

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени С. П. КОРОЛЕВА

ДИНАМИКА

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

(Задания № 3—7)

Для слушателей подготовительного отделения

КУЙБЫШЕВ 1979

Министерство высшего и среднего специального
образования Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт им. С.П.Королева

Д И Н А М И К А

Лабораторная работа

(З а д а н и я № 3 - 7)

Для слушателей подготовительного
отделения

УДК 53 (07)

Составители: ст. преп. каф. физ. Л.А.К р о к о в а
ас. каф. физ. Г.И.К а р х а н и н а

Под ред. и,о.доц. О.А.Ж у р а в л е в а

Рассмотрены и утверждены редакционно-издательским
советом института 17.II.1978.

ИЗУЧЕНИЕ ВТОРОГО ЗАКОНА НЬЮТОНА.

Ц е л ь р а б о т ы: изучение второго закона Ньютона и законов равнопеременного движения, определение величин, входящих в эти законы.

П р и б о р ы и п р и н а д л е ж н о с т и: машина Атвуда, секундомер, набор перегрузков.

С о д е р ж а н и е и м е т о д
в ы п о л н е н и я р а б о т ы

Из первого закона Ньютона следует, что тело само по себе, без взаимодействия с окружающими телами не может изменить скорости движения. Всякое изменение величины или направления скорости движения тела вызывается воздействием на него внешних тел.

Количественной мерой воздействия, оказываемого на данное тело со стороны других тел, является сила. Это векторная физическая величина. Она характеризуется численным значением, направлением и точкой приложения.

Всякое тело оказывает противодействие попыткам изменить его состояние движения. Это свойство тел называется инертностью. Количественной характеристикой инертности тела является масса тела.

Второй закон Ньютона устанавливает зависимость ускорения от силы, действующей на тело, и его массы. Формулируется закон следующим образом: ускорение всякого тела прямо пропорционально действующей на тело силе F и обратно пропорционально массе тела m :

$$\vec{a} = \frac{F}{m} \quad (I)$$

В этой формулировке отчетливо видно, что сила — причина вызывающая ускорение тела. Поэтому направление ускорения всегда совпадает с направлением действующей силы. Соотношение (I) можно переписать в следующем виде:

$$F = m\vec{a} .$$

Таким образом, сила, действующая на тело, равна произведению массы тела на сообщаемое этой силой ускорение.

Если тело взаимодействует не с одним, а несколькими телами, то на него действует не одна, а несколько сил. При этом силы "не мешают" друг другу сообщать телу, на которое они действуют, свое ускорение.

Ускорение, которое сообщают телу все действующие на него силы, будет такое же, какое сообщила бы ему одна сила, равная векторной сумме всех этих сил. Такая сумма называется равнодействующей всех приложенных к телу сил.

В формуле $\vec{F} = m\vec{a}$ под силой \vec{F} нужно понимать равнодействующую всех сил, действующих на тело.

О п и с а н и е п р и б о р а

Опытную проверку законов кинематики и динамики поступательного движения удобно производить с помощью машины Атвуда.

Машина Атвуда имеет вертикальную шкалу с сантиметровыми делениями рис. 1. На верхнем конце шкалы имеется легкий блок 1, вращающийся с небольшим трением. Через блок перекинута легкая нить с грузами 2, одинаковой массы.

Электромагнитный пускатель 3 служит для пуска и остановки грузов. При проведении опытов нить, соединяющая грузы, заводится между якорем и сердечником электромагнита. При напряжении якорь электромагнита притягивается к сердечнику и нить системы грузов надежно фиксируется в требуемом положении.

Необходимо следить, чтобы нить грузов свободно перемещалась в зазоре между якорем и сердечником и не касалась их.

Приемный столик 4 предназначен для разрыва электрической цепи счетчика - секундомера и, следовательно, прекращения отсчета времени в тот момент, когда груз опустился на его площадку. Приемный столик 4 следует располагать таким образом, чтобы верхняя плоскость дна его площадки приходилась против нужного деления на шкале. Размыкание цепи и прекращение отсчета промежутков времени происходит в тот момент, когда под действием груза площадка приемного столика опустится вниз. Подвижное кольцо 5 предназначено для включения отсчета времени через какой - либо отрезок времени, после того как грузы придут в движение. Подвижное кольцо снабжено двумя полукольцами, которые выполняют роль контактов при попадании

на них перегрузков. При прохождении через подвижное кольцо 5 груза, снабженного перегрузком, последний задерживается в кольце, замыкает электрическую цепь и включает секундомер. Перегрузки имеют форму треугольника и в любом положении замкнут полукольца.

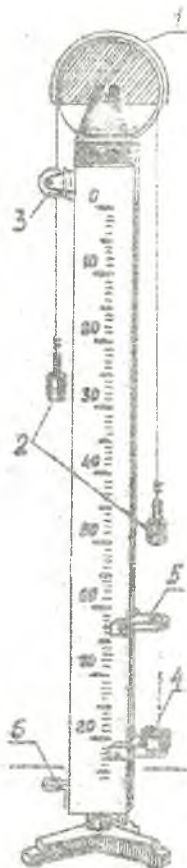
Ограничитель 6 предназначен для установки грузов на нулевом делении во время опытов. Ограничитель необходимо установить так, чтобы при установке левого груза на его верхнюю поверхность нижний торец правого груза устанавливался напротив нулевой отметки на шкале.

Если на правый груз 2 положить перегрузок, имеющий массу m' , и выключить ток в обмотке электромагнитного пускателя 2, то вся система начнет двигаться равноускоренно.

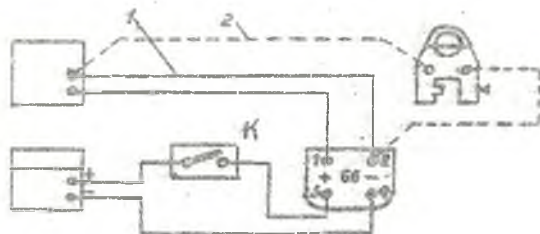
Упражнение 1. Определение мгновенной скорости движения

На рис. 2 приведена электрическая схема для выполнения данного упражнения.

Сюда входят машина Атьвуда (на рис. 2 показана лишь колодка с зажимами, которая устанавливается в нижней части шкалы прибора), электронный счетчик-секундомер ССЭШ - 65, источник постоянного тока ВС-4 - 12 и коммутационный ключ.



Р и с . 1



Р и с . 2

Порядок выполнения упражнения I

1. Установить правый груз с перегрузком $M = 4$ г у нулевого деления шкалы (у нулевой отметки на шкале должна быть нижняя поверхность груза).

2. Приемный столик установить на отметке 80 см.

3. Замкнуть цепь электромагнитного переключателя ключом K (см. рис. 2) (при этом нить зафиксировается).

4. Разомкнуть цепь пускателя. Нить системы грузов освободится и правый груз начнет движение. При достижении им площадки приемного столика секундомер выключится.

5. По показаниям электронного секундомера определить время движения груза t_0 .

6. Определить ускорение движения системы из формулы пути равноускоренного движения из состояния покоя $S = \frac{at^2}{2}$.

7. Возвратить грузы в исходное положение.

8. Определить путь S_1 , пройденный грузом за время $t_1 = 2c$, для этого нужно замкнуть цепь пускателя в конце второй секунды после начала движения грузов.

9. Подсчитать скорость грузов в конце второй секунды как $v_1 = at_1$.

10. Установить на уровне перегрузка правого груза подвижное кольцо, соединив его последовательно с приемным столиком и секундомером (см. рис. 2). Привести в движение систему грузов из исходного нулевого положения. Секундомер включается, когда правый груз пройдет через кольцо, в момент соприкосновения перегрузка с кольцом.

11. Отсчитать после снятия перегрузка $\Delta t_1 = 1c$ и, включив электромагнит, остановить грузы. Записать путь S_2 , пройденный от начала движения.

12. Путь $\Delta S_1 = S_2 - S_1$, будет путем, пройденным грузом при равномерном движении (грузы без воздействия ускоряющей силы, после снятия перегрузка, будут двигаться равномерно).

13. Подсчитать скорость равномерного движения. Это и есть мгновенная скорость в конце второй секунды $v_1' = \frac{\Delta S_1}{\Delta t_1}$.

14. Сравнить значение v_1 , полученное в п. 9, со значением v_1' .

15. Аналогичным способом определить мгновенную скорость в конце третьей секунды от начала движения.

15. Построить график зависимости скорости от времени, приняв за начало отсчета значение $t_0 = 0$; $v_0 = 0$.

Упражнение 2. Получение закона соотношения путей для равноускоренного движения тела

1. Установить правый груз с перегрузком $m = 4$ г у нулевого деления шкалы.

2. Замкнуть цепь пускателя ключем K (см. рис. 2).

3. Определить путь ΔS_1 , пройденный за $\Delta t_1 = 1c$. Для этого привести в движение систему грузов, разомкнув ключ K , и замкнуть цепь пускателя через I с от начала движения.

4. Определить таким же образом пути, пройденные грузом от нулевой отметки за время $t_2 = 2c$; $t_3 = 3c$; $t_4 = 4c$ и записать соответственно пути S_2 ; S_3 ; S_4 .

5. Подсчитать пути, пройденные грузом с перегрузком, за $\Delta t_2 = t_2 - \Delta t_1$; $\Delta t_3 = t_3 - t_2$; $\Delta t_4 = t_4 - t_3$;
 $\Delta S_2 = S_2 - \Delta S_1$; $\Delta S_3 = S_3 - S_2$; $\Delta S_4 = S_4 - S_3$.

6. Получить закон соотношения путей

$$\Delta S_1 : \Delta S_2 : \Delta S_3 : \Delta S_4 = \Delta t_1 : \Delta t_2 : \Delta t_3 : \Delta t_4.$$

Упражнение 3. Получение зависимости ускорения тела от действующей на него силы

1. Установить правый груз с перегрузком $m = 2$ г у нулевого деления шкалы. Приемный столик закрепить на отметке 80 см. Замкнуть цепь.

2. Разомкнуть цепь пускателя и определить с помощью секундомера время t_0 движения груза до приемного столика.

3. Определить ускорение движения системы по формуле

$$a_0 = \frac{2S}{t_0^2}.$$

4. Возвратить грузы в исходное положение. По показаниям секундомера остановить грузы при $t_1 = 1c$; $t_2 = 2c$; $t_3 = 3c$; $t_4 = 4c$. Определить пути, пройденные грузом за эти промежутки времени S_1 , S_2 ; S_3 ; S_4 .

5. Рассчитать ускорение движения по результатам каждого измерения:

$$a_1 = \frac{2S_1}{t_1^2}; \quad a_2 = \frac{2S_2}{t_2^2} \quad \text{и т.д.}$$

6. Сравнить значение (полученное в п. 3) со значениями a_1 ; a_2 ; a_3 ; a_4 .

7. Повторить измерение по п. 1-6 заменив $m_1 = 2$ г перегрузкой $m_2 = 1$ г.

8. Сравнить ускорения, полученные системой при перегрузках m_1 и m_2 .

Упражнение 4. Получение зависимости ускорения тела от его массы

1. Определить ускорение движения подвижной системы с перегрузкой $m = 2$ г. Для этого выполнить в. 1 - 6 упр. 3 данной работы.

2. Уменьшить массу грузов подвижной системы в 2 раза, сдвинув нижние цилиндры правого и левого грузов.

3. Повторить п. 1-6 упр. 3 при том же перегрузке $m = 2$ г.

4. Сравнить полученные ускорения при различных массах движущейся шкалы.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Сформулируйте второй закон Ньютона.

2. Что такое мгновенная скорость?

3. Каким будет движение системы грузов после снятия перегрузки с правого груза?

4. Сформулируйте закон соотношения путей для равноускоренного движения.

5. Если промежутки времени в равноускоренном движении изменяются на одну секунду s , то на какую величину должны измениться пути, проходимые грузом за каждую следующую секунду?

Л и т е р а т у р а

Г у р с к и й И.И. Элементарная физика. М., "Наука", 1973, с. 30-35.

К и к о и н И.К., К и к о и н А.К. Физика. Учебное пособие для 8 класса. М., "Просвещение", 1975, с. 90-104.

З а д а н и е № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНОЙ СИЛЫ

Ц е л ь р а б о т ы: применение второго закона Ньютона к вращательному движению тела.

И р и б о р ы и п р и н а д л е ж н о с т и: грузики массой 50-100 г на длинных нитях; штатив с лапкой; лист бумаги с двумя начерченными окружностями ($R_1 = 15$ см и $R_2 = 20$ см); секундомер; динамометр; линейка с сантиметровыми делениями.

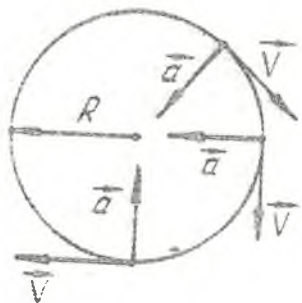
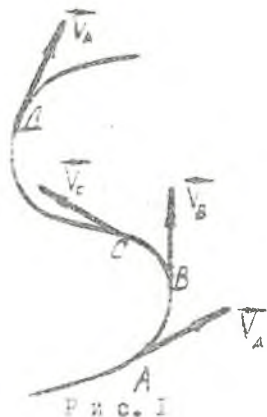
С о д е р ж а н и е и м е т о д в ы п о л н е н и я р а б о т ы

Движение материальной точки по окружности является одним из видов криволинейного движения. Скорость движения тела в любой точке криволинейной траектории направлена по касательной к траектории в этой точке. Следовательно, мгновенная скорость тела в различных точках криволинейной траектории имеет различные направления (рис. 1). Даже если модуль скорости не изменяется, ее все равно нельзя считать постоянной, так как скорость величина векторная, а для векторной величины модуль и направление одинаково важны.

Равномерное движение тела по окружности, несмотря на постоянство модуля скорости, является движением с ускорением (рис. 2). Ускорение при таком движении связано только с изменением направления вектора скорости. Ускорение тела, равномерно движущегося по окружности, в любой точке перпендикулярно вектору скорости в этой точке и направлено по радиусу окружности к ее центру. Это называют центробежным или нормальным ускорением. Модуль центробежного ускорения определяется выражением

$$|\vec{a}_n| = \omega^2 R$$

$$\text{или } |\vec{a}_n| = \frac{v^2}{R}, \quad (1)$$



где ω - угловая скорость вращения;
 v - линейная скорость движения тела по окружности радиуса R .

Согласно второму закону Ньютона, всякое изменение движения возможно только под действием силы. Следовательно, центростремительное ускорение должно вызываться некоторой силой \vec{F} , тоже направленной к центру окружности.

Из второго закона Ньютона $\vec{F} = m\vec{a}$ имеем:

$$|\vec{F}| = m|\vec{a}| \quad \text{или} \quad F = m\omega^2 R = \frac{mv^2}{R} \quad (2)$$

Эта сила приложена к телу, движущемуся по окружности, направлена по радиусу к центру вращения и удерживает тело на окружности. Называется она центростремительной силой.

Центростремительная сила - это не новый вид сил. В роли центростремительной силы может выступать любая из реальных сил: сила упругости, сила тяготения, сила трения. Равномерно вращающееся по окружности тело может находиться под действием любого числа как угодно направленных сил. Результирующая этих сил, т.е. их векторная сумма, должна быть обязательно направлена по радиусу к центру окружности, она будет выполнять роль центростремительной силы, и должна быть равной $F = ma_c$.

Таким образом, правильнее сказать, что центростремительная сила - это равнодействующая всех сил, действующих на данное тело, движущееся по окружности. Роль центростремительной силы заключа-

ется в том, что она непрерывно отклоняет тело от прямолинейного пути, по которому это тело двигалось бы по инерции в отсутствие внешних сил.

Используя связь линейной скорости с частотой вращения n ($v = 2\pi n R$), можно получить для величины центростремительной силы выражение

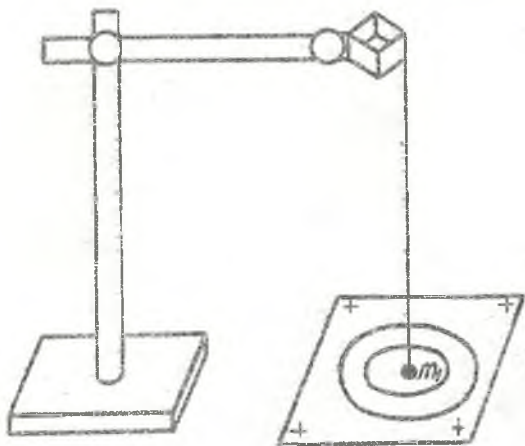
$$F = 4\pi^2 m n^2 R \quad (3)$$

где n - число оборотов вращающегося тела в 1 с.

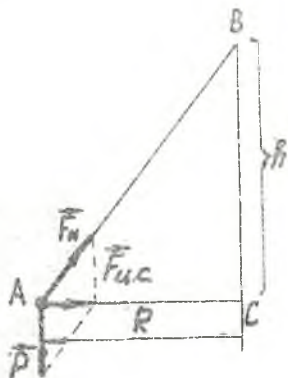
П о р я д о к в ы п о л н е н и я р а б о т ы

1. Подвесить грузик массой m_1 к динамометру. Записать показание $P = m_1 g$.

2. Укрепить грузик на нити в ланке штатива (рис. 3). Положить около штатива лист бумаги с начерченными окружностями так, чтобы продолжение нити проходило через центр окружности (грузик m_1 должен располагаться точно над центром).



Р и с . 3



Р и с . 4

3. Взяв нить пальцами у точки подвеса, привести грузик во вращение над окружностью с $R_1 = 15$ см (попрактикуйтесь!).

4. Когда движение грузика установится, отсчитайте время, необходимое грузику для совершения $N = 20 - 30$ оборотов.

5. Определить число оборотов грузика за 1 секунду (n).

6. Измерить радиус окружности линейкой — R_1 .

7. Вычислить величину центростремительной силы используя выражение (3).

8. Определить высоту h конуса, описываемого грузиком m , при движении (рис. 4). Для этого оттянуть грузик до края окружности $R_1 = 15$ см и измерить расстояние по вертикали от центра грузика до точки подвеса BC .

Рассмотрев подобные треугольники ABC и AF , определить из соотношения сходственных сторон силу $F_{цс}$.

9. Все данные занести в таблицу.

№ п/п	Показание динамометра,	Число оборотов,	Время,	Частота оборотов,	Радиус окружности	Центростремительная сила,	Высота конуса,	Сила, полученная из подобия треугольников
	P	N	t	n	R	$F_{цс}$	h	$F_{цс}$
1								
2								
3								
4								

10. Повторить пункты 1-10 для грузика массой m_2 для вращения над окружностью радиусе $R_2 = 20$ см.

II. Прodelать работу с грузиком массой m_2 для тех же радиусов вращения ($R_1 = 15$ см, $R_2 = 20$ см).

Контрольные вопросы

1. Почему мы говорим об ускорении при равномерном движении по окружности?

2. Как направлено ускорение при равномерном движении по окружности? Как оно называется? Чему оно равно?

3. Сформулируйте и запишите второй закон Ньютона для равномерного движения материальной точки по окружности.

4. Какие силы могут играть роль центростремительной силы?

5. Почему на крутых поворотах машину движущуюся с большой скоростью "заносит"?

6. Какими силами создается центростремительное ускорение тела, лежащего на поверхности Земли и вращающегося вместе с нею?

Л и т е р а т у р а

Г у р с к и й И.Л. Элементарная физика. М., "Наука". 1976. 26-29.

К и к о и н И.К., К и к о и н А.К. Физика. Учебное пособие для 8 класса. М., "Просвещение", 1978, с. 63-68, 128-136.

З а д а н и е № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ РЕЗИНЫ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ РАСТЯЖЕНИЯ

Ц е л ь р а б о т ы: изучение деформации упругого растяжения и определение модуля упругости тела.

П р и б о р ы и п р и н а д л е ж н о с т и: штатив с лапкой; резиновый шнур длиной 25-30 см, чашка, набор грузов, линейка, штангельциркуль.

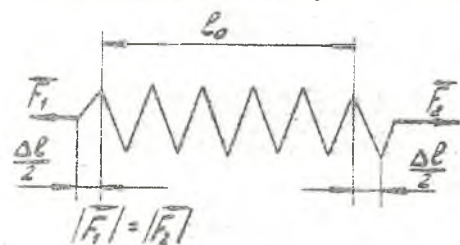
С о д е р ж а н и е и м е т о д в ы п о л н е н и я р а б о т ы

Все реальные тела деформируемы, т.е. под действием приложенных сил они изменяют свои размеры и форму. Деформация называется упругой, если она исчезает после удаления вызвавших ее причин, и пластической, если она остается (хотя бы частично) после прекращения действия деформирующих сил.

Носы, балки, стены, детали станков при действия на них сил должны работать в области упругих деформаций. Наоборот, при меха-

нической обработке металлов (ковка, штамповка и т.д.) их подвергают пластической деформации с тем, чтобы деталь, полученная в результате обработки приобрела нужные размеры и форму и сохранила их после снятия усилий.

Возьмем пружину, имеющую в недеформированном состоянии длину l_0 и приложим к ее концам равные по величине, противоположно направленные силы F_1 и F_2 (рис. 1).



Р и с. 1

Под действием этих сил пружина растянется на некоторую величину Δl , после чего наступит равновесие. В состоянии равновесия внешние силы F_1 и F_2 будут уравновешены упругими силами, возникшими в пружине в результате деформации. Из опыта из-

вестно, что при небольших деформациях удлинение пружины Δl оказывается пропорциональным растягивающей силе:

$$\Delta l \sim F; \quad (1)$$

Соответственно упругая сила оказывается пропорциональной удлинению пружины

$$F = k \Delta l, \quad (2)$$

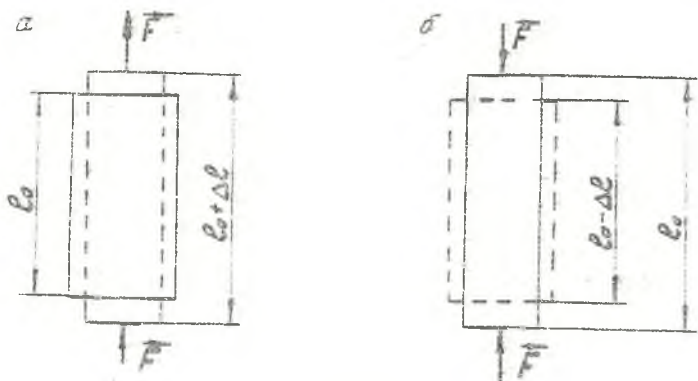
где $F = F_1 = F_2$ (см. рис. 1); k - коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом жесткости пружины. Соотношение (2) есть форма записи закона Гука: сила упругости пропорциональна деформации тела.

Из закона Гука следует, что шкала динамометра должна быть равномерной. Это существенно облегчает его градуировку.

Существует несколько видов деформации: растяжение, сжатие, изгиб, кручение. Наиболее простой является деформация продольного растяжения или сжатия, заключающаяся в увеличении или уменьшении длины стержня при действии на него сжимающих или растягивающих сил (рис. 2, а, б).

Деформация тела характеризуется его относительным удлинением ϵ - отношением изменения длины тела Δl к его первоначальной длине l_0 :

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$



Р и с. 2

Удлинение или сжатие тела при действии на него силы вызовет появление напряжения в теле. Напряжением растяжения или сжатия σ называется величина равная отношению действующей силы F к площади сечения тела S , перпендикулярного к направлению силы:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (4)$$

Используя параметры S и σ введенные соотношениями (3) и (4) закон Гука можно записать также в виде:

$$\sigma = E \varepsilon, \quad (5)$$

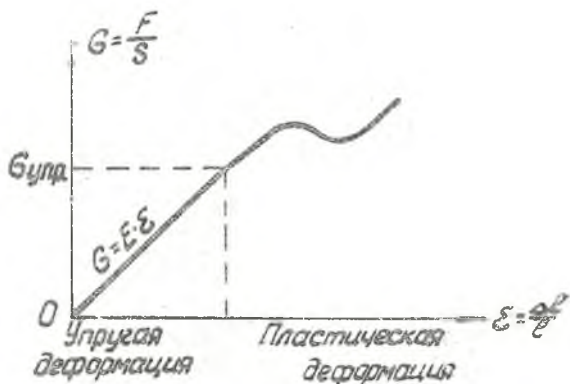
где E - модуль упругости (модуль Юнга), который характеризует упругие свойства материалы. Измеряется модуль Юнга в паскалях ($1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$). Преобразуем соотношение (5), учитывая (3) и (4),

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l_0} \quad \text{или} \quad F = \frac{ES}{l_0} \Delta l. \quad (6)$$

Так как соотношение $\frac{ES}{l_0} = k$ для данного стержня есть величина постоянная, то выражение (6) записывается окончательно

$$F = k \Delta l. \quad (7)$$

На графике (рис.3) приведена зависимость между напряжением σ и относительной деформацией ε . Предельная величина деформации, до которой тело сохраняет упругие свойства (выполняется

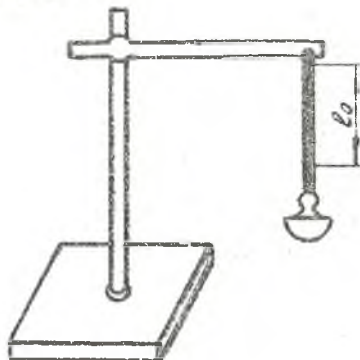


Р и с. 3

закон Гука), называется пределом упругости. Предел упругости задается в виде предельного упругого напряжения $\sigma_{упр}$ (см. рис. 3). Каждый материал в данном физическом состоянии (например, при данной температуре) имеет свой определенный предел упругости.

П о р я д о к в ы п о л н е н и я р а б о т ы

1. Укрепить резиновый шнур с чашкой для груза как показано на рис. 4.



Р и с. 4

2. Сделать на шнуре две метки. Измерить расстояние между метками l_0 и диаметром шнура d . Вычислить площадь поперечного сечения S шнура.

3. Постепенно добавляя в чашку грузы массой m_1, m_2 и т.д., измерять для каждого из них длину шнура $l'_1; l'_2$ и т.д.

4. Снимая в такой же последовательности грузы, вновь измерить для них длину шнура $l''_1; l''_2$ и т.д.

5. Рассчитать модуль упругости по формуле (5) или (6), считая, что диаметр шнура остается постоянным.

6. Измерения и расчеты произвести для 5 грузов. Результаты занести в таблицу.

№ п/п	m кг	F Н	d м	$S = \frac{1}{4}\pi d^2$ м ²	l_1 м	l_2 м	$\Delta l_1 = l_1 - l_0$ м	$\Delta l_2 = l_2 - l_0$ м	Δl м	E Па

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Что называется деформацией? назовите виды деформации.
2. В каких единицах измеряется напряжение?
3. Сформулируйте закон Гука.
4. Модуль упругости. единицы его измерения.
5. Проволока изготавливается на волочильном станке (металлический стержень многократно протягивается через ряд отверстий с постоянно уменьшающимся диаметром). Какую деформацию при этом испытывает металл?

Л и т е р а т у р а

Г у р с к и й И.П. Элементарная физика. М., "Наука", 1973, с. 43-45.

Ж д а н о в Л.С., М а р а н д ж я н В.А. Курс физики. Часть первая. М., "Наука", 1970, с. 149-159.

К и к о и н И.К., К и к о и н А.К. Физика. Учебное пособие для 8 класса средней школы. М., "Просвещение", 1975, с. 107-110.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

Ц е л ь р а б о т ы: изучение зависимости между силой трения и силой тяжести тела, движущегося по горизонтальной поверхности, определение коэффициента трения.

П р и б о р ы и п р и н а д л е ж н о с т и: гладкая деревянная доска, два бруска, динамометр, набор грузов.

С о д е р ж а н и е и м е т о д
в ы п о л н е н и я р а б о т ы

При изучении механического движения тел рассматриваются три вида сил: упругости, тяготения и трения. Эти силы можно объяснить как проявление всего лишь двух действительно различных сил природы: электромагнитных сил и сил тяготения.

Сила трения возникает при движении одного тела по поверхности другого и является проявлением электрических сил. Сила трения прекращает всякое движение тела, если это движение не поддерживается какой-либо другой силой. Сила трения направлена по касательной к поверхности соприкосновения тел в сторону, противоположную перемещению.

Трение — один из видов взаимодействия тел и для него справедлив третий закон Ньютона, т.е. силу трения испытывает как само движущееся тело, так и поверхность, на которой оно находится.

Сила трения, возникающая при поступательном движении соприкасающихся тел, называется силой трения скольжения. Помимо силы трения скольжения в природе существуют сила трения качения и сила трения покоя.

Для того, чтобы вызвать движение одного тела по поверхности другого, к нему необходимо приложить какую-то силу F (рис.1).



Р и с . 1

Так как тело начнет двигаться только при определенном значении этой силы, то следовательно, возникает сила $F_{тр}$, направленная противоположно силе, вызывающей движение и равная ей по величине. Этой силой является

сила трения покоя. Главной ее особенностью является то, что она по мере возрастания внешней силы также увеличивается и при определенном ее значении тело начинает двигаться.

Сила трения скольжения примерно равна максимальной силе трения покоя. Основными причинами возникновения силы трения является наличие неровностей на соприкасающихся поверхностях (рис. 2). При движении эти неровности деформируются и возникают силы, вероятно, очень похожие на силы упругости.



Р и с. 2

Из опытов известно, что величина силы трения скольжения ($F_{тр}$, следовательно, и максимальная сила трения покоя) зависит от величины силы давления F_N (см. рис. 2). Эта сила прижимает одно тело к другому и всегда перпендикулярна поверхности, на которой находится движущееся тело, т.е.

$$|\vec{F}_{тр}| = \mu |\vec{F}_N|. \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности μ называют коэффициентом трения. Это безразмерная величина, обычно меньшая единицы.

Коэффициент трения зависит от того, из каких веществ сделаны соприкасающиеся тела, от чистоты обработки их поверхностей и т.д.

Численное значение силы трения скольжения почти не зависит от скорости движения тел. Направление силы трения изменяется с изменением направления скорости движения тела.

В данной работе находят зависимость между силой тяжести и силой трения, действующей на тело движущееся по горизонтальной поверхности; определяется величина коэффициента трения скольжения.

П о р я д о к в ы п о л н е н и я р а б о т ы

1. На горизонтально расположенную доску установите брусок массой m (рис. 3).

2. Поставьте на брусок груз массой m_1 и определите их силу тяжести F_g :

$$F_g = mg + m_1 g = (m + m_1) g. \quad (2)$$

3. Прикрепите динамометр к бруску и двигайте его равномерно в горизонтальной плоскости. Запишите показания динамометра F_f .



Р и с. 3

4. Повторите опыт 3 раза и подсчитайте среднее значение силы тяги \overline{F}_T

$$\overline{F}_T = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{3} \quad (3)$$

5. Повторить п. 2-4 с грузом массой m_2 , установленным на бруске. найти новое значение силы тяги \overline{F}_{T2} .

6. Установите на плоскости доски второй брусок массой m_3 из такого же материала, но имеющего другую площадь соприкосновения с поверхностью. Проведите те же опыты, что и с первым бруском, и установите зависимость силы трения от величины соприкасающихся поверхностей.

7. Определите коэффициент трения по данным сделанных опытов:

$$\mu = \frac{F_T}{F_G}$$

8. Установите на брусок 2 груза и, зная коэффициент трения, подсчитайте силу трения.

9. Определите силу трения опытным путем для бруска из другого материала.

10. Результаты измерения занести в таблицу.

№ опыта	Масса бруска, m кг	Масса груза m_1 кг	F_G Н	F_T Н	F_T Н	μ
1						
2						
3						
4						

11. Определите среднюю квадратичную погрешность среднего значения тяги.

$$S = \sqrt{\frac{\sum \Delta \bar{F}_i^2}{n(n-1)}}$$

здесь n - число измерений.

12. Запишите результаты измерения

$$\bar{F}_T = \bar{F} \pm \Delta \bar{F},$$

где $\Delta \bar{F} = S t(\alpha, n)$.

Значение коэффициента $t(\alpha, n)$ найти по таблице, зная, что $n = 3$; $\alpha = 0,95$.

13. Определите относительную погрешность

$$\varepsilon = \frac{\Delta \bar{F}}{\bar{F}} \cdot 100\%.$$

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Назовите причины возникновения силы трения.
2. Какие виды трения вы знаете?
3. Как направлена и чему равна сила трения скольжения тела, движущегося вверх по наклонной плоскости?
4. Зависит ли сила трения от площади соприкосновения движущегося тела с плоскостью?

Л и т е р а т у р а

- К и к о и н И.К., К и к о и н А.К. Физика. Учебное пособие для 8 класса средней школы. М., "Просвещение", 1978, с. 114-119.
- Г у р с к и й И.П. Элементарная физика. М., "Наука", 1976, с. 41-43.
- Б у т и к о в Е.М. и др. Физика. Для поступающих в вузы. М., "Наука", 1978, с. 46-56.

З а д а н и е № 7

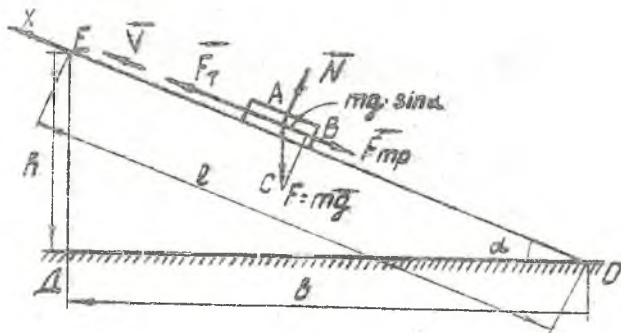
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРИ ПОДЪЕМЕ ТЕЛА ПО НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

Ц е л ь р а б о т ы: изучение зависимости КПД от параметров наклонной плоскости, построение графика изменения КПД от угла наклона плоскости.

П р и б о р ы и п р и н а д л е ж н о с т и: трибометр, штатив с муфтой и лапкой, набор грузов, весы с разновесами; динамометр, ящик деревянный с крючком, линейка и транспортир.

С о д е р ж а н и е и м е т о д в ы п о л н е н и я р а б о т ы

Обычно механизмы применяются для получения выигрыша в силе или расстоянии. Простейшим механизмом, позволяющим получить выигрыш в силе, является наклонная плоскость. Пусть по наклонной плоскости с углом наклона α движется вверх с постоянной скоростью \vec{v} тело массой m (рис. 1).



Р и с. 1

На движущееся тело действуют четыре силы: сила тяжести $\vec{F} = m\vec{g}$, сила реакции опоры \vec{N} , сила трения скольжения $\vec{F}_{тр}$, направленная против движения и сила тяги \vec{F}_T . Так как $\vec{v} = const$, то уравнение движения тела имеет вид:

$$\vec{F}_T + m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} = 0. \quad (I)$$

Направим ось координат Ox вдоль наклонной плоскости в направлении движения тела. найдем проекции всех векторов сил на ось Ox :

$$F_T = mg \sin \alpha + F_{тр.}$$

Из выражения (2) видно, что сила тяги состоит из двух слагаемых. Если трение пренебрежимо мало, то

$$F_T = mg \sin \alpha.$$

Так как треугольники ABC и DOE подобны (оба они прямоугольные и углы ACB и DOE равны, как углы, образованные взаимно перпендикулярными сторонами), то

$$mg \sin \alpha = mg \frac{h}{l}.$$

Подставив (4) в (3), будем иметь, что

$$F_T = mg \frac{h}{l}.$$

Следовательно, используя наклонную плоскость с пренебрежимо малым трением, мы получим выигрыш в силе n , тем больший, чем меньше наклон плоскости:

$$n = \frac{mg}{F_T} = \frac{mg}{mg \frac{h}{l}} = \frac{l}{h}.$$

Наличие трения приводит к необходимости прикладывать несколько большую силу тяги, равную, согласно (2):

$$F_T = mg \frac{h}{l} + \mu N = mg \frac{h}{l} + \mu mg \frac{b}{l} = \frac{mg}{l} (h + \mu b),$$

где μ - коэффициент трения.

Выигрыш в силе n определится теперь выражением

$$n = \frac{mg}{F_T} = \frac{l}{h + \mu b}.$$

Из выражения (8) следует, что для получения максимального выигрыша в силе можно идти двумя путями: уменьшить трение при неизменных размерах наклонной плоскости или увеличивать длину наклонной плоскости l и уменьшать высоту подъема h . Важной характеристикой любого механизма является коэффициент полезного действия η .

КПД любого механизма рассчитывается по выражению

$$\eta = \frac{A_n}{A_z} \cdot 100\%,$$

где A_n - полезная работа, произведенная с помощью данного механизма;

A_3 - полная затраченная работа.

Так как для наклонной плоскости:

$$A_n = mgh \quad (10)$$

$$A_3 = F_T L = mg(h + b\mu). \quad (11)$$

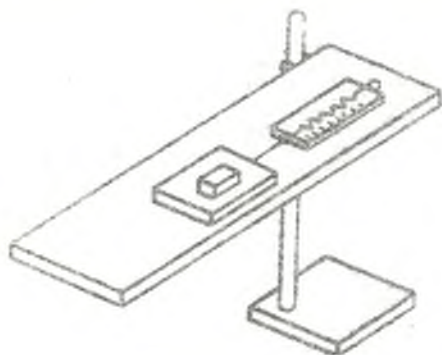
то для расчета ее коэффициента полезного действия получим выражение

$$\eta = \frac{h}{h + b\mu} \quad (12)$$

Таким образом, увеличить коэффициент полезного действия наклонной плоскости можно двумя способами: уменьшить трение или увеличить наклон (уменьшить основание b).

П о р я д о к в ы п о л н е н и я р а б о т ы

1. Собрать установку с трибометром согласно рис. 2.
2. Взвесить на весах ящик с грузом m .
3. Измерить высоту наклонной плоскости h , длину L , основание b и угол наклона α .



Р и с. 2

4. Вычислить полезную работу, совершаемую при поднятии груза на высоту h по формуле (10).

5. При помощи динамометра, расположенного перпендикулярно наклонной плоскости, поднять ящик с грузом на вершину наклонной плоскости. записать показание динамометра. (Обеспечить равномерное движение!).

6. Вычислить работу, совершенную при передвижении ящика с грузом вдоль всей наклонной плоскости, по формуле (11).

7. Вычислить коэффициент полезного действия, используя соотношение (9).

8. Все результаты занести в таблицу.

№ опыта	Высота h м	Длина l м	Основание b м	Угол α град	Сила		Работа	КПД	η	η'
					$F = mg$ Н	F_T Н	$A_m = F_T \cdot l$ Дж			
1										
2										
3										

9. Рассчитать коэффициент трения: $\mu = \frac{F_T}{mg}$, где F_T — сила тяги при движении груза по горизонтальной поверхности (рис. 3).

10. Используя полученное значение μ определить коэффициент полезного действия η' наклонной плоскости по формуле (12). Результаты сравнить со значением, полученным в п. 7.

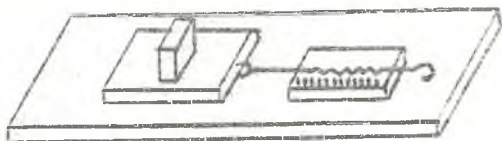


Рис. 3

11. Повторить измерения п. 1 — 10 для двух других углов наклона плоскости. Данные занести в таблицу.

12. Построить график зависимости КПД наклонной плоскости от угла ее наклона. По горизонтальной оси откладывать значение углов наклона α плоскости, по вертикальной оси — соответствующие значения коэффициента η наклонной плоскости.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Что называется коэффициентом полезного действия механизма?
2. Рассмотреть силы действующие на равномерно движущееся по наклонной плоскости тело (с учетом силы трения).
3. Подсчитать работу по преодолению силы трения.
4. Как велика была работа на наклонной плоскости в идеальном случае (при полном отсутствии трения)?

5. Во сколько раз сила, требующаяся для подъема груза по наклонной плоскости в идеальном случае, меньше силы тяжести самого груза?

6. Каким образом можно одновременно повысить коэффициент полезного действия наклонной плоскости и получить выигрыш в силе?

Л и т е р а т у р а

И и к о и н И.К., И и к о и н А.К. Физика. Учебное пособие для 8 класса средней школы. М., "Просвещение", 1975, с.123-191-203. 226-230.

Составители: Людмила Алексеевна К р ю к о в а ,
Галина Ивановна К а р х а н и н а

И л л ю с т р а ц и и

Лабораторная работа (задания № 3-7)

для слушателей подготовительного отделения

Редактор Н.М.Ч у л к о в а
Зам.редактор Н.М.К а л е н ю к
Директор Л.С.У д а л о в а

Напечатано в печати 17.05.79г. формат 60x84 1/16.
Сетка сюжетная белая, оперативная печать.
Лит. № 1181 - 14.изд. № 1.3. Тираж 500 экз.
Цена 87 . бесплатн.

Издательский отдел Института им. С.М.Королева.Р.Луизишев.
С.Владимирской обл., 151.

Почтовый участок Кули. 1. Луизишев, ул. Ульяновская, 18.