

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ С ПОМОЩЬЮ МАШИНЫ АТВУДА

Цель работы:

Убедиться в справедливости второго закона Ньютона, научиться рассчитывать погрешности измерений и оформлять результаты измерений в виде таблиц и графиков.

Приборы и оборудование:

Машина Атвуда, набор грузов и перегрузков, секундомер, линейка

Описание лабораторной установки

Изучение зависимости ускорения при поступательном движении от действующей силы и массы выполняется с помощью машины Атвуда. Она представляет собой блок, закрепленный на неподвижной оси, через который перекинута тонкая нерастяжимая нить с привязанными на ее концах двумя грузами одинаковой массы m . На грузы могут устанавливаться перегрузки различных масс m_1 и m_2 , которые приводят систему «грузы-перегрузки» в поступательное движение с ускорением a , а блок – во вращение с угловым ускорением ε .

Задание 1. Изучение зависимости ускорения от величины приложенной силы

№ изм	$m_1, 10^{-3}$ кг лев	$m_2, 10^{-3}$ кг прав	$m_2 - m_1, 10^{-3}$ кг	$F_g, 10^{-2}$ Н	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$t_4, \text{с}$	$t_{\text{ср}}, \text{с}$	$\Delta t_{\text{сл}}, \text{с}$	$\Delta t, \text{с}$	$a, \text{м/с}^2$	$\Delta a, \text{м/с}^2$	$\varepsilon_a, \%$
1	$5+2+3 = 10$	10	0	0										
2	$5+3 = 8$	$10+2 = 12$	4	4	5.34	5.51	5.0	5.12	5.24	0.36	0.37	0.09	0.01	14.13
3	$5+2 = 7$	$10+3 = 13$	6	6	3.88	3.94	4.08	3.95	3.96	0.13	0.14	0.15	0.01	7.08
4	5	$10+2+3 = 15$	10	10	3.09	3.09	3.23	3.03	3.11	0.13	0.14	0.25	0.02	9.01
5	3	$10+2+5 = 17$	14	14	2.63	2.56	2.7	2.69	2.65	0.1	0.11	0.34	0.03	8.31
6	2	$10+3+5 = 18$	16	16	2.37	2.48	2.31	2.44	2.4	0.12	0.13	0.42	0.05	10.84

$$h = 1.2 \text{ м}; m_{\text{пост}} = 0.12 \text{ кг}$$

$$\Delta t_{\text{сист}} = 0.01 \text{ с}; \Delta h_{\text{сист}} = 0.005 \text{ м};$$

$$\alpha = 0.95; n = 4; t_{n,\alpha} = 3.2;$$

$$m_{\text{бл}} = 0.28 \text{ кг}; F_{\text{тр}}^{\text{пок}} = 0.4 * 10^{-2} \text{ Н}$$

Задание 2. Изучение зависимости ускорения от массы системы

№ изм	$m_{\text{пр}}=m_{\text{лев}} = m \cdot 10^{-3} \text{ кг}$	$m_{\text{пост}}=2m + m_2 \text{ кг}$	$1/(m_{\text{пост}} + m_{\text{бл}}), \text{ кг}^{-1}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$t_4, \text{ с}$	$t_{\text{ср}}, \text{ с}$	$\Delta t_{\text{сл}}, \text{ с}$	$\Delta t, \text{ с}$	$a, \text{ м/с}^2$	$\Delta a, \text{ м/с}^2$	$\varepsilon_a, \%$
1	50	0.115	2.53	2.5	2.51	2.38	2.41	2.45	0.1	0.11	0.31	0.03	8.99
2	50+50 = 100	0.215	2.02	2.82	2.95	2.83	2.64	2.81	0.2	0.21	0.3	0.04	14.95
3	50+100 = 150	0.315	1.68	3.02	3.01	3.35	3.29	3.17	0.28	0.29	0.24	0.04	18.3
4	50+100+50 = 200	0.415	1.44	3.62	3.36	3.36	3.48	3.46	0.11	0.12	0.2	0.01	6.95

$$h = 1.2 \text{ м}; m_{\text{бл}} = 0.28 \text{ кг}; m_2 = 0.015 \text{ кг}; F_g = 0.15 \text{ Н}$$

$$\Delta t_{\text{сист}} = 0.01 \text{ с}; \Delta h_{\text{сист}} = 0.005 \text{ м};$$

$$F_g^{\text{экв}} = 0.13 \text{ Н}$$

Обработка результатов измерений

Расчёты для задания 1, изм. 2:

$$m_1 = 8, m_2 = 12, m_1 - m_2 = 4, F_g = 4$$

$$t_1 = 5.34, t_2 = 5.51, t_3 = 5.0, t_4 = 5.12$$

$$t_{\text{ср}} = (5.34 + 5.51 + 5.0 + 5.12) / 4 \approx 5.24$$

$$a = 2 * 1.2 / 27.4576 \approx 0.09$$

$$(m_{\text{пост}} + m_{\text{бл}}) = AB/BC = (10-6) * 10^{-2} / (0.25-0.15) = 0.04 / 0.1 = 0.4$$

$$m_{\text{бл}} = (m_{\text{пост}} + m_{\text{бл}}) - m_{\text{пост}} = 0.4 - 0.12 = 0.28$$

Расчёты для задания 2, изм 1:

$$m_{\text{пост}} = 0.115$$

$$m_{\text{пост}} = 0.115$$

$$1 / (m_{\text{пост}} + m_{\text{бл}}) = 2.53$$

$$t_1 = 2.5, t_2 = 2.51, t_3 = 2.38, t_4 = 2.41$$

$$t_{\text{ср}} = (2.5 + 2.51 + 2.38 + 2.41) / 4 \approx 2.45$$

$$a = 2 * 1.2 / 6.0025 \approx 0.31$$

$$F_g^{\text{экв}} = \tan a = AB/BC = 0.18/1.4 = 0.13$$

Расчёты для задания 3, изм 2 из 1 таблицы:

$$\sigma = \sqrt{((5.34 - 5.24)^2 + (5.51 - 5.24)^2 + (5.0 - 5.24)^2 + (5.12 - 5.24)^2) / (4 * (4 - 1))}$$

$$= \sqrt{0.1549 / 12} \approx 0.114$$

$$\Delta t_{\text{сл}} = 3.2 * 0.114 \approx 0.36, \Delta t = 0.36 + 0.01 = 0.37$$

$$E_a = \sqrt{((0.005 / 1.2)^2 + (2 * 0.37 / 5.24)^2) * 100\%}$$

$$= \sqrt{(1.7361111111111e-05 + 0.01994347648738418) * 100\%}$$

$$\approx 14.0\%$$

$$\Delta a = 0.09 * 14.0\% \approx 0.01$$

Расчёты для задания 3, изм 1 из 2 таблицы:

$$\sigma = \sqrt{((2.5 - 2.45)^2 + (2.51 - 2.45)^2 + (2.38 - 2.45)^2 + (2.41 - 2.45)^2) / (4 * (4 - 1))}$$

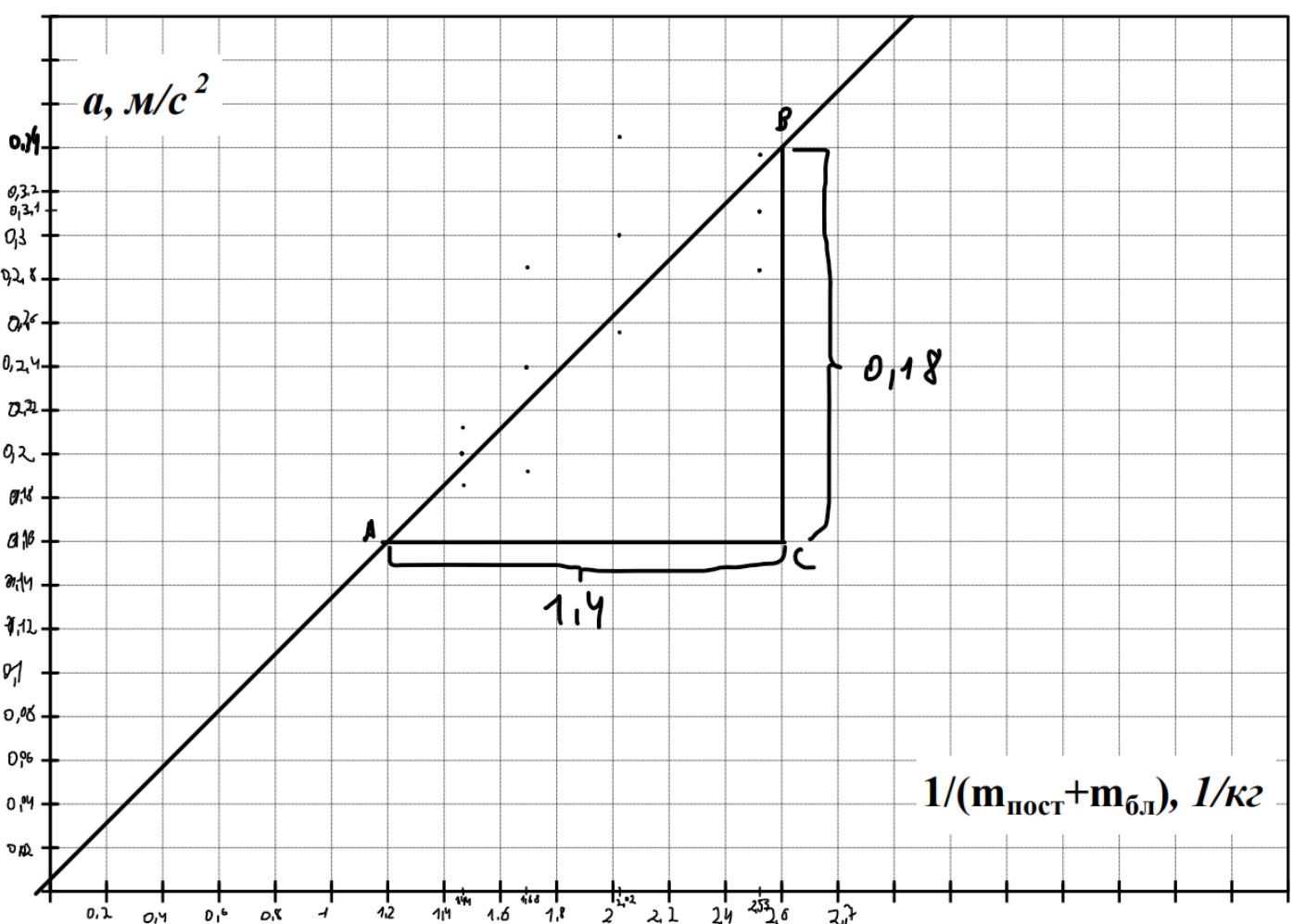
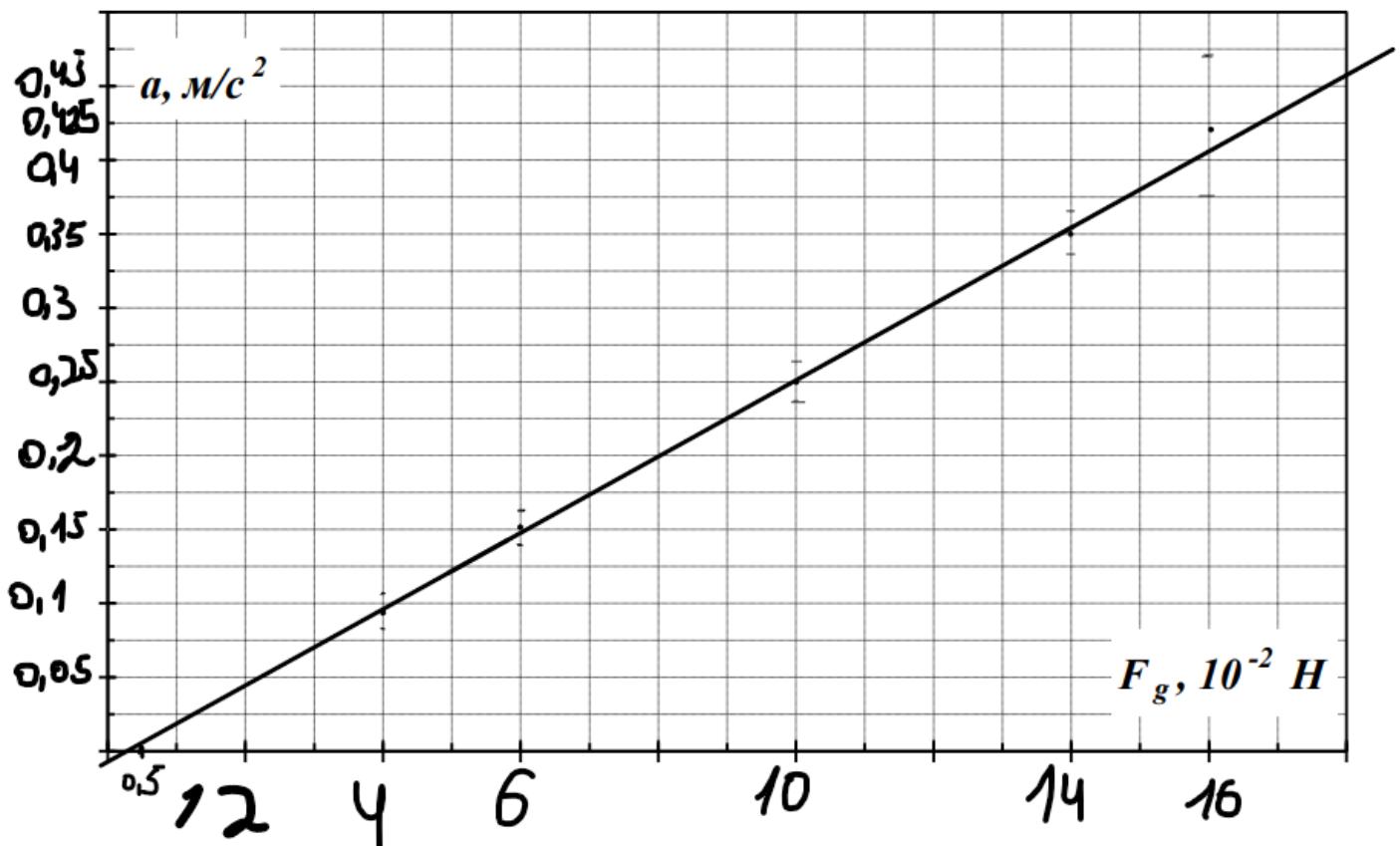
$$= \sqrt{0.0126 / 12} \approx 0.032$$

$$\Delta t_{\text{сл}} = 3.2 * 0.032 \approx 0.1, \Delta t = 0.1 + 0.01 = 0.11$$

$$E_a = \sqrt{((0.005 / 1.2)^2 + (2 * 0.11 / 2.45)^2) * 100\%}$$

$$\approx 9.0\%$$

$$\Delta a = 0.31 * 9.0\% \approx 0.03$$



Выводы

В результате выполнения лабораторной работы были экспериментально изучены законы поступательного движения тел с помощью машины Атвуда, а также доказаны зависимости $a \sim F_g$ и $a \sim 1/m$, что подтверждает справедливость второго закона Ньютона. По графикам были определены $m_{бл} = 0.28$ кг, $F_{тр}^{пок} = 0.004$ Н и $F_g^{экс} = 0.13$ Н. Расхождение с теоретическим значением $F_g = 0.15$ Н составило 13%, что может быть обусловлено погрешностями измерений. Измерения проводились с доверительной вероятностью $\alpha = 0.95$. Относительная погрешность измерения ускорения в опытах составила от 6.95% до 18.3%

Теоретическое обоснование работы:

- 1. Дайте определение следующих понятий: скорость, ускорение (полное, тангенциальное, нормальное), масса, импульс, сила. Объясните их физический смысл. Укажите единицы измерения.**

Скорость – $[V^{\rightarrow}]$ м/с – (физическая) векторная величина, характеризующая быстроту и направление движения. Показывает расстояние и направление, которое прошло тело за какое-то время.

Ускорение (полное) – $[a^{\rightarrow}]$ м/с² – векторная величина, характеризующая быстроту изменения скорости по модулю и направлению. Показывает, как изменяется скорость по модулю и направлению тела за какое-то время. Тангенциальное ускорение (a_t) характеризует быстроту изменения скорости по величине, нормальное ускорение (a_n) характеризует быстроту изменения вектора скорости по направлению.

Масса – [m] кг – скалярная величина, являющаяся мерой инертности тела, т.е. свойства тела сохранять состояние, в котором оно находилось до внешнего воздействия.

Импульс – $[p^{\rightarrow}]$ кг * м/с – динамическая характеристика поступательного движения, напрямую зависящая от массы и скорости.

Сила – $[F^{\rightarrow}]$ Н = кг * м/с² – векторная величина, являющаяся мерой действия на тело со стороны других тел или полей, имеет модуль, направление и точку приложения. Показывает результат взаимодействия тел.

- 2. Сформулируйте I, II III законы Ньютона, объясните их физический смысл и область применения.**

I закон Ньютона – существуют такие системы отсчёта, называемые инерциальными, относительно которых тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если на него не действуют другие тела или действие скомпенсировано. Физический смысл: тело сохраняет скорость неизменной при отсутствии внешних воздействий или если они скомпенсированы.

II закон Ньютона – ускорение, приобретаемое телом в результате действия на него сил, прямо пропорционально равнодействующей этих сил, совпадает с ней по направлению и обратно пропорционально массе тела. Физический смысл: скорость тела зависит от равнодействующей сил, действующих на него, и от массы ($a^{\rightarrow} = F^{\rightarrow}/m$).

III закон Ньютона - силы, с которыми два тела действуют друг на друга, имеют одинаковую природу, равны по модулю, противоположны по направлению и действуют вдоль одной прямой ($F^{\rightarrow}_{1\rightarrow 2} = -F^{\rightarrow}_{2\rightarrow 1}$)

Область применения: Законы Ньютона справедливы для макроскопических тел, движущихся со скоростями, много меньшими скорости света ($v \ll c$), в инерциальных системах отсчёта.

3. Поясните устройство и принцип работы машины Атвуда. Какие силы действуют на грузы и блок в машине Атвуда? Запишите уравнения, описывающие движение данной системы. Каким образом можно убедиться в справедливости второго закона Ньютона?

Устройство и принцип работы машины Атвуда - см. описание лабораторной установки.

Силы, действующие на грузы: сила тяжести mg^{\rightarrow} и сила натяжения нити T^{\rightarrow} .

Силы, действующие на блок: силы натяжения нити T_1^{\rightarrow} и T_2^{\rightarrow} , сила тяжести блока $m_{бл}g^{\rightarrow}$ и сила реакции оси N^{\rightarrow}

Уравнения движения грузов и блока, с учетом того, что при вращении блока возникает момент силы трения в оси $M^{\rightarrow}_{тр}$, имеют вид:

$$\begin{cases} (m + m_1) \ddot{a}_1 = (m + m_1) \ddot{g} + \ddot{T}_1, \\ (m + m_2) \ddot{a}_2 = (m + m_2) \ddot{g} + \ddot{T}_2, \\ J \ddot{\theta} = \ddot{M}_1 + \ddot{M}_2 + \ddot{M}_{mp}. \end{cases}$$

Упростим систему: $a =$

$$\frac{F_g - F_{mp}}{m_{пост} + m_{бл}}.$$

Чтобы убедиться в справедливости второго закона Ньютона, нужно провести ряд опытов и доказать зависимости $a \sim F_g$ (при постоянной массе системы и переменной силе) и $a \sim 1/m$ (при постоянной силе и переменной массе), а затем сравнить экспериментальные значения с теоретическими.

4. Почему ускорение системы определяется по кинематической формуле $a = 2h/t^2$, а не из соотношения $a = F_g/m$? Объясните методику определения ускорения грузов в данной работе.

Формула $a = F_g / m$ используется для идеальной системы без трения и с невесомым блоком (т.е. не для машины Атвуда). Поэтому из формулы $S = V_0t + at^2/2$. $V_0 = 0 \Rightarrow h = at^2/2 \Rightarrow a = 2h/t^2$

Для определения ускорения грузов нужно замерить расстояние h от груза до пола, секундомером измерить время t опускания груза (повторить несколько раз) и посчитать ускорение по полученной формуле.

5. Какой смысл имеет отрезок, отсекаемый прямой на оси абсцисс, на графике зависимости $a = f(F_g)$?

Длина отрезка, отсекаемого прямой на оси абсцисс, на графике зависимости $a \sim F_g$ равна силе трения покоя, которая не даёт системе прийти в движение

6. Сформулируйте основные правила построения графиков.

1. На координатных осях должны быть указаны величины, их единицы измерения и масштаб.
2. Площадь графика должна быть использована максимально.
3. Точки изображаются чётко и крупно маркерами, координаты экспериментальных точек не указывают.
4. От каждой точки вверх и вниз, вправо и влево откладывают в виде отрезков соответствующие абсолютные погрешности измерений.
5. График строится карандашом и должен проходить через отложенные на графике отрезки погрешностей

7. Что такое абсолютная и относительная погрешности измерений? Для чего вводятся эти погрешности?

Абсолютной погрешностью измерения ΔX называют модуль разности между измеренным значением X и ее истинным значением $X_{ист}$

Относительная погрешность – это отношение абсолютной погрешности измеряемой величины ΔX к ее среднему значению $X_{ср}$

Результаты измерения физических величин всегда являются не абсолютно точными, а приближенными. Абсолютная погрешность нужна для записи результата, а относительная для сравнения точности разных измерений.

8. Дайте понятие случайной и систематической погрешностей, класса точности прибора.

Систематические погрешности – погрешности, которые систематически появляются при повторных измерениях одним и тем же прибором (из-за неточности приборов).

Случайные погрешности – погрешности, которые изменяются при повторных измерениях случайным образом (из-за случайностей).

Класс точности E_x прибора указан на шкале прибора (обычно нижний левый угол) как число в десятичном формате и позволяет посчитать систематическую ошибку по формуле:

$$\Delta X_{систем} = \frac{E_x \cdot X_{пред}}{100\%}$$

9. Как определяются погрешности табличных величин?

Если в расчетах используются табличные данные (без указания погрешностей), то обычно считается, что погрешность этой величины составляет $\pm 0,5$ разряда последней значащей цифры. Например, $\pi = 3,14 \pm 0,005$ или ускорение свободного падения $g = 9,8 \pm 0,05$.

9.

10. Какие измерения называются прямыми, косвенными? Методы определения погрешностей прямых и косвенных измерений

Измерения любых величин делятся на два вида: прямые и косвенные.

- 1) При прямых измерениях искомая физическая величина X считывается непосредственно со шкалы прибора, предназначенного для измерения. Так, массу тела можно измерить с помощью весов, длину – с помощью линейки и т. д.

Определение погрешности прямых измерений:

$$\Delta x = \Delta x_{систем} + \Delta x_{случ}$$

- 2) При косвенных измерениях искомая величина Y не измеряется, а вычисляется по формуле с использованием величин прямых измерений X_i , входящих в расчетную формулу. Например, определение скорости тела по пройденному пути, измеренному линейкой, и времени, определенному по часам; или определение плотности тела по массе, измеренной на весах, и объему тела, определенному с помощью мензурки с водой.

Определение погрешности косвенных измерений:

$$x = f(a, c)$$

$$\Delta x = \sqrt{((f_a' * \Delta a)^2 + (f_c' * \Delta c)^2)}$$

10.

