

Нить

Выполнил:

Евланов Алексей Андреевич,

10 А класс

Научный руководитель:

Матюк Анатолий Эдуардович, учитель
физики ГУО «СШ №1 г. Лиды»

Оглавление

Введение	4
Основная часть	6
Зависимость времени образования первой капли от вида нити и ее толщины	7
Зависимость времени образования капли от высоты свисающего конца нити над уровнем воды в стакане при вертикальном положении нити	8
Зависимость времени образования капли от угла наклона свисающего конца нити к вертикали при неизменной длине свисающего конца нити $l = 9 \text{ см}$	9
Зависимость времени образования капли от угла наклона свисающего конца нити к вертикали при неизменной высоте свисающего конца нити $h = 2 \text{ см}$	10
Заключение	11
Литература	11
Приложение 1	12
Приложение 2	13
Приложение 3	14

Введение

Если конец нити опустить в воду, то за счет капиллярных явлений вода начинает перемещаться вдоль нити.

Капиллярными явлениями называют подъем или опускание жидкости в трубках малого диаметра – капиллярах. Смачивающие жидкости поднимаются по капиллярам, несмачивающие – опускаются. [1]

Впитывание и перемещение влаги происходит по продольным порам, имеющимся в нитях.

Вода смачивает нить, поэтому она за счет сил поверхностного натяжения \vec{F}_H начинает подниматься вверх по нити, преодолевая силу тяжести \vec{F}_T (рис. 1).

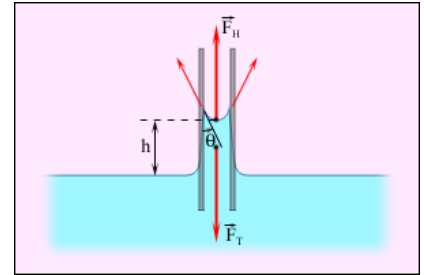


Рис. 1 Подъем жидкости в капилляре

Второй конец нити свисает, не касаясь внешней стенки стакана. Вода, перемещаясь вдоль волокон нити, доходит до свисающего края нити. На этом конце нити на воду также действует сила поверхностного натяжения. Однако эта сила направлена внутрь капилляра нити и препятствует вытеканию жидкости из нити. Кроме силы поверхностного натяжения на воду, собравшуюся в свисающей части нити, действует сила тяжести, которая направлена вертикально вниз и, благодаря которой, вода может вытекать из нити.

По такому принципу работают фитильные масленки, которые обеспечивает равномерную подачу масла к трущимся поверхностям [2].

Определим условия, при которых на конце нити появляется капля воды.

Для того, чтобы на свисающем конце нити начала появляться капля воды, необходимо, чтобы сила тяжести, действующая на воду, находящуюся в свисающей части нити, превысила суммарную силу поверхностного натяжения, действующую внутрь нити, и силу тяжести F_{T1} , действующую на воду, которая находится в нити на другом ее конце (рис. 2). Сила тяжести F_T прямо пропорциональна массе воды m , находящейся внутри нити, и, соответственно, прямо пропорциональна высоте столбика воды h внутри нити:

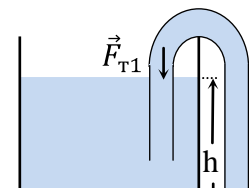


Рис. 2 Образование капли на свисающем конце нити

$$F_T = mg = \rho Vg = \rho Shg = \rho \pi r^2 hg, \quad (1)$$

где ρ – плотность воды, r – радиус капилляра, g – ускорение свободного падения.

Сила поверхностного натяжения, действующая на образующуюся каплю, равна (при условии полного смачивания):

$$F_H = \sigma l = \sigma 2\pi r, \quad (2)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения воды, l – длина периметра, ограничивающего поверхность капли.

Капля образуется при условии:

$$F_T \geq F_H; \quad (3)$$

Выражения (1) и (2) подставим в (3), получим:

$$\rho \pi r^2 h g \geq \sigma 2\pi r;$$

$$h \geq \frac{2\sigma}{\rho g r}. \quad (4)$$

Таким образом, капля на свисающем конце нити может появиться только в том случае, когда свисающий конец нити расположен ниже уровня воды в стакане на величину h . При этом, чем больше разность высот h воды в стакане и свисающего конца нити, тем быстрее образуется капля воды на конце нити.

Предположим, что радиус капилляра нити равен $r = 1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$. Тогда свисающий конец нити должен быть расположен ниже уровня воды в стакане на $h \geq \frac{2 \cdot 0,072}{1000 \cdot 10 \cdot 0,001} \text{ м} = 0,0144 \text{ м} = 1,44 \text{ см}$ (здесь $\sigma = 0,072 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ – коэффициент поверхностного натяжения воды; $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – плотность воды; $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ – ускорение свободного падения). С уменьшением радиуса капилляра высота h увеличивается. Это означает, что для тонких нитей, у которых радиус капилляра небольшой, условие появления капли будет выполняться при достаточно большой длине свисающего конца нити.

Кроме этого, высота h_1 , на которую поднимается вода в нити над краем стакана (рис. 3), также не должна превышать высоту $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$, так как вода выше этого уровня за счет капиллярных сил подняться не сможет.

Из выражения (4) можно рассчитать радиус капилляра нити:

$$r = \frac{2\sigma}{\rho g h_{min}}, \quad (5)$$

где h_{min} – минимальная высота, при которой начинает образовываться капля.

Радиус капилляра, рассчитанный по формуле (5) будет завышенным, так как в этой формуле мы считали, что вода полностью смачивает поверхность нити. Более точная формула для расчета радиуса капилляра должна учитывать краевой угол θ (рис.1):

$$r = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{\rho g h_{min}}, \quad (5)$$



Рис. 3 Свисающий конец нити наклонен под углом α к вертикали

При увеличении угла наклона α свисающего конца нити к вертикали при неизменной длине свисающего конца нити l (l отсчитывается от уровня воды в стакане) уменьшается разность высот $h = l \cdot \cos\alpha - h_1$ и при этом увеличивается время образования капли воды (рис.3).

Следует заметить, что на время образования первой капли также влияет и время движения воды вдоль нити к ее свисающему концу. Данное время зависит от скорости движения, которая в свою очередь зависит от рода капилляра и его радиуса, и длины нити. Это время гораздо меньше времени образования капли и при небольшой длине нити существенной роли не играет.

Однако, если увеличивать угол наклона нити к вертикали при неизменной высоте h конца нити над уровнем воды в стакане, увеличивая при этом длину нити, то время образования капли будет увеличиваться за счет увеличения длины нити.

Основная часть

При проведении эксперимента была взята капроновая нить толщиной около 1 мм. Толщину нити мы измеряли микрометром. Данную нить мы разделили на две части, а затем еще на две части. Таким образом, мы получили три нити: однослойную, двухслойную и четырехслойную, толщины которых соответственно относятся как 1:2:4.

Эти нити мы одновременно поместили одним концом в стакан с водой, высота h_1 от уровня воды в стакане до края стакана равнялась 1 см. Второй конец нитей свисал вертикально, не касаясь стенок стакана на высоте $h = 7$ см над уровнем воды в стакане (рис. 4).

Первая капля воды появилась через 30 мин на самой толстой нити (четырёхслойной). На конце второй нити (двухслойной) капля появилась через 42 мин. На конце самой тонкой нити (однослойной) капля не появилась даже через достаточно длительный промежуток времени (1 сутки).

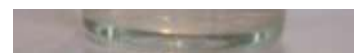
Дополнительно в данном эксперименте исследовали нить из хлопка толщиной около 0,25 мм и нить из полиэстера толщиной также



Рис. 4. Образование капли на конце капроновой нити разной



Рис. 5. Полиэстеровая (белая) и хлопковая (красная) нити на краю стакана с водой



около 0,25 мм. На концах этих нитей также капля не образовывалась даже через длительный промежуток времени (рис. 5).

Результаты данных исследований приведены в таблице 1 и на диаграмме 1.

Таблица 1. Зависимость времени образования первой капли от вида нити и ее толщины

Тип нити	Капроновая			Хлопковая	Полиэстеровая
	1	0,5	0,25		
Толщина, мм	1	0,5	0,25	0,25	0,25
Время образования капли, мин	30	42	∞	∞	∞

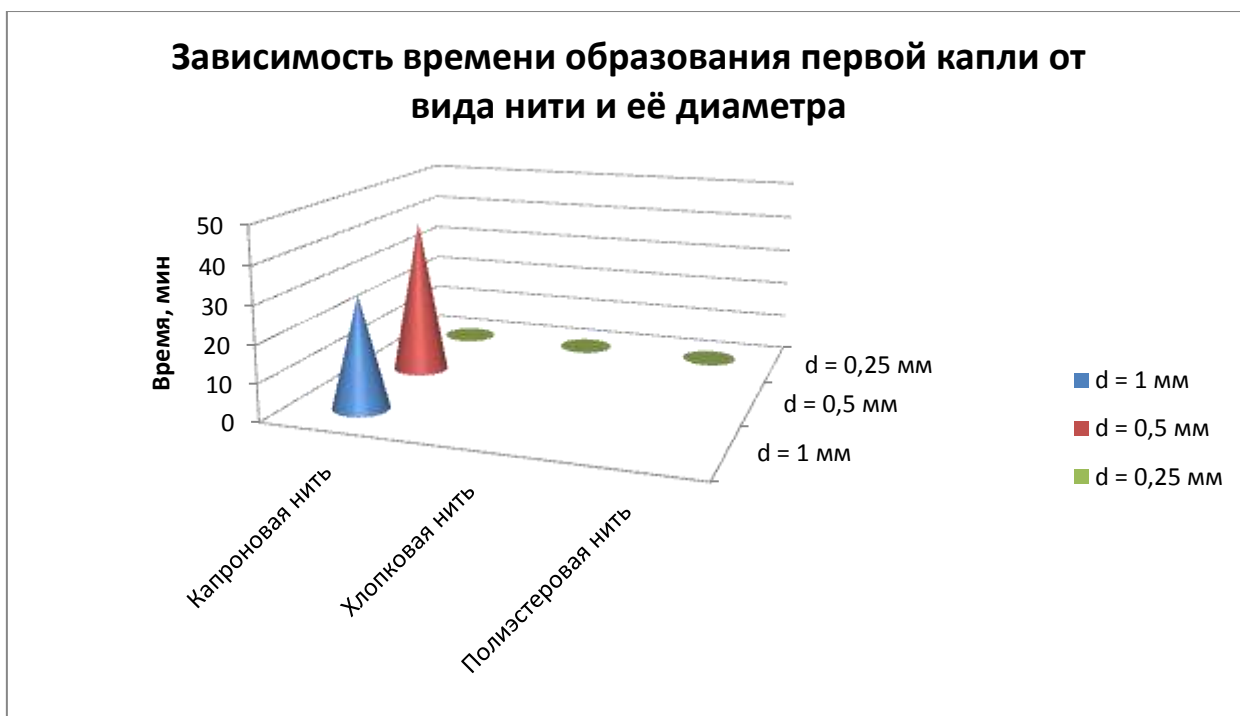


Диаграмма 1. Зависимость времени образования первой капли от вида нити и её диаметра

Таким образом, на конце нити толщиной до 0,25 мм капля не образовывалась.

Дальнейшие исследования мы проводили с капроновой нитью толщиной 1 мм.

Для того, чтобы определить минимальную высоту h_{\min} свисающего конца нити над уровнем воды в стакане, при которой капля начинает образовываться, мы нашли зависимость времени образования первой капли от высоты h . Высота изменялась от 0 до 8 см (приложение 1). Первая капля начала образовываться при высоте больше 0,5 см. С увеличением высоты h время образования первой капли уменьшалось.

Результаты данных исследований приведены в таблице 2 и на диаграмме 2.

Таблица 2. Зависимость времени образования капли от высоты свисающего конца нити над уровнем воды в стакане при вертикальном положении нити

Тип нити	Высота свисающего конца нити над уровнем воды в стакане, см									
	0	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8
Капроновая	Время образования капли, мин									
	∞	∞	168	96	48	24	19	17	15	13



Диаграмма 2. Зависимость времени образования капли от высоты свисающего конца нити над уровнем воды в стакане при вертикальном положении нити

Таким образом, минимальная высота h_{\min} свисающего конца нити над уровнем воды в стакане, при котором начинает появляться первая капля, приблизительно равна $h_{\min} \approx 0,5$ см.

Соответствующий данной высоте радиус капилляра будет равен:

$$r = \frac{2\sigma}{\rho g h_{\min}} = \frac{2 \cdot 0,072}{1000 \cdot 10 \cdot 0,005} = 0,00288 \text{ м} \approx 3 \text{ мм}.$$

Реальный радиус капилляра меньше и равен $r = 3 \text{ мм} \cdot \cos\theta$.

Для нахождения зависимости времени образования первой капли от наклона нити мы наклоняли свисающий конец нити под различными углами к вертикали (от 0° до 80° с шагом в 10°), не изменяя при этом

длину свисающего конца нити ($l = 9 \text{ см}$), и определяли время образования первой капли (приложение 2).

Чем больше был угол наклона нити к вертикали, тем время образования капли также увеличивалось. При угле наклона 80° и больше капля не образовывалась вовсе. При угле наклона 80° высота свисающего конца нити над уровнем воды в стакане равна:

$$h = l \cdot \cos\alpha - h_1 = 9 \text{ см} \cdot \cos 80^\circ - 1 \text{ см} \approx 0,56 \text{ см}.$$

Эта высота приблизительно равна минимальной высоте h_{\min} , полученной в предыдущих опытах.

Результаты данных исследований приведены в таблице 3 и на диаграмме 3.

Таблица 3. Зависимость времени образования капли от угла наклона свисающего конца нити к вертикали при неизменной длине свисающего конца нити $l = 9 \text{ см}$

Тип нити	Угол наклона свисающего конца нити к вертикали								
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
	Время образования капли, мин								
Капроновая	14	15	17	18	23	27	38	104	∞



Диаграмма 3. Зависимость времени образования капли от угла наклона свисающего конца нити к вертикали при неизменной длине свисающего конца нити $l = 9 \text{ см}$

Далее мы находили зависимость времени образования первой капли от угла наклона нити к вертикали при неизменной высоте $h = 2 \text{ см}$ свисающего конца нити над уровнем воды в стакане. При увеличении угла наклона нити к вертикали от 0° до 80° с шагом в 10° мы постепенно увеличивали длину свисающего конца нити так, чтобы высота h не изменялась (приложение 3).

При данных условиях с увеличением угла наклона нити время образования первой капли увеличивалась за счет увеличения длины нити.

Результаты данных исследований приведены в таблице 4 и на диаграмме 4.

Таблица 4. Зависимость времени образования капли от угла наклона свисающего конца нити к вертикали при неизменной высоте свисающего конца нити $h = 2 \text{ см}$

Тип нити	Угол наклона свисающего конца нити к вертикали								
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
	Время образования капли, мин								
Капроновая	90	92	97	103	109	112	116	125	138



Диаграмма 4. Зависимость времени образования капли от угла наклона свисающего конца нити к вертикали при неизменной высоте свисающего конца нити $h = 2 \text{ см}$

Заключение

В результате проведенных нами экспериментов было показано, что на свисающем конце нити капля воды может появиться только в том случае, если данный конец расположен ниже минимальной высоты h_{\min} над уровнем воды в стакане. При этом, чем больше разность уровней воды h и конца нити, тем время образования первой капли меньше.

Чем больше диаметр нити, тем меньше время образования первой капли. В нитях малого диаметра (порядка 0,25 мм и меньше) капля воды не образовывалась вообще.

С увеличением угла наклона свисающего конца нити к вертикали время образования первой капли увеличивалось.

Литература

1. Капиллярные явления. URL: <http://demo.home.nov.ru/toppage1.htm>. – Дата доступа: 05.11.2012.
2. Фитильная масленка. – Большая Энциклопедия Нефти Газа. URL: <http://www.ngpedia.ru/id134307p1.html>. – Дата доступа: 17.11.2012.

Приложение 1



Рис. 6. Конец капроновой нити расположен на уровне



Рис. 7. Конец капроновой нити расположен ниже уровня воды в стакане



Рис. 8. Конец капроновой нити расположен ниже уровня воды в стакане



Рис. 9. Конец капроновой нити расположен ниже уровня воды в стакане



Рис. 10. Конец капроновой нити расположен ниже уровня воды в стакане



Рис. 11. Конец капроновой нити расположен ниже уровня воды в стакане



Рис. 12. Конец капроновой нити расположен ниже уровня воды в стакане



Рис. 13. Конец капроновой нити расположен ниже уровня воды в стакане



Рис. 14. Конец капроновой нити расположен ниже уровня воды в стакане

Приложение 2



Рис. 15. Капроновая нить расположена вертикально ($h = 8$ см)

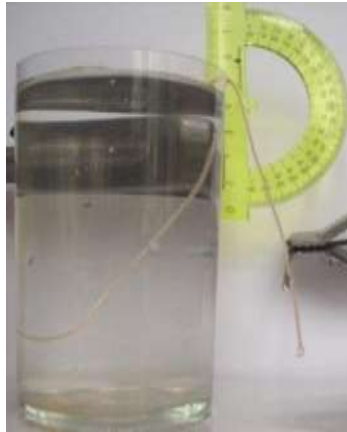


Рис. 16. Капроновая нить наклонена под углом 10° к вертикали при неизменной длине

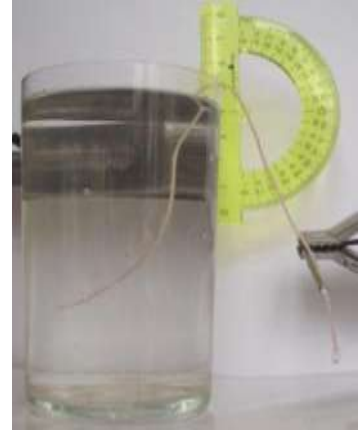


Рис. 17. Капроновая нить наклонена под углом 20° к вертикали при неизменной длине



Рис. 18. Капроновая нить наклонена под углом 30° к вертикали при неизменной длине

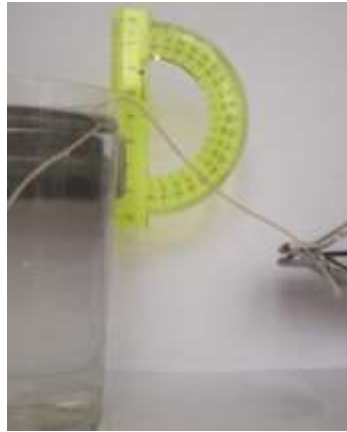


Рис. 19. Капроновая нить наклонена под углом 40° к вертикали при неизменной длине



Рис. 20. Капроновая нить наклонена под углом 50° к вертикали при неизменной длине

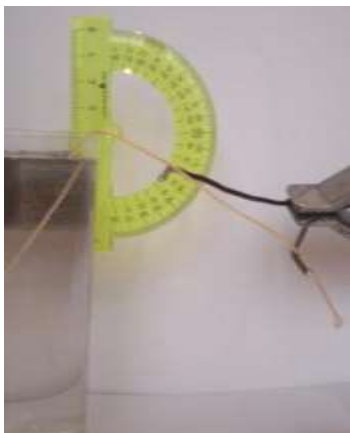


Рис. 21. Капроновая нить наклонена под углом 60° к вертикали при неизменной длине

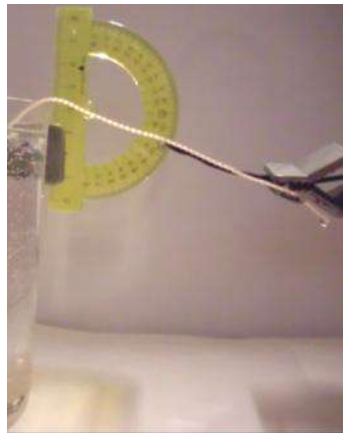


Рис. 22. Капроновая нить наклонена под углом 70° к вертикали при неизменной длине

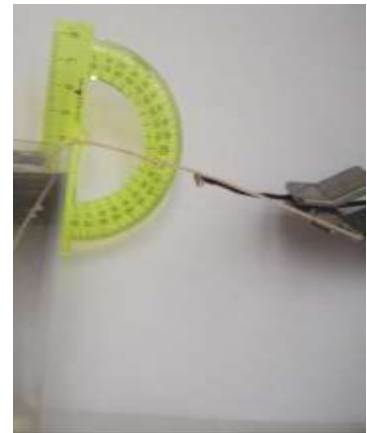


Рис. 23. Капроновая нить наклонена под углом 80° к вертикали при неизменной длине

Приложение 3



Рис. 24. Капроновая нить расположена вертикально на высоте

вертикально на высоте



Рис. 25. Капроновая нить расположена под углом 10° к вертикали на высоте 2 см



Рис. 26. Капроновая нить расположена под углом 20° к вертикали на высоте 2 см



Рис. 27. Капроновая нить расположена под углом 30° к вертикали на высоте 2 см



Рис. 28. Капроновая нить расположена под углом 40° к вертикали на высоте 2 см

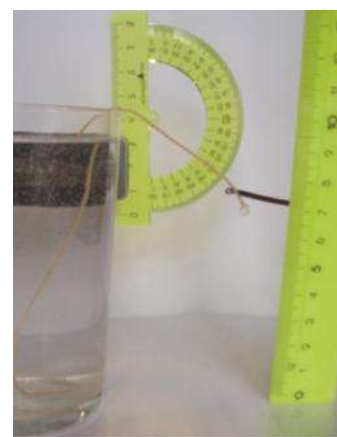


Рис. 29. Капроновая нить расположена под углом 50° к вертикали на высоте 2 см

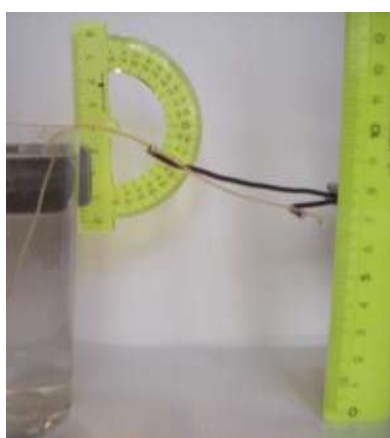


Рис. 30. Капроновая нить расположена под углом 60° к вертикали на высоте 2 см



Рис. 31. Капроновая нить расположена под углом 70° к вертикали на высоте 2 см



Рис. 32. Капроновая нить расположена под углом 80° к вертикали на высоте 2 см