

Министерство высшего и среднего специального  
образования Р С Ф С Р

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

## К И Н Е М А Т И К А

Лабораторная работа

(З а д а н и я № 1, 2)

Для слушателей подготовительного  
отделения

УДК 53 (07)

Составители: ст. преп. каф. физики Л.А.Крюкова  
ас. каф. физики Г.И.Карханина

Под ред. и.о.доц. О.А.Журавлева

Рассмотрена и утверждена редакционно-издательским  
советом института 17.11.78 г.

## К И Н Е М А Т И К А

Лабораторная работа

(задания № 1, 2)

Для слушателей подготовительного отделения

Редактор И.М.Чулкова

Техн. редактор Н.М.Каленюк

Корректор С.С.Рубан

Подписано в печать 1.04.79 г. Формат 60x84 1/16.

Оперативная печать, Усл. п.л. 0,7, Уч.-изд.л. 0,65.

Тираж 500 экз, Заказ № Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. С.П.Королева, г. Куйбышев,  
ул. Молодогвардейская, 151.

Офсетный участок КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.

# З а д а н и е I

## ИЗУЧЕНИЕ РАВНОПЕРЕМЕННОГО ДВИЖЕНИЯ

Ц е л ь р а б о т ы: изучение законов равнопеременного движения, определение значений мгновенной, средней скорости и ускорения.

Н р и б о р ы и п р и н а д л е ж н о с т и: желоб Галилея; секундомер; шарик.

### 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

Основными характеристиками движения материальной точки являются: траектория, перемещение, путь, скорость и ускорение материальной точки.

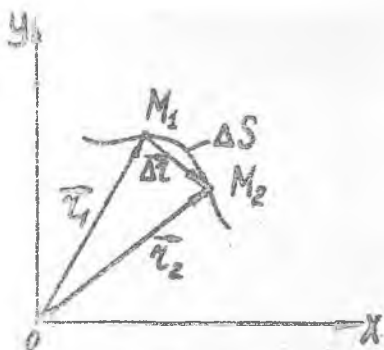
Материальная точка при своем движении описывает некоторую линию, которая называется траекторией. Например, траекторию раскручиваям путь рисует их светящийся след.

Перемещением называется направленный отрезок прямой, соединяющий начальное положение движущейся точки с последующим положением. Пусть точка движется по некоторой траектории и в момент времени  $t_1$  находится в точке  $M_1$  с радиусом-вектором  $\vec{r}_1$ , а в момент времени  $t_2$  - в точке  $M_2$  с радиусом-вектором  $\vec{r}_2$  (рис. I). Перемещением в этом случае будет вектор  $\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ . Длина  $\Delta S$  участка траектории по которой движется точка, называется путем точки и является скаляром. Величины  $|\Delta \vec{r}|$  и  $\Delta S$  совпадают лишь в случае прямолинейного движения.

Скорость материальной точки представляет собой вектор  $\vec{v}$ , характеризующий направление и быстроту перемещения материальной точки.

Если скорость точки во время движения изменяется, то движение называется неравномерным или переменным. Для характеристики неравномерного движения вводятся средняя и мгновенная скорости.

Средней скоростью называется величина, равная отношению перемещения  $\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$  к промежутку времени  $\Delta t = t_2 - t_1$  за



Р и с. I

который произошел это перемещение:

$$\vec{v}_{cp} = \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t}$$

Иногда под средней скоростью понимают величину  $v_{cp}$ , равную отношению пути  $\Delta S$  к промежутку времени  $\Delta t$ , за который этот путь пройден:

$$v_{cp} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Именно эта скорость имеется в виду, когда, например, говорят о средней скорости движения автомобиля в городе или средней скорости поезда.

Мгновенная скорость равна пределу, к которому стремится средняя скорость при неограниченном уменьшении промежутка  $\Delta t$  за который она определяется, т.е. это скорость в данной точке траектории:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t}$$

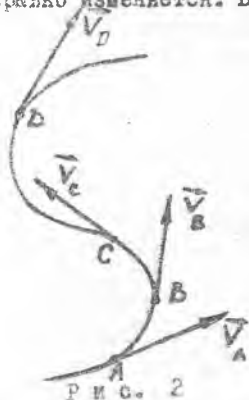
Вектор мгновенной скорости всегда направлен по касательной к траектории движения (рис. 2).

При неравномерном движении материальной точки ее скорость непрерывно изменяется. Быстрота изменения скорости материальной точки характеризуется величиной, которая называется ускорением  $\vec{a}$ .

Средним ускорением называется величина, равная отношению изменения вектора скорости к промежутку времени, в течение которого это изменение произошло, т.е.

$$\vec{a}_{cp} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Мгновенное значение ускорения есть предел, к которому стремится в данный мо-



Р и с. 2

мент времени отношение изменения вектора скорости  $\Delta \vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0$  к соответствующему промежутку времени  $\Delta t$  при неограниченном уменьшении промежутка времени:

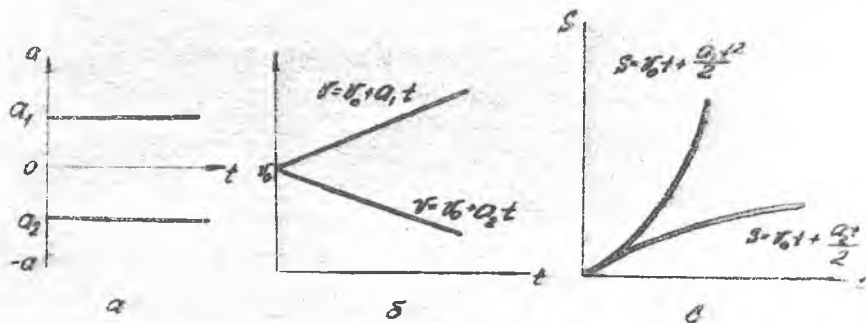
$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

Если прямолинейное движение происходит с постоянным ускорением, то такое движение называется равнопеременным (иногда - равноускоренным или равнозамедленным). При равнопеременном прямолинейном движении скорость и путь изменяются со временем согласно формулам:

$$v = v_0 + at,$$

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

Здесь имеется в виду, что одна из осей системы отсчета направлена по вектору  $v_0$ . Если вектор изменения скорости  $\Delta v$  совпадает по направлению с вектором  $v_0$ , то движение будет равноускоренным ( $a_1 > 0$ ). Если же вектор изменения скорости  $\Delta v$  направлен в сторону, противоположную направлению вектора начальной скорости  $v_0$ , то движение будет равнозамедленным ( $a_2 < 0$ ).



Р и с. 3

Графики зависимости ускорения, скорости, и пути материальной точки от времени при равнопеременном движении приведены на рис. б, в.

Если материальная точка приходит в прямолинейное равноускоренное движение из состояния покоя ( $v_0 = 0$ ), то

$$v = at,$$

$$s = \frac{at^2}{2}.$$

Рассмотрим в каком соотношении находятся пути, пройденные материальной точкой за равные промежутки времени при равноускоренном движении с начальной скоростью равной нулю.

Пусть отрезки  $AD$ ,  $DB$ ,  $BC$  и т.д. (рис. 4) пройдем точкой за равные промежутки времени т.е.  $t_1 = t_2 = t_3 = \dots t_n$ .



Р и с. 4

Путь, пройденный за время  $t_1$ , равен

$$s_1 = AD = \frac{at_1^2}{2},$$

где  $a$  - ускорение точки.

Рассчитаем путь, пройденный точкой за промежуток времени  $t_2$ .

т.е.  $s_2 = AB - AD$  или  $s_2 = \frac{a(t_1 + t_2)^2}{2} - \frac{at_1^2}{2}. (1)$

Из выражения (1) получим:

$$s_2 = 3 \cdot \frac{at_1^2}{2}.$$

Аналогично можно найти путь, пройденный за  $t_3$ , т.е.

$$s_3 = AC - AB \quad \text{или} \quad s_3 = 5 \frac{at_1^2}{2}.$$

Таким образом, если материальная точка движется равноускоренно, то за равные промежутки времени она проходит

пути, относящиеся как последовательный ряд нечетных чисел:

$$S_1 : S_2 : S_3 : \dots = 1 : 3 : 5 : \dots \quad (2)$$

### Порядок выполнения работы

1. Отметить на желобе (рис. 5) точки  $A, B$  и  $C$ . Измерить расстояния  $AB$  и  $BC$ .



Рис. 5

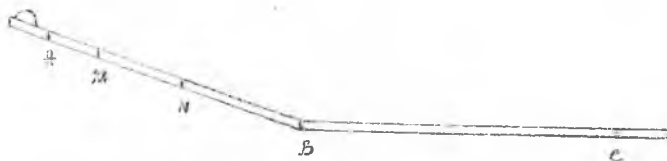
2. Из точки  $A$  свободно отпустить шарик, одновременно включить секундомер, и заметить время  $t_1$ , за которое он пройдет путь  $AB$ .
3. Измерить время прохождения шариком пути  $BC - t_2$ .
4. Рассчитать ускорение движения  $a$  на участке  $AB$  по формуле:

$$a = \frac{2S}{t_1^2}$$

5. Рассчитать мгновенную скорость в точке  $B$ , как  $v_B = a t_1$ .
6. Вычислить среднюю скорость на пути  $BC - v_{cp} = \frac{BC}{t_2}$ .
7. Сравнить мгновенную скорость  $v_B$  и  $v_{cp}$ .
8. Отметить пути, пройденные шариком из точки  $A$  за время

$$t_1' = \frac{t_1}{3} \quad \text{и} \quad t_1'' = \frac{2t_1}{3}$$

9. Измерить эти расстояния (рис. 6)  $AM = S_1$ ;  $MN = S_2$ ;  $NB = S_3$ .
10. Проверить выполнение соотношения (2).
11. Все результаты занести в таблицу.
12. Измерения повторить 5 раз.
13. Определить относительную погрешность измерения скорости шарика в точке  $B$ :  $v_B = \frac{2S}{t_1}$ .



Р и с. 6

№	AB	BC	$t_1$	$t_2$	$a = \frac{2S}{t^2}$	$v_B = at_1$	$v_{cp} = \frac{BC}{t_2}$
п/п	м	м	с	с	м/с <sup>2</sup>	м/с	м/с

1

2

3

4

5

Относительную погрешность можно найти по формуле для случай-  
ной погрешности косвенных измерений:

$$\varepsilon = \frac{\Delta v_B}{v_B} = \sqrt{\frac{(\sum \Delta S_i)^2}{(S)^2} + \frac{(\sum \Delta t_i)^2}{(t)^2}},$$

где  $\bar{S} - S_i = \Delta S_i$ ;  $\bar{t}_1 - t_i = \Delta t_i$ .

Здесь  $\bar{S}$  и  $\bar{t}_1$  - среднееарифметические значения, соответст-  
венно пути  $S$  и времени  $t$  на участке AB:

$$\bar{S} = \frac{\sum S_i}{5}; \quad \bar{t}_1 = \frac{\sum t_{i1}}{5}.$$

К о н т р о л ь н ы е   в о п р о с ы

1. Путь и перемещение. В чем различие этих величин, если движение прямолинейное?
2. В каких единицах измеряются скорость и ускорение?
3. Напишите формулы пути и скорости при равнозамедленном движении.



4. Можно ли пользоваться соотношениями  $S_1 : S_2 : \dots = 1 : 3 : \dots$ , если точка движется равноускоренно с начальной скоростью  $v_0 \neq 0$  ?
5. В каком случае путь, пройденный за первую секунду в равноускоренном движении, численно равен половине ускорения?

### Л и т е р а т у р а

1. Бутиков Р.И. и др. Физика. Для поступающих в вузы. М., "Наука", 1978, с. 9 - 25.
2. Гурский И.П. Элементарная физика. М., "Наука", 1976, с. 18-30.
3. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Физика. Учебное пособие для 8 класса средней школы. М., "Просвещение", 1978, с. 3-II, 34-50.

### З а д а н и е 2

#### ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА, БРОШЕННОГО ГОРИЗОНТАЛЬНО

**ц е л ь р а б о т ы:** изучение законов независимости движения и построение графика траектории движения тела, брошенного горизонтально.

**П р и б о р ы и п р и н а д л е ж н о с т и:** доска с изогнутым желобом, стальной шарик, линейка, лист миллиметровки.

#### 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 тела, брошенного горизонтально - один из видов криволинейного движения. Так движется тело, оторвавшееся от горизонтально летящего самолета, пуля, выходящая из ружья в горизонтальном направлении.

Всякое криволинейное движение происходит под действием силы, направленной под некоторым углом к направлению скорости движения этого тела.

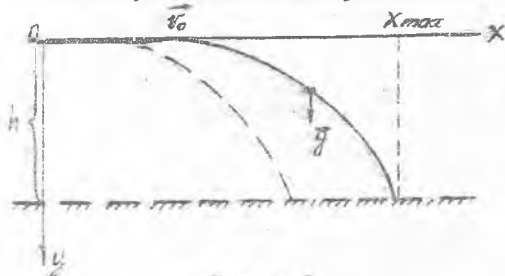
На тело, брошенное горизонтально с начальной скоростью  $\vec{v}_0$ , действует сила тяжести  $\vec{mg}$ , сообщаящая ему постоянное ускорение  $\vec{g}$ , направленное вертикально вниз.

Поэтому движение тела, брошенного горизонтально, сложное движение, состоящее из равномерного движения со скоростью  $\vec{v}_0$  в горизонтальном направлении и равноускоренного движения с ускорением  $\vec{g}$  в вертикальном направлении. При этом выполняется, так назы-

важный, принцип независимости движений: если тело участвует одновременно в нескольких движениях, то каждое из этих движений происходит независимо от других.

Использование этого принципа значительно упрощает изучение различных видов движения тела.

Пусть из точки  $O$ , взятой за начало координат, брошено тело в горизонтальном направлении со скоростью  $v_0$  (рис. 1).



Р и с. 1

Ось  $OX$  направим горизонтально,  $OY$  — вертикально вниз. За начало отсчета времени примем момент, в который тело было брошено  $t=0$ . Так как на тело действует только сила тяжести, то ускорение тела в любой точке траектории направлено вертикально вниз и равно  $g$ .

Проекция вектора ускорения на ось  $OX$  равна нулю, а на ось  $OY$  положительна и равна  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . Спустя время  $t$  после начала движения тело будет находиться в точке с координатами

$$x = v_{0x} \cdot t = v_0 t, \quad (1)$$

$$y = \frac{g t^2}{2}. \quad (2)$$

Здесь  $v_{0x}$  — проекция вектора начальной скорости на ось  $OX$ , равна модулю вектора скорости  $v_0$ . Каждому значению абсциссы  $x$  движущегося тела соответствует определенное значение ординаты  $y$ , поэтому траектория движения тела представляет собой график зависимости  $y$  от  $x$ , построенный в определенном масштабе. Эту зависимость можно выразить аналитически.

Исключив из (1) и (2) время  $t$ , получим

$$y = \frac{g}{2v_0^2} x^2. \quad (3)$$

Обозначив коэффициент при  $x^2$  через  $K$  получим уравнение параболы:  $y = Kx^2$ .

Отсюда, тело, брошенное горизонтально со скоростью  $v_0$  движется по параболе.

Пусть в момент времени  $t_n$  тело достигнет поверхности земли. Этому моменту соответствуют координаты  $y=h$ ;  $x=x_{max}$ . Дальность полета тела  $S=x_{max}$ . Подставив  $x_{max}=S$ ,  $y=h$  в уравнение (3), получим для дальности полета тела выражение

$$S = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (4)$$

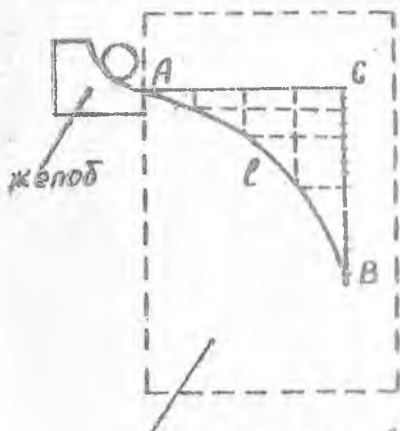
Из выражения (4) видно, что соотношение  $\sqrt{\frac{2h}{g}}$  есть время полета тела.

Рассматривая движение тела, брошенного горизонтально, мы считали, что оно находится под действием лишь силы тяжести. В реальных условиях наряду с силой тяжести на тело действует сила сопротивления воздуха. Это приводит к уменьшению скорости  $v_0$ , поэтому дальность полета несколько меньше, чем это следует из формулы (4).

На рис. 1 пунктиром показана траектория движения тела, брошенного горизонтально в воздухе.

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

1. Установить прибор вертикально, приколотив к нему лист бумаги (рис. 2). Отметить на бумаге точку А (конец желоба).



лист миллиметровой

Р и с . 2

2. Пусть несколько раз шарик по желобу от одной и той же точки желоба и налетит на точку  $B$ , в которую попадает шарик в конце своего пути. (Для контроля в эту точку поместить карандаш, о который шарик при падении должен удариться).
3. Провести горизонтальную линию  $AC$  из начальной точки  $A$  и вертикальную линию  $BC$  из точки  $B$ .
4. Измерить длину линии  $AC$ , разделить ее на 4 равные части.

Из точек деления провести ряд вертикальных линий.

5. Измерить длину линии  $BC$  и разделить ее на столько же (4) частей, но не равных, а относящихся друг к другу как 1:3:5:7.
6. По точкам на линиях  $AC$  и  $BC$  построить ряд прямоугольников. Соединить точки прямоугольников (как показано на рис. 2) плавной кривой, получим траекторию движения шарика - параболу.
7. Проверить построение параболы, помещая карандаш в различные точки параболы и пуская шарик без толчка из одной и той же точки желоба. Если шарик при падении будет удариться о карандаш, то работа выполнена правильно.
8. Вычислить время падения  $t_n$  по формуле  $t_n = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ .
9. Вычислить скорость движения шарика в горизонтальном направлении  $v_0$ , используя (4).
10. Результаты вычисления записать на листе миллиметровой бумаги, на которой производились построения.

#### К о н т р о л ь н ы е   в о п р о с ы

1. В каких двух движениях участвует тело брошенное горизонтально?
2. Под влиянием какой силы тело движется вниз?
3. Сформулировать закон путей проходимых падающим телом, в зависимости от времени. Написать формулу, выражающую этот закон.
4. Как изменится вид параболы, если шарик опустить с более высокой точки желоба?
5. Если в опыте поставить вниз сильный магнит, притягивающий стальной шарик, то какое влияние он окажет на траекторию падения шарика, брошенного горизонтально?

#### 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. 122-128.

Г у р с к и й И.П. Элементарная физика. М., "Наука", 1976, с. 58-66.

Б у т и к о в Е.М. и др. Физика. Для поступающих в вузы. М., "Наука", 1978, с. 16-26.