методом наименьших квадратов проведём наилучшую прямую $h = at + b$.

p , дел	a , $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$	σ_a , $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$	b , мм	σ_b , мм
60	-0,128	0,001	198,5	0,4
100	-0,237	0,001	199,0	0,3
140	-0,293	0,002	199,3	0,5
160	-0,329	0,003	199,4	0,5
180	-0,299	0,003	198,0	0,7
200	-0,261	0,003	199,4	0,4

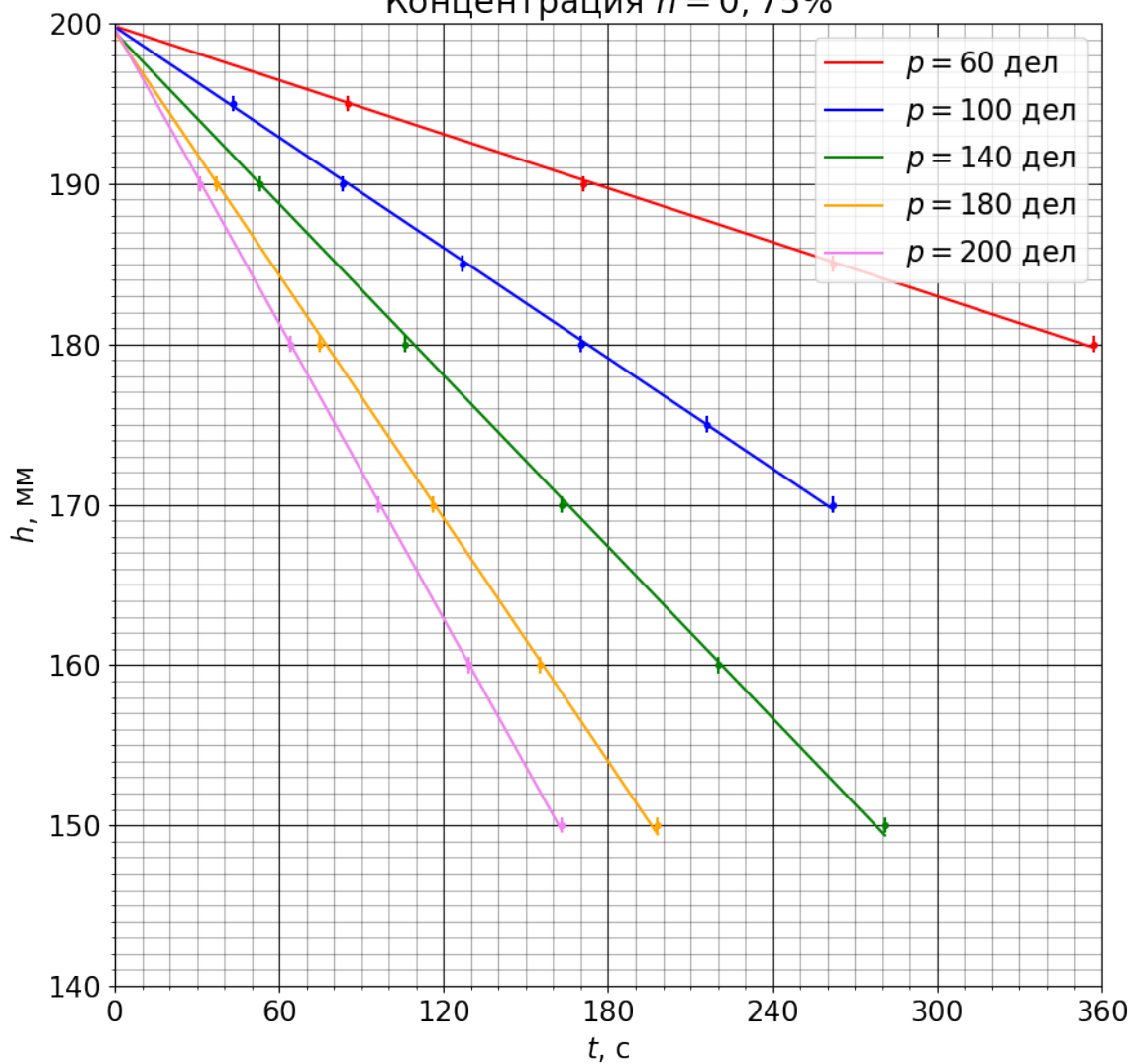
График зависимости уровня в капилляре от времени $h(t)$.
Концентрация $n = 1,5\%$



Методом наименьших квадратов проведём наилучшую прямую $h = at + b$.

p , дел	a , $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$	σ_a , $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$	b , мм	σ_b , мм
60	-0,146	0,001	199,7	0,2
100	-0,169	0,002	199,7	0,2
140	-0,244	0,002	199,6	0,3
180	-0,355	0,003	199,7	0,2
200	-0,392	0,002	199,7	0,2

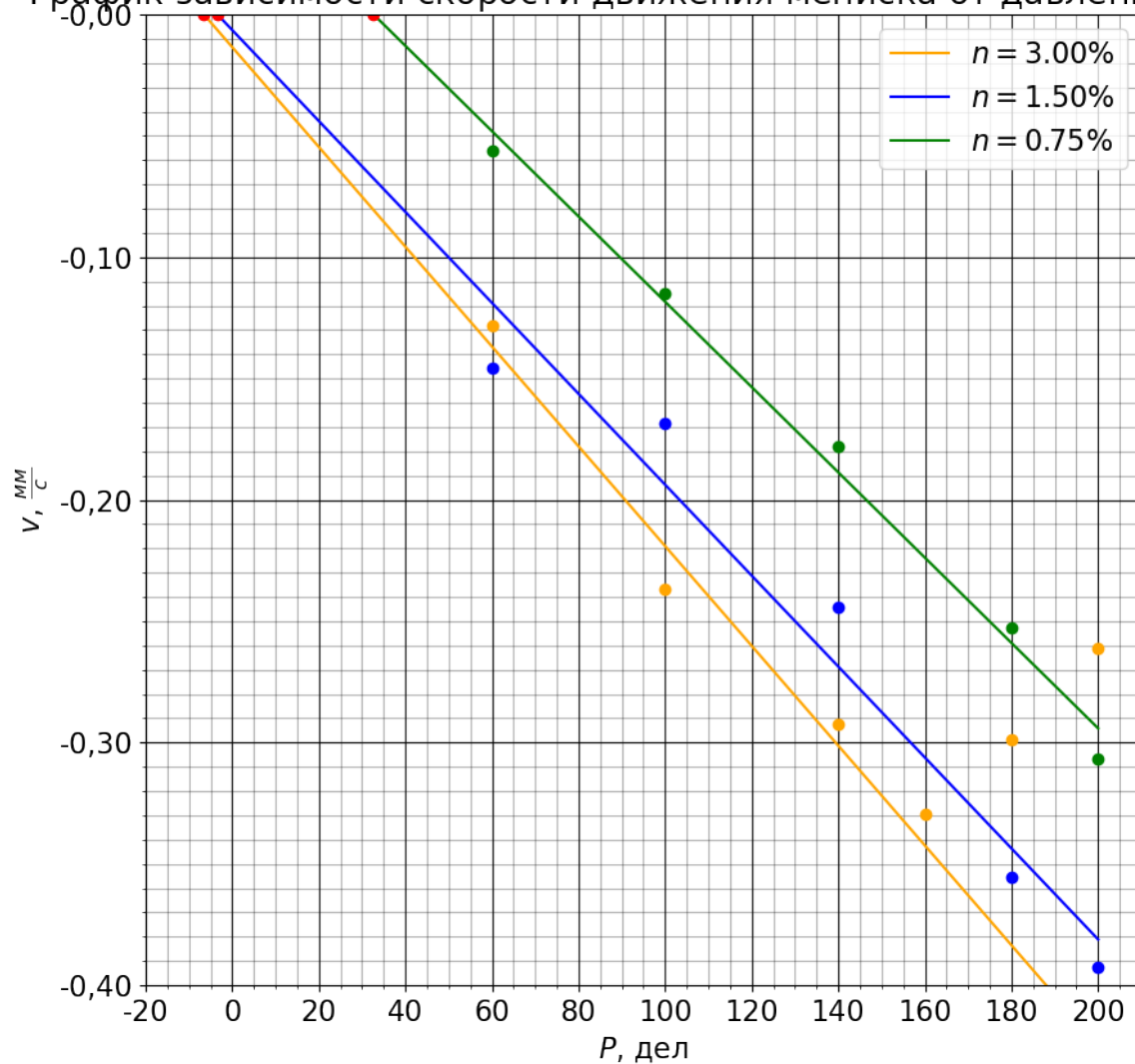
График зависимости уровня в капилляре от времени $h(t)$.
Концентрация $n = 0,75\%$



Методом наименьших квадратов проведём наилучшую прямую $h = at + b$.

p , дел	a , $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$	σ_a , $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$	b , мм	σ_b , мм
60	-0,056	0,001	199,8	0,2
100	-0,115	0,001	199,8	0,2
140	-0,178	0,002	199,4	0,4
180	-0,253	0,003	199,5	0,4
200	-0,307	0,002	199,7	0,2

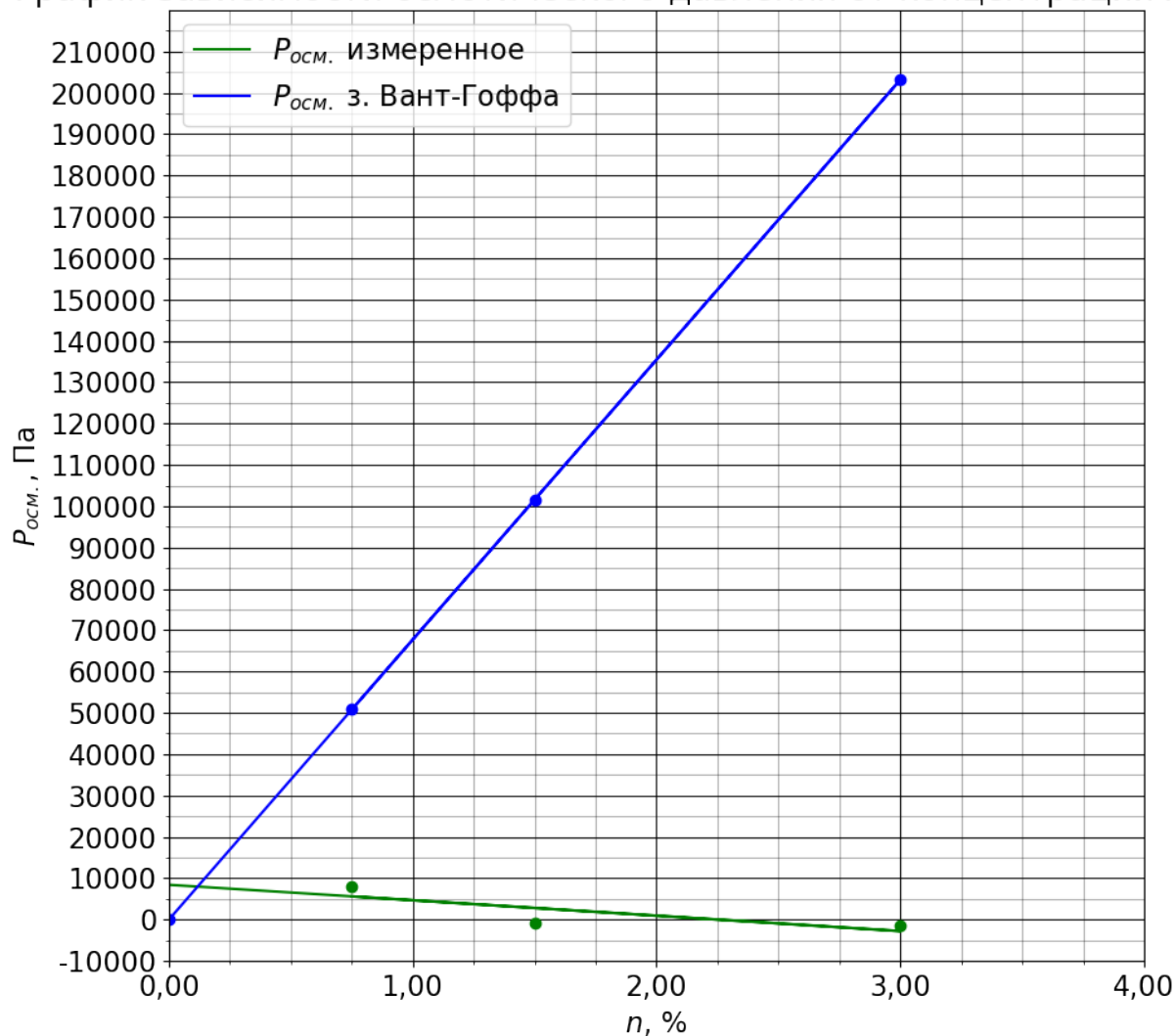
График зависимости скорости движения мениска от давления $v(P)$.



Методом наименьших квадратов проведём наилучшую прямую $v = ap + b$.

$n, \%$	$a, \frac{mm}{c \cdot дел}$	$\sigma_a, \frac{mm}{c \cdot дел}$	$b, \frac{mm}{c}$	$\sigma_b, \frac{mm}{c}$
3,00	-0,0021	0,0004	-0,0135	0,0400
1,50	-0,0019	0,0002	-0,0064	0,0344
0,75	-0,0018	0,0001	0,0574	0,0144

График зависимости осмотического давления от концентрации $P_{осм.}(r$



Методом наименьших квадратов по измеренным точкам проведём наилучшую прямую $P = an + b$. Также построим график зависимости осмотического давления от концентрации по закону Вант-Гоффа.

$a, \frac{\text{Па}}{\%}$	$\sigma_a, \frac{\text{Па}}{\%}$	$b, \text{Па}$	$\sigma_b, \text{Па}$
-3733,4500	2791,1206	8384,8949	5538,4583

Вывод