

Лабораторная работа №1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ В ПОЛЕ ЗЕМНОГО ТЯГОТЕНИЯ НА МАШИНЕ АТВУДА

Введение

Цель работы: исследовать законы движения тел в поле земного тяготения.

Приборы и принадлежности: лабораторная установка ("машина Атвуда"), набор грузов, секундомер.

Если камень или кусок бумаги начали падать с одинаковой высоты одновременно без начальной скорости, то камень достигнет земли раньше, чем комок. Из подобных повседневных наблюдений, казалось бы, следует, что под действием силы тяжести тяжелые тела падают быстрее легких. Такое неверное заключение и было сделано еще в древности великим греческим философом Аристотелем (384-322 гг. до нашей эры), и это воззрение продержалось в науке в течение почти двух тысяч лет. Только в 1583 г. Галилей на основании более глубокого опытного изучения законов падения опроверг мнение Аристотеля. Галилей выяснил, что в обычных условиях тела падают под действием не только силы тяжести, но и силы сопротивления воздуха. Галилей установил, что в отсутствии этого сопротивления все тела падают равноускоренно и, что весьма важно, в данной точке Земли ускорение всех тел при падении одно и то же. Если сопротивление воздуха так мало, что им можно пренебречь, то тело, освобожденное от подставки или подвеса будет падать, находясь все время под действием практически только силы притяжения Земли. Сила Земного притяжения F не остается строго постоянной при падении тела. Она зависит от высоты h тела над Землей. В соответствии с законом Всемирного тяготения

$$F = G \frac{mM}{(R+h)^2},$$

где $G = 6.67 \times 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$ - гравитационная постоянная, m - масса тела, M и R - масса и радиус Земли, соответственно.

Однако, если падение происходит не с очень большой высоты (так, что изменение высоты тела очень мало по сравнению с радиусом Земли 6400 км), то силу земного притяжения практически/можно считать постоянной. Поэтому можно считать, что в отсутствии силы сопротивления воздуха ускорение свободно падающего тела остается постоянным и свободное падение есть равноускоренное движение. Ускорение свободного падения принято обозначать буквой g . В различных точках земного шара (на различных широтах) числовое значение g оказывается не одинаковым, изменяясь примерно от 9.83 м/с^2 на полюсе до 9.78 м/с^2 на экваторе. На широте Москвы: $g = 9.815 \text{ м/с}^2$. Значение, равное 9.807 м/с^2 , соответствующее 45° широты, условно принимается за "нормальное". Все эти числа относятся к движению тела на уровне моря.

В лабораторной работе 1 Вам предстоит экспериментально определить ускорение свободного падения при помощи машины Атвуда.

Машина Атвуда. Методика эксперимента

Машина Атвуда предназначена для исследования закона движения тела в поле земного тяготения. Естественнее всего, конечно, изучить этот закон, исследуя свободное падение тел.

Этому мешает, однако, большая величина ускорения свободного падения. Такой опыт возможен только при очень большой высоте прибора (большей, чем высота комнаты) или при помощи специальных методов, позволяющих точно измерить небольшие промежутки времени (доли секунды). Так, например, время свободного падения тела с высоты $h=1\text{м}$, составляет порядка 0.45с .

Машина Атвуда позволяет избежать этих трудностей и замедлить движение до удобных скоростей. Схема машины Атвуда, являющейся составной частью комплексной лабораторной установки, показана на рис.1. Через легкий блок, свободно вращающийся вокруг оси, перекинута нить, на которой закреплены грузы массой M каждый. На один из грузов кладется перегрузок массой m , в результате чего система грузов выходит из равновесия и начинает двигаться ускоренно. Найдем ускорение движения грузов, пренебрегая действием сил трения и предполагая, что блок и нить невесомы.

Согласно второму закону Ньютона имеем:

$$\begin{cases} Ma = T - Mg \\ (M+m)a = (M+m)g - T \end{cases} \quad (1)$$

где a - ускорение движения грузов, T - сила натяжения нити.

Из уравнений (1) получаем:

$$a = g \frac{m}{2M+m}. \quad (2)$$

Таким образом, движение грузов при наших предположениях равноускоренно. Из формулы (2) видно, что если массы груза m много меньше массы грузов $2M$, то ускорение движения будет существенно меньше ускорения свободного падения g (при $m=0.1M$; $a \approx 0.05g$).

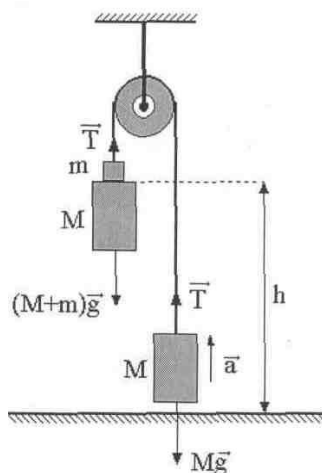


Рис.1

Ускорение a движения грузов можно определить экспериментально. Для этого следует измерить время t , за которое груз M поднимется на высоту h , после чего рассчитать ускорение по формуле

$$a = \frac{2h}{t^2}. \quad (3)$$

Указанные изменения времени t можно провести для различных значений высоты h (масса перегруза m при этом не меняется). Результаты измерений удобно представить, графически в виде зависимости

$$y=f(x), \text{ где } x=\frac{t^2}{2}, y=h. \quad (4)$$

Если экспериментальные точки в пределах точности измерений ложатся на прямую (рис.2), то это может являться экспериментальным подтверждением равноускоренного характера движения. (Теоретическая зависимость $y = f(x)$, согласно (3) и (4) имеет вид: $y = ax$).

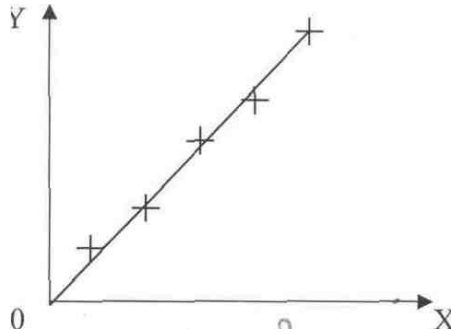


Рис. 2.

Убедившись в равноускоренности движения, можно воспользоваться формулой (2) и определить ускорение свободного падения для перегрузков, разной массы m . Таким образом, можно, установить на опыте равноускоренный характер движения грузов, определить ускорение a и рассчитать ускорение свободного падения g по формуле:

$$g = \frac{2M+m}{m} a. \quad (5)$$

Обратим внимание на то, что при выводе формулы (2) мы пренебрегли трением в системе, а также массами блока и нити. Последнее пренебрежение правомочно, если масса блока и нити много меньше массы грузов. Это условие можно выполнить, если повесить тяжелые грузы. Однако в этом случае увеличивается давление на ось блока и, следовательно, возрастает сила трения в оси.

Силу трения можно оценить, определяя наибольшую величину перегрузка m_0 , еще не вызывающего движения системы. Этот способ не может быть применен для точного измерения силы трения скольжения, поскольку мешающая опыту сила трения скольжения отнюдь не равна силе трения покоя.

Ясно, что пренебрежение силой трения возможно, если масса перегрузка m , вызывающего движение системы, во много раз больше массы "страгивающего" перегрузка m_0 . Величину перегрузка следует максимально увеличить, однако, m не может быть выбрана очень большой, так как движение при этом становится слишком быстрым и точность измерения времени оказывается невысокой. В соответствии с вышеупомянутым значение массы перегрузка должно удовлетворять неравенствам

$$m_0 \ll m \ll M \quad (6)$$

Измерения. Обработка результатов измерений

1. Определите массу "страгивающего" перегрузка. Для этого, постепенно увеличивая массу m перегрузка, определите значение, начиная с которого блок приходит в движение. Измерения повторите при четырех положениях блока, каждый раз поворачивая блок примерно на 90° по отношению к предыдущему положению. В качестве m_0 следует принять наибольшее из найденных значений.

2. Определить экспериментально зависимость времени движения t груза от высоты h . Измерения проведите при определенном значении массы перегрузки m . (Не забывайте о неравенствах (6)). Определите время движения t для четырех-пяти высот h , повторяя измерения для каждого значения по четыре раза. Результаты занесите в таблицу 1:

Таблица 1

h	σ_h	t_1	t_2	t_3	t_4	t	σ_t

По полученным данным постройте график зависимости $y=f(x)$, где $y=h$, $x=\frac{t^2}{2}$, предварительно заполнив таблицу 2:

Таблица 2

	1	2	3	4	5
x					
σ_x					
y					
σ_y					

Сделайте вывод, является ли движение равноускоренным.

3. Определите опытным путем время движения t для трех значений масс m перегрузка. Измерения проводите при наибольшей возможной высоте h . Для каждого значения m повторите измерения четыре раза. Рассчитайте по формулам (1) и (5) ускорение движения a , ускорение свободного падения g и оцените погрешности полученных результатов. Результаты занесите в таблицу 3:

Таблица 3

m	t_1	t_2	t_3	t_4	t	σ_t	a	σ_a	g	σ_g

4. Сравните полученные Вами значения ускорения свободного падения с известным табличным значением $g \approx 9.8 \text{ м/с}^2$ и проанализируйте причины возможного несовпадения.