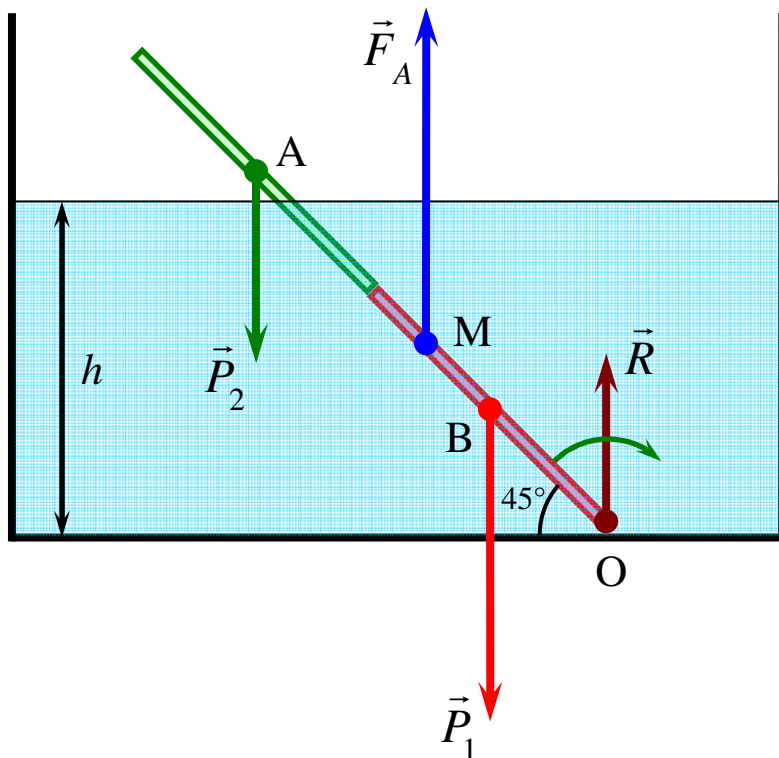


Реєстраційний номер	308799
Назва олімпіади	Всеукраїнська учнівська інтернет-олімпіада з фізики
Прізвище, ім'я та по батькові учасника	Шумаєв Олександр Ігорович
Рік народження	1999
Область	Харківська
Місто	Харків
Повна назва навчального закладу	Харківський фізико-математичний ліцей № 27 Харківської області
Клас, до якого перейшов учень	9
Клас, за який виконується конкурсне завдання	9
Статус	учень
Електронна адреса учасника	sashashumaev@rambler.ru

Задача № 1

Условие: На дне бассейна лежит тонкий стержень длиной 1 м, состоящий из двух половинок с одинаковыми площадями поперечного сечения и плотностями $0,5 \text{ г/см}^3$ и 2 г/см^3 . В бассейн медленно наливают воду. При какой глубине воды в бассейне стержень будет составлять с поверхностью воды угол 45° ?

Решение: Изобразим вертикальное сечение бассейна схематически и расставим силы, действующие на стержень. На рисунке А – середина верхней половины стержня, В – середина нижней половины стержня, М – середина погруженной части стержня, О – точка касания стержнем дна; \vec{P}_1 и \vec{P}_2 – силы тяжести, действующие на нижнюю и верхнюю половину стержня соответственно и приложена к их центрам тяжести, которые одновременно являются геометрическими центрами, \vec{F}_A – сила Архимеда, действующая на погруженную



часть стержня и приложенная к ее середине, \vec{R} – сила реакции опоры со стороны дна, приложена к точке касания с дном. Направление силы \vec{R} при решении задачи не играет роли (можно доказать, что она направлена вертикально вверх). Остальные силы направлены вертикально (\vec{P}_1 и \vec{P}_2 – вниз, \vec{F}_A – вверх) и равны соответственно:

$$P_1 = \rho_1 g S \frac{L}{2}; \quad P_2 = \rho_2 g S \frac{L}{2}; \quad F_A = \rho_0 g S \cdot 2OM, \text{ где } \rho_1 = 2 \text{ г/см}^3, \rho_2 = 0,5 \text{ г/см}^3, \rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$$

(плотности нижней и верхней половинок стержня и плотность воды), S – площадь сечения стержня, L – длина стержня, g – ускорение свободного падения. Поскольку стержень наклонен на угол 45° над горизонтом, то длина погруженной части стержня

$$2OM = \frac{h}{\sin 45^\circ} = h\sqrt{2}.$$

Найдем моменты сил относительно оси, перпендикулярной плоскости рисунка и проходящей через точку О. Для этого найдем плечи сил относительно этой оси:

$$\ell(\vec{P}_1) = OB \cos 45^\circ = L \frac{\sqrt{2}}{8};$$

$$\ell(\vec{P}_2) = OA \cos 45^\circ = 3L \frac{\sqrt{2}}{8};$$

$$\ell(\vec{F}_A) = OM \cos 45^\circ = \frac{h}{2};$$

$$\ell(\vec{R}) = 0.$$

Выберем положительное направление вращения (см. рисунок). Тогда моменты сил относительно этой оси равны соответственно:

$$M(\vec{P}_1) = -P_1 \cdot \ell(\vec{P}_1) = -\rho_1 g S L^2 \frac{\sqrt{2}}{16};$$

$$M(\vec{P}_2) = -P_2 \cdot \ell(\vec{P}_2) = -3\rho_2 g S L^2 \frac{\sqrt{2}}{16};$$

$$M(\vec{F}_A) = F_A \cdot \ell(\vec{F}_A) = \rho_0 g S h^2 \frac{\sqrt{2}}{2};$$

$$M(\vec{R}) = 0.$$

Запишем второе условие равновесия относительно выбранной оси с учетом того, что стержень неподвижен:

$$\rho_0 g S h^2 \frac{\sqrt{2}}{2} - g S L^2 \frac{\sqrt{2}}{16} (\rho_1 + 3\rho_2) + 0 = 0;$$

$$\rho_0 h^2 = L^2 \frac{\rho_1 + 3\rho_2}{8};$$

откуда $h = L \sqrt{\frac{\rho_1 + 3\rho_2}{8\rho_0}}.$

Проверим размерность:

$$[h] = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{\text{г/см}^3 + \text{г/см}^3}{\text{г/см}^3}} = \text{м}.$$

Найдем численное значение:

$$\{h\} = 1 \cdot \sqrt{\frac{2 + 3 \cdot 0,5}{8 \cdot 1}} \approx 0,66; \quad h \approx 0,66 \text{ м}.$$

Ответ: 0.66 м.

Задача № 2

Условие: Только взошло солнце. По ровной дороге на велосипеде едет со скоростью v кот Леопольд. В это время на расстоянии r от дороги и L от кота два озорных мышонка пытаются при помощи осколка зеркала ослепить Леопольда. Найдите, с какой частотой мышата должны вращать зеркальце, чтобы ослепить кота.

Решение: Так как угловая высота солнца над горизонтом мала, его лучи можно считать горизонтальными. Найдем вначале, с какой угловой скоростью движется кот вокруг мышат. На рисунке кот C движется по прямой CC' , мышата стоят в точке A , отдаленной от прямой на расстояние r . По условию, в некоторый момент времени кот находится в точке C , удаленной от A на расстояние L . Пусть прошло малое время Δt . За это время кот передвинулся в точку C' , близкую к C , $CC' = v \Delta t$. При этом вектор, направленный от мышат к коту, повернулся на $\Delta \alpha$. Его угловая скорость вращения $\omega_k = \Delta \alpha / \Delta t$. Запишем теорему синусов для $\Delta ACC'$:

$$\frac{v \Delta t}{\sin \Delta \alpha} = \frac{L - \Delta L}{\sin \angle ACB};$$

Подставим $\sin \angle ACB = r/L$. Кроме этого, поскольку время Δt мало, то угол $\Delta \alpha$ мал и изменением расстояния от мышат до кота ΔL можно пренебречь, $L - \Delta L \approx L$; $\sin \Delta \alpha \approx \Delta \alpha$. Тогда получим:

$$v \frac{\Delta t}{\Delta \alpha} = \frac{L^2}{r};$$

Но по определению угловой скорости, $\frac{\Delta t}{\Delta \alpha} = \frac{1}{\omega_k}$. Тогда

$$\omega_k = \frac{vr}{L^2}.$$

Пусть угол падения лучей на зеркало φ , затем за некоторое время плоскость зеркала повернули на $\Delta \varphi$ (см. рисунок 2). В результате угол падения и угол отражения также увеличились на $\Delta \varphi$. Тогда угол между предыдущим отраженным лучом и текущим равен $2 \Delta \varphi$. Но этот угол равен $\Delta \alpha$. Тогда угловая скорость вращения зеркала $\omega_z = \omega_k / 2 = \frac{vr}{2L^2}$ (рад/с).

Ответ: $\frac{vr}{2L^2}$ рад/с

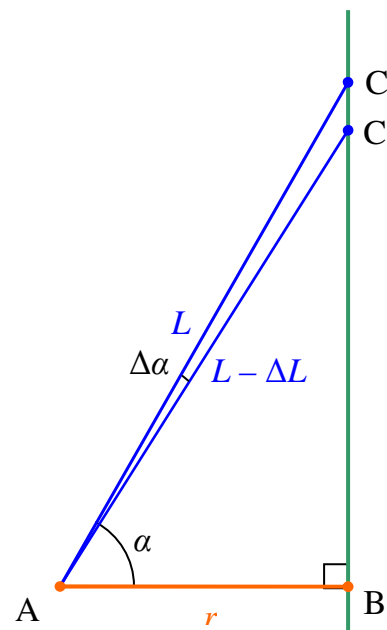


рис. 1

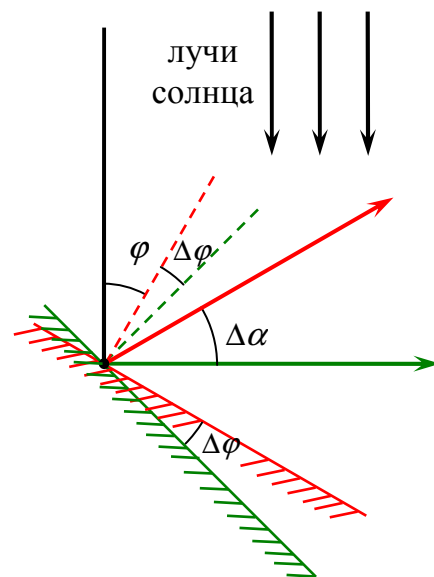
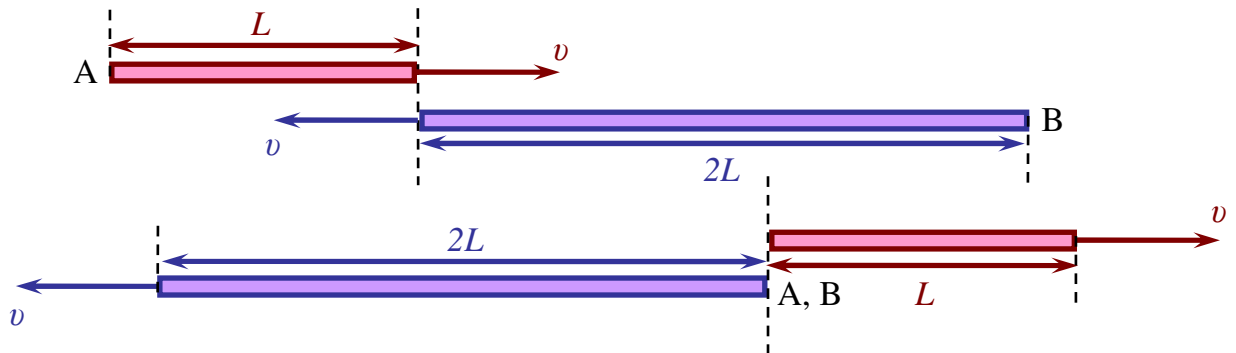


рис. 2

Задача № 3

Условие: Поезд-экспресс прошел за время t_1 мимо встречной электрички, двигавшейся с такой же скоростью, но имеющей в два раза большую длину. За какое время t_2 экспресс пройдет мимо встречного поезда, который в два раза длиннее электрички и едет в два раза быстрее?



Решение: Пусть длина экспресса L , скорость v . Тогда длина электрички равна $2L$, а встречного поезда – $4L$. По условию t_1 – это время между встречей первых вагонов экспресса и электрички и расхождением последних. Аналогично определяется t_2 для второго случая. Скорость сближения поездов в первом случае $2v$, во втором – $3v$. Перейдем в систему отсчета одного из поездов. В этой системе отсчета точка конца второго поезда перемещается от конца второго поезда до конца первого (на рисунке точка A перемещается до точки B), проходя путь, равный сумме длин поездов. Тогда за время t_1 точка проходит расстояние $3L$ со скоростью $2v$, во втором случае – за время t_2 расстояние $5L$ со скоростью $3v$. Имеем:

$$t_1 = \frac{3L}{2v}; \quad t_2 = \frac{5L}{3v}.$$

Разделим 2-е уравнение на 1-е:

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{10}{9}.$$

Тогда $t_2 = \frac{10}{9}t_1$.

Ответ: $\frac{10}{9}t_1$.

Задача № 4

Условие: Определите показатель преломления полиэтиленовой пленки. Опишите подробно ход Вашего эксперимента.

Цель эксперимента: определить показатель преломления полиэтиленовой пленки.

Оборудование: лазерная указка, стеклянная призма, шайба металлическая с отверстием, микрометр, транспортир, штатив с муфтой и лапкой, скотч, пакет полиэтиленовый, файл для документов, пластилин, бумага (см. рис.1). На рисунке 1 – лазерная указка; 2 – стеклянная призма; 3 – штатив; 4 – микрометр; 5 – металлическая шайба; 6 – транспортир; 7 – скотч.



рис.1

Теоретические сведения: Абсолютный показатель преломления среды – это отношение скорости света в вакууме к

скорости света в среде: $n = \frac{c}{v}$, где n – показатель преломления; c – скорость света в

вакууме; v – скорость света в данной среде. Также существует формула $n = \sqrt{\epsilon\mu}$, где ϵ и μ – диэлектрическая и магнитная проницаемости среды соответственно. Относительный показатель преломления одной среды относительно другой – это отношение абсолютного показателя преломления первой среды к абсолютному показателю преломления второй:

$n_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1}$, где v_1 и v_2 – скорости света в

первой и второй среде соответственно.

Показатель преломления воздуха $n_0 \approx 1$.

Показатель преломления полиэтиленовой пленки можно измерить двумя способами: по смещению светового луча при прохождении через пленку и по углу Брюстера для данной пленки.

Первый способ. Рассмотрим прохождение светового луча через плоскопараллельную пластину с показателем преломления n_2 , находящуюся в среде с показателем преломления n_1 (см. рис.1). Пусть угол падения луча на пластину φ_1 , тогда угол преломления φ_2 можно рассчитать по закону Снеллиуса: $n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2$. Угол падения луча на внутреннюю поверхность также равен φ_2 (на рисунке отмечены синим). Тогда угол

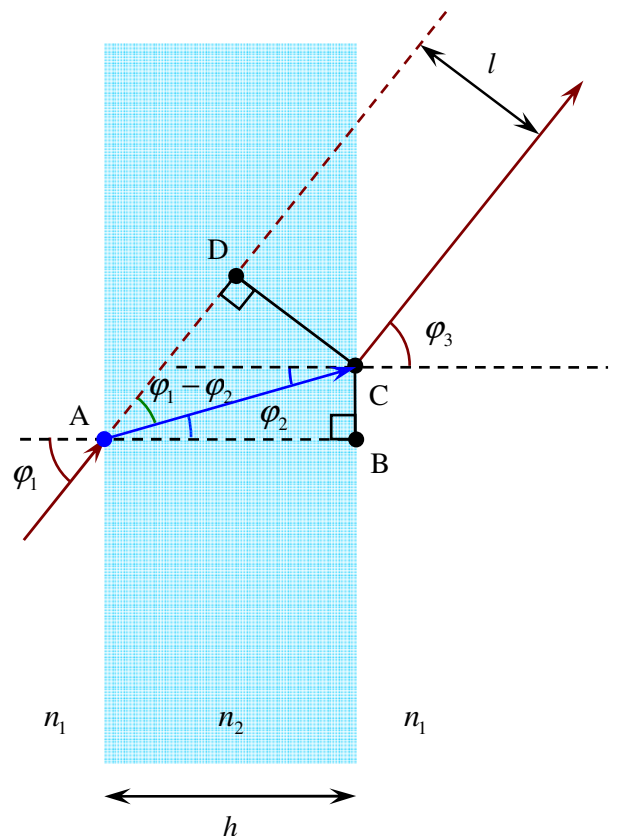


рис.1

преломления луча из пластины φ_3 определяется по формуле $n_2 \sin \varphi_2 = n_1 \sin \varphi_3$. Сравнивая с предыдущей формулой, получаем $\varphi_1 = \varphi_3$. Таким образом, луч после прохождения пластины останется параллельным самому себе, но окажется сдвинут на величину l . Из ΔACD : $AC = \frac{CD}{\sin(\varphi_1 - \varphi_2)} = \frac{l}{\sin \varphi_1 \cos \varphi_2 - \cos \varphi_1 \sin \varphi_2}$. Подставим

$$\sin \varphi_2 = \frac{n_1 \sin \varphi_1}{n_2}; \cos \varphi_2 = \sqrt{1 - \frac{n_1^2 \sin^2 \varphi_1}{n_2^2}}:$$

$$AC = \frac{l}{\sin \varphi_1 \sqrt{1 - \frac{n_1^2 \sin^2 \varphi_1}{n_2^2}} + \cos \varphi_1 \frac{n_1 \sin \varphi_1}{n_2}}. \text{ Но } AC = \frac{h}{\cos \varphi_2} = \frac{h}{\sqrt{1 - \frac{n_1^2 \sin^2 \varphi_1}{n_2^2}}} \text{ (из } \Delta ABC).$$

Имеем:

$$l = h \sin \varphi_1 \frac{\sqrt{1 - \frac{n_1^2 \sin^2 \varphi_1}{n_2^2}} + \frac{n_1 \cos \varphi_1}{n_2}}{\sqrt{1 - \frac{n_1^2 \sin^2 \varphi_1}{n_2^2}}} = h \sin \varphi_1 \left(1 + \frac{n_1 \cos \varphi_1}{\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \varphi_1}} \right), \text{ откуда}$$

$$n_2 = n_1 \sin \varphi_1 \sqrt{1 + \left(\frac{\cos \varphi_1}{\sin \varphi_1 - \frac{l}{h}} \right)^2} \quad (1). \text{ Таким способом можно определить коэффициент}$$

преломления пленки, считая ее плоскопараллельной.

Светим лазерной указкой на пленку и отмечаем точку падения луча на экран, установленный перпендикулярно лучу. Затем убираем пленку и отмечаем новую точку падения луча. Измеряем линейкой расстояние между изображениями, которое равно l . Толщину h пленки измеряем линейкой или микрометром. Угол φ_1 измеряем транспортиром. Показатель преломления воздуха $n_1 \approx 1$. Теперь известны все

необходимые величины для расчета показателя преломления пленки по формуле (1). Но такой метод предполагает измерение расстояния между изображениями на экране, которое может быть малым при малой толщине пленки. Поэтому этот метод непригоден для измерения показателя преломления без специального оборудования.

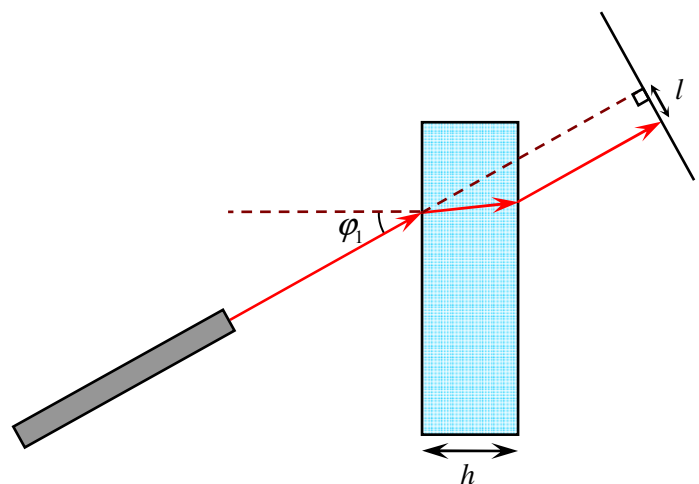


рис.2

Второй метод – воспользоваться законом Брюстера. Если на пленку посветить под углом Брюстера $\alpha = \arctg n$, где n – показатель преломления пленки, то отраженное излучение станет поляризованным в плоскости, перпендикулярной плоскости падения. Другая же компонента излучения, поляризованная в плоскости падения, не отразится. Таким образом, если посветить лазером на стеклянную призму под углом Брюстера для стекла $\alpha = \arctg n_{\text{ст}} \approx 56^\circ$ ($n_{\text{ст}}$ – показатель преломления стекла), то отраженный свет будет

поляризован. Если теперь поместить на пути отраженного луча пленку так, чтобы плоскость луча совпадала с плоскостью его поляризации, и чтобы угол падения был равен углу Брюстера для пленки, то отражения от пленки не будет, поскольку эта компонента излучения не отразится.

Постановка эксперимента:

На рис.3 схематически изображена установка для измерения показателя преломления. На рисунке 1 – лазерная указка; 2 – стеклянная призма; 3 – полиэтиленовая пленка, которую вращают вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной лучу. Ниже изображено вертикальное сечение рисунка, содержащее луч. Отмеряем транспортиром угол падения луча на призму и делаем его равным 56° . При наклоне пленки на угол, равный углу Брюстера, луч исчезает, что можно заметить, например, при помощи листа бумаги.

Конечно, полностью луч не исчезнет в связи с неполной поляризацией луча (невозможно пустить лазерный луч на призму точно под углом

Брюстера), поэтому в экспериментах фиксировали минимальную интенсивность отраженного от пленки луча. Пленка приклеена скотчем к металлической шайбе с отверстием. Шайба прикреплена к микрометру, который закреплен на штативе.

Микрометр применен для измерения угла поворота шайбы: на микрометре полный угол составляет 50 делений, таким образом, одно деление соответствует повороту на угол $\frac{360^\circ}{50} = 7,2^\circ$. Если начальное показание микрометра a_1 , а конечное a_2 ; то показатель

преломления определяется формулой $n = \operatorname{tg} \varphi$, $\varphi = 7,2^\circ \cdot |a_1 - a_2|$.

Результаты эксперимента: При измерении угла поворота микрометра, при котором интенсивность выходящего луча была наименьшая, были получены следующие данные:

№	Материал	Начальное положение a_1	Конечное положение a_2	Угол поворота φ , град	Коэффициент преломления n
1	скотч	$16 \pm 0,5$	$24 \pm 0,5$	$57,6 \pm 7,2$	$1,6 \pm 0,2$
2	пакет	$16,5 \pm 0,5$	$24,5 \pm 0,5$	$57,6 \pm 7,2$	$1,6 \pm 0,2$
3	скотч	$16 \pm 0,5$	$24 \pm 0,5$	$57,6 \pm 7,2$	$1,6 \pm 0,2$
4	файл	$34 \pm 0,5$	$41,5 \pm 0,5$	$54 \pm 7,2$	$1,4 \pm 0,2$
5	скотч	$39 \pm 0,5$	$46,5 \pm 0,5$	$54 \pm 7,2$	$1,4 \pm 0,2$

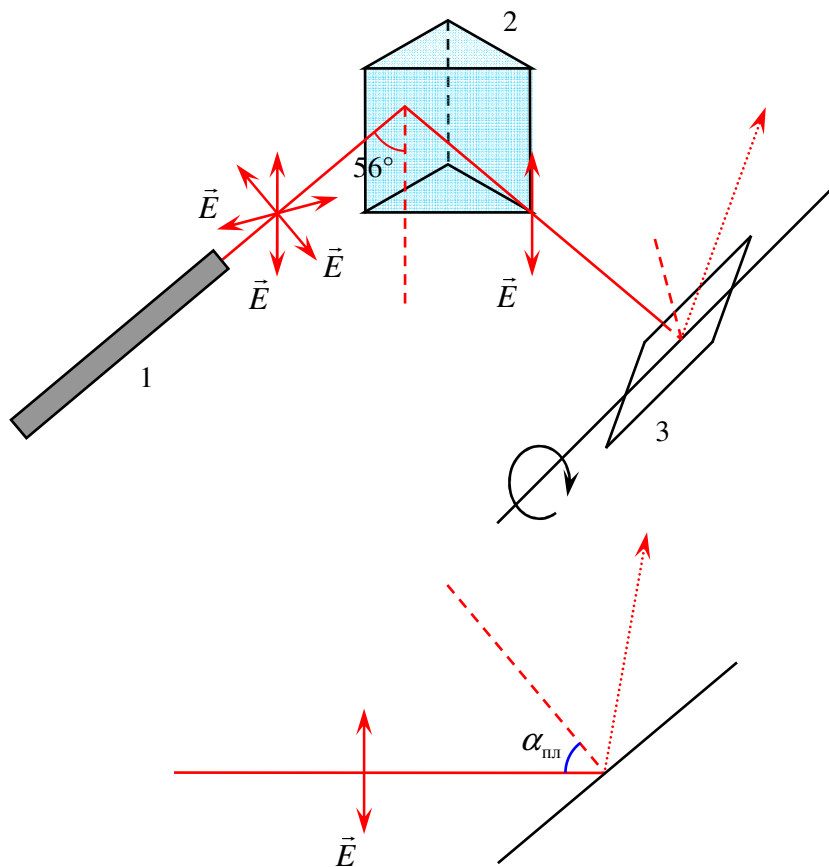


рис.3

В первом столбце указан номер эксперимента. Во втором – изучаемый материал (были изучены пленки из различных полиэтиленовых изделий). В 3-м и 4-м столбцах указаны показания микрометра в делениях, когда пленка наклонена вертикально и под углом минимальной интенсивности выходящего луча соответственно. В 5-м столбце указан угол поворота пленки от вертикального положения. В последнем столбце указан рассчитанный коэффициент преломления. Погрешность измерения угла микрометром равна цене деления (0,5 для начального положения и 0,5 для конечного), т.е. $7,2^\circ$. Погрешность коэффициента преломления оценена при помощи метода границ: вычислено максимально возможное значение коэффициента преломления (со знаком + при вычислении $|a_1 - a_2|$), затем вычислено минимальное значение (со знаком –), за истинное значение взято их среднее, а погрешность равна полуразности максимума и минимума. Соответствующие формулы $n_{\min} = \operatorname{tg}(7,2^\circ \cdot |a_1 - a_2| - \delta a_1 - \delta a_2)$ и $n_{\max} = \operatorname{tg}(7,2^\circ \cdot |a_1 - a_2| + \delta a_1 + \delta a_2)$, где δa_1 и δa_2 – погрешности в измерении a_1 и a_2 . На время эксперимента помещение, в котором проводились эксперименты, было затемнено для улучшения видимости ослабленных отраженных пучков света. На основании экспериментов получаем $n = 1,5 \pm 0,2$. На самом деле погрешность больше вследствие неточностей при определении минимума интенсивности луча.

Выводы: Экспериментально определен коэффициент преломления полиэтиленовой пленки $n = 1,5 \pm 0,2$. На самом деле погрешность больше вследствие неточности определения минимума интенсивности. Для уменьшения случайной погрешности можно было воспользоваться более точными угломерными приборами, например, транспортиром. Однако из-за некоторых сложностей при осуществлении такого метода, он не был реализован.

Задача № 5

Условие: Изучите упругие свойства швейных ниток №10.

Цель эксперимента: определить упругие свойства исследуемой нити, т.е. модуль Юнга и предел прочности. Построить кривую нагрузки на нить.

Оборудование: нить № 10, пластиковая бутылка емкостью 5 л, дополнительные бутылки емкостью 1 л, рулетка строительная, линейка, микрометр, шприц медицинский емкостью 20 мл, палка деревянная, скотч, подвес, бумага, вода (см. рис. 1). На рисунке 1 – бутылки; 2 – нить № 10; 3 – деревянная палка; 4 – рулетка; 5 – банка с водой (сама банка в эксперименте использована не была); 6 – рулетка; 7 – микрометр; 8 – шприц емкостью 20 мл.



рис.1

Теоретические сведения: Модуль Юнга – физическая величина, характеризующая способность материала упруго деформироваться под действием внешних сил. Ее можно определить по формуле $E = \frac{Fl_0}{S\Delta l}$, где E – модуль Юнга; F –

величина деформирующей силы, направленной перпендикулярно сечению материала; S – площадь сечения, l_0 – исходная длина деформируемого стержня (или нити); Δl – изменение длины стержня или нити. Предел прочности – физическая величина, характеризующая предельную нагрузку, которую выдерживает материал, и определяемая по формуле $\sigma_{\text{пч}} = \frac{F_{\text{кр}}}{S}$, где $\sigma_{\text{пч}}$ – предел прочности; $F_{\text{кр}}$ –

критическая сила, при превышении которой материал разрушается. Кривая нагрузки – это график зависимости $\sigma(\Delta l/l_0)$ или $F(\Delta l)$, где $\sigma = \frac{F}{S}$ – напряжение нити; l_0 – длина недеформированной нити. Приведенная на рис.2 кривая нагрузки взята из книги Яворский Б.М., Детлаф А.А., Лебедев А.К. "Справочник по физике для инженеров и студентов вузов". На графике точка А – предел пропорциональности, т.е. точка, в которой теряется линейная зависимость $F(\Delta l)$; точка А' – максимальное напряжение, при котором еще не образуются остаточные (необратимые) деформации, или предел упругости; точка В – предел текучести, после которого удлинение возрастает без увеличения напряжения (горизонтальный участок ВС); точка D – предел прочности.

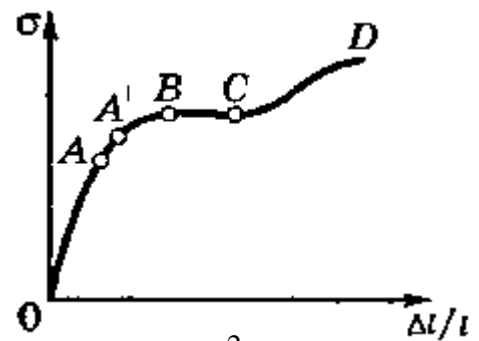


рис.2

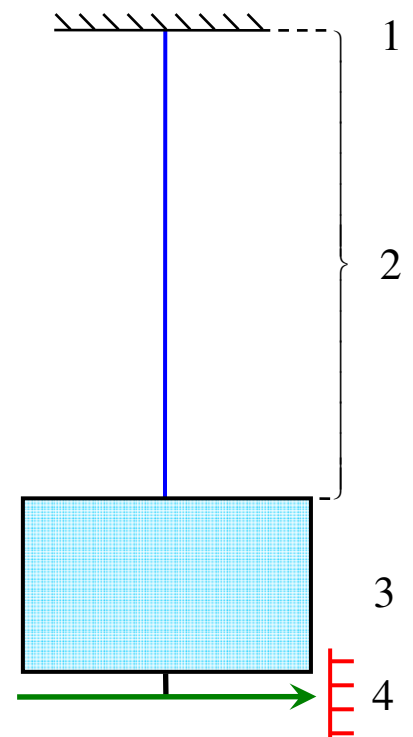


рис.3

Постановка эксперимента: Измеряем необходимые величины при помощи установки, показанной на рис.3 (на рисунке 1 – подвес; 2 – исследуемая нить; 3 – нагрузка в виде бутылки с водой; 4 – стрелка, жестко связанная с нагрузкой и указывающая на измерительную шкалу, прикрепленную на стенке). На рис. 4 изображена фотография этой установки (на рисунке 1 – нить; 2 – бутылка с водой; 3 – линейка, прикрепленная ко дну бутылки скотчем, играющая роль стрелки; 4 – лист бумаги, прикрепленный к стене скотчем и выполняющий роль шкалы). До начала эксперимента измеряем длину нити в нерастянутом состоянии рулеткой. Затем привешиваем к нити различные нагрузки в виде пятилитровой бутылки с водой. Массу бутылки определяем при помощи метода, схематически изображенного на рис.5. Деревянную палку подвешиваем к потолку и устанавливаем по разные стороны от точки подвеса две нагрузки в виде литровых бутылок с водой, двигая их вплоть до достижения равновесия. Затем к одной из бутылок добавляем 5-литровую, массу m_0 которой необходимо определить, и смотрим, сколько воды необходимо вылить из этой бутылки, чтобы равновесие опять наблюдалось. Объем вылитой воды определяем при помощи шприца, а затем по плотности вычисляем и ее массу Δm . Поскольку плечо силы тяжести вылитой воды равно плечу силы тяжести пустой бутылки, то $m_0 = \Delta m$ (см. рисунок 5).



рис.4

Объем нагруженной на нить воды определяем также при помощи шприца. Стрелку, роль которой в эксперименте выполняла линейка, устанавливаем горизонтально. При изменении нагрузки нить изменяет свою длину, что, в свою очередь, изменяет положение стрелки. Каждое очередное положение проекции конца стрелки отмечаем. Пренебрегая деформациями всех остальных элементов конструкции, таким образом можно измерить растяжение нити.

Площадь сечения нити можно оценить, считая сечение круглым. Измеряем диаметр нити при помощи микрометра, а затем вычисляем площадь по формуле

$$S = \frac{\pi d^2}{4}.$$

Результаты эксперимента: При измерении толщины нити были получены следующие данные:

№	d , мм	S , мм ²
1	$0,20 \pm 0,02$	$0,031 \pm 0,006$
2	$0,20 \pm 0,02$	$0,031 \pm 0,006$
3	$0,21 \pm 0,02$	$0,035 \pm 0,006$
4	$0,22 \pm 0,02$	$0,037 \pm 0,007$
5	$0,21 \pm 0,02$	$0,035 \pm 0,006$

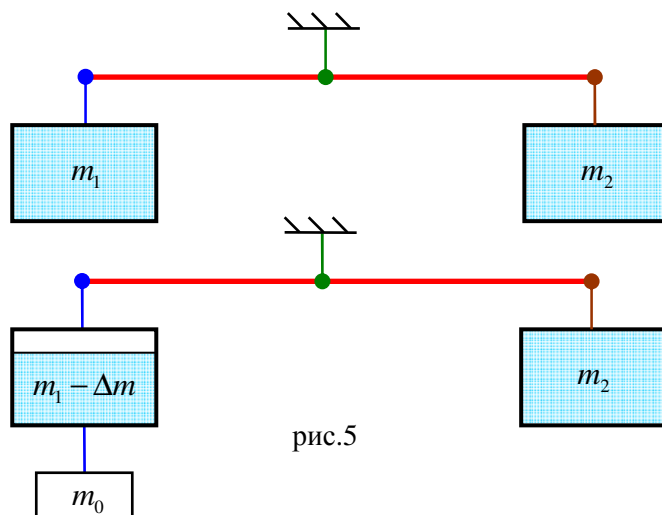


рис.5

Получаем $S = 0,034 \pm 0,006$ мм².

Погрешность оценена по формуле $\Delta S = \frac{\pi d \Delta d}{2} = 2S \frac{\Delta d}{d}$. На самом деле погрешность при измерении d больше вследствие непостоянности диаметра нити по длине.

При измерении массы 5-литровой бутылки методом, изображенным на рис.4, был получен результат $m_0 = 120 \pm 10$ г. Источники погрешностей – измерение объема воды шприцом и сдвиги грузов (при этом момент силы тяжести груза изменяется, вынуждая изменять момент силы тяжести налитой воды, что приводит к ошибке в результатах измерения). При измерении модуля Юнга и предела прочности на установке, изображенной на рис.3, были получены следующие данные:

№	Объем долитой воды ΔV , мл	Растяжение нити Δl , см	Нагрузка на нить m , кг	Напряжение σ , МПа	Относительное растяжение $\Delta l / l_0$, %
1	0 ± 0	$0,9 \pm 0,05$	$0,12 \pm 0,005$	35 ± 6	$0,69 \pm 0,04$
2	80 ± 4	$1,5 \pm 0,05$	$0,2 \pm 0,007$	58 ± 10	$1,16 \pm 0,04$
3	100 ± 5	$2,1 \pm 0,05$	$0,3 \pm 0,01$	87 ± 16	$1,62 \pm 0,04$
4	100 ± 5	$2,8 \pm 0,05$	$0,4 \pm 0,012$	115 ± 21	$2,16 \pm 0,04$
5	100 ± 5	$3,8 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,015$	144 ± 26	$2,93 \pm 0,04$
6	100 ± 5	$5,7 \pm 0,05$	$0,6 \pm 0,017$	173 ± 31	$4,39 \pm 0,04$
7	100 ± 5	$7,5 \pm 0,05$	$0,7 \pm 0,02$	202 ± 36	$5,78 \pm 0,04$
8	100 ± 5	$9,6 \pm 0,05$	$0,8 \pm 0,022$	231 ± 41	$7,40 \pm 0,04$
9	100 ± 5	$12,5 \pm 0,05$	$0,9 \pm 0,025$	260 ± 46	$9,63 \pm 0,04$
10	100 ± 5	$13,8 \pm 0,05$	$1,0 \pm 0,027$	289 ± 52	$10,63 \pm 0,04$
11	200 ± 10	$15,5 \pm 0,05$	$1,2 \pm 0,032$	346 ± 62	$11,94 \pm 0,04$
12	200 ± 10	$17,5 \pm 0,05$	$1,4 \pm 0,037$	404 ± 72	$13,48 \pm 0,04$
13	200 ± 10	$18,5 \pm 0,05$	$1,6 \pm 0,042$	462 ± 82	$14,25 \pm 0,04$
14	200 ± 10	$19,8 \pm 0,05$	$1,8 \pm 0,047$	519 ± 93	$15,25 \pm 0,04$
15	200 ± 10	$21,6 \pm 0,05$	$2,0 \pm 0,052$	577 ± 103	$16,64 \pm 0,04$
16	200 ± 10	$22,3 \pm 0,05$	$2,2 \pm 0,057$	635 ± 113	$17,18 \pm 0,04$
17	200 ± 10	$23,4 \pm 0,05$	$2,4 \pm 0,062$	692 ± 124	$18,03 \pm 0,04$

Напряжение вычислено по формуле $\sigma_n = \frac{mg}{S} = \frac{(m_0 + \rho_0 \sum_{i=1}^n \Delta V_i)g}{S}$, где ρ_0 – плотность

воды; m_0 – масса бутылки; $\sum_{i=1}^n \Delta V_i$ – суммарный объем воды в бутылке (как сумма

доливаний). Относительная погрешность измерения объема воды шприцом равна 2,5% как половина цены деления. Погрешность нагрузки равна сумме погрешностей массы бутылки и воды. Погрешность измерения растяжения Δl равна половине цены деления линейки. Погрешность в измерении напряжения и относительного растяжения оценена по

формулам $\delta \sigma = \sigma \sqrt{\left(\frac{\delta m_0 + \sum_{i=1}^n \delta \Delta V_i}{m_0 + \sum_{i=1}^n \Delta V_i} \right)^2 + \left(\frac{\delta S}{S} \right)^2}$; $\delta(\Delta l / l_0) = \frac{\Delta l}{l_0} \sqrt{\left(\frac{\delta \Delta l}{\Delta l} \right)^2 + \left(\frac{\delta l}{l_0} \right)^2}$; где

знак δ перед обозначением величины означает использование вместо самой величины ее погрешность (например, δm_0 – погрешность в измерении массы бутылки).

На рис.6 приведен экспериментальный график зависимости $\sigma(\Delta l/l_0)$, где $l_0 = 129,8 \pm 0,05$ см.

Нить порвалась при напряжении $\sigma_{\text{пч}} = 692 \pm 124$ МПа (соответствует нагрузке около 2,4 кг) и относительном растяжении $\Delta l/l_0 = 18,03 \pm 0,04$ %. На графике виден участок линейного растяжения нити вплоть до растяжений порядка 2,5 % (соответствует нагрузке около 0,5 кг). При растяжении порядка 3 % наступает предел упругости. На графике нет

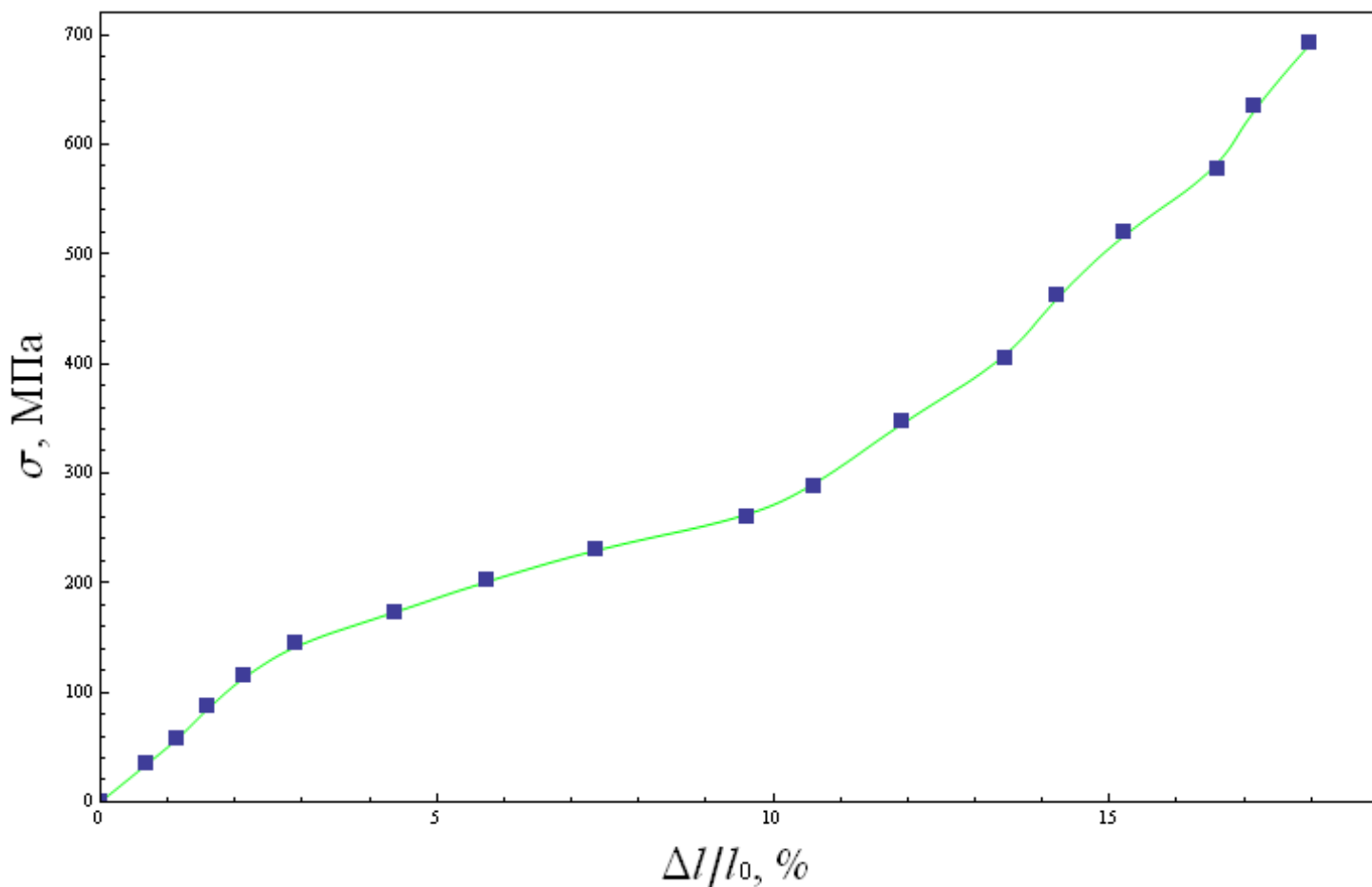


рис.6

горизонтального участка, в отличие от теоретического (см. рис. 3). При растяжении около 12,5 % оно снова становится линейным, но с исходной длиной, большей начальной (растяжение на 5 % по сравнению с длиной в начале эксперимента) и продолжает оставаться таким вплоть до разрыва нити. Эта неупругая деформация сохранялась и после снятия нагрузки. Модуль Юнга для линейного растяжения нити равен $5,2 \pm 1$ ГПа. Погрешность в модуле Юнга обусловлена, во-первых, неточностью в измерении величин σ и $\Delta l/l_0$, а во-вторых, неровностью графика (модули Юнга для разных точек отличаются друг от друга; приведена усредненная величина). Формулы для вычисления

$$\text{модуля Юнга методом границ } E_{\min} = \frac{\left(m_0 - \delta m_0 + \rho_0 \left(\sum_{i=1}^n \Delta V_i - \sum_{i=1}^n \delta \Delta V_i \right) \right) (l - \delta l)}{(S + \delta S)(\Delta l + \delta \Delta l)} \quad \text{и}$$

$$E_{\max} = \frac{\left(m_0 + \delta m_0 + \rho_0 \left(\sum_{i=1}^n \Delta V_i + \sum_{i=1}^n \delta \Delta V_i \right) \right) (l + \delta l)}{(S - \delta S)(\Delta l - \delta \Delta l)} .$$

Выводы: Экспериментально оценены модуль Юнга $E = 5,2 \pm 1$ ГПа; предел прочности $\sigma_{\text{пч}} = 692 \pm 124$ МПа; предельное растяжение $\Delta l / l_0 = 18,03 \pm 0,04$ %. На самом деле погрешности больше вследствие непостоянства площади сечения нити. Для установления истинной погрешности необходимо провести больше экспериментов с нитями, взятыми в различных участках катушки. В настоящем эксперименте этого не было сделано. При экспериментировании на установке, показанной на рис.3, были замечены интересные явления. При резком увеличении нагрузки нить иногда рвалась при нагрузке, которую выдерживала при ее медленном наращивании. Поэтому во всех экспериментах нагрузку наращивали медленно. Также, при добавлении нагрузки нить не сразу, а в течение длительного промежутка времени растягивалась. Данные явления свидетельствуют о неупругих особенностях нити.