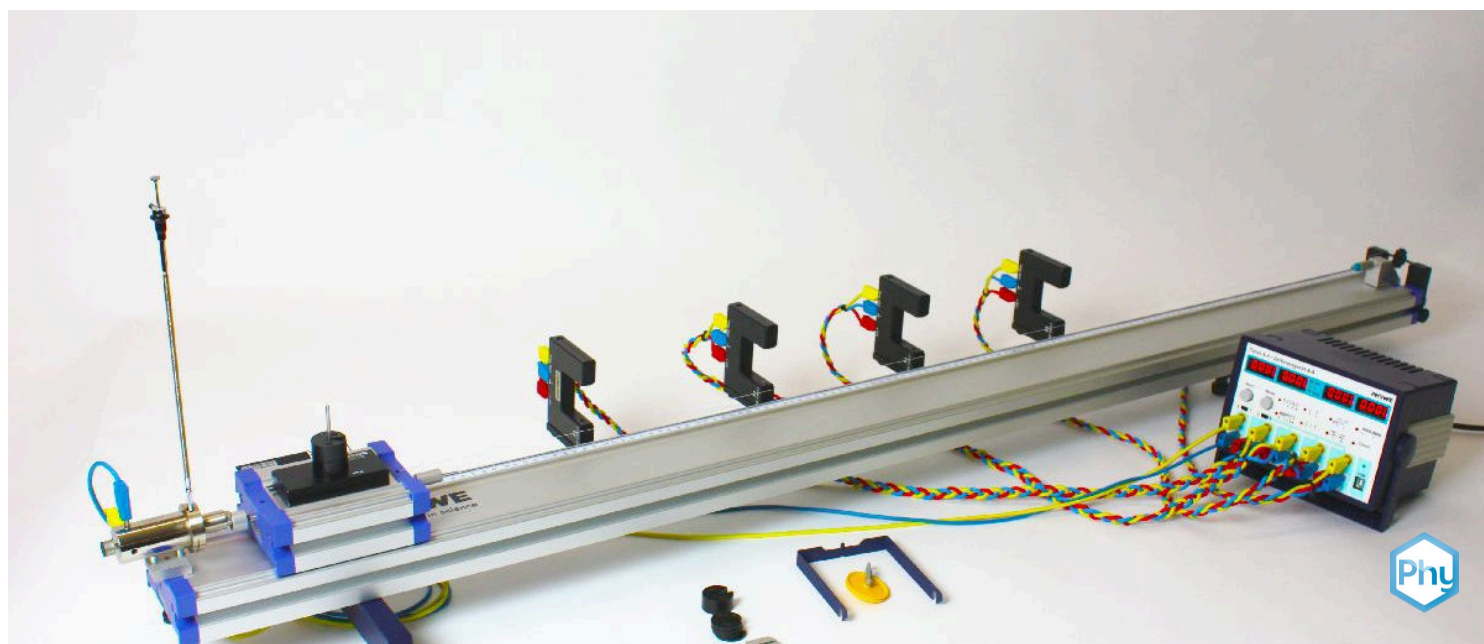


# Равнозамедленное движение на демонстрационной дорожке со счетчиком 4-4



Физика

Механика

Динамика и движение



Уровень сложности

средний



Кол-во учеников

1



Время подготовки

20 Минут



Время выполнения

10 Минут

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/5f6635e1b24cbe000315a107>

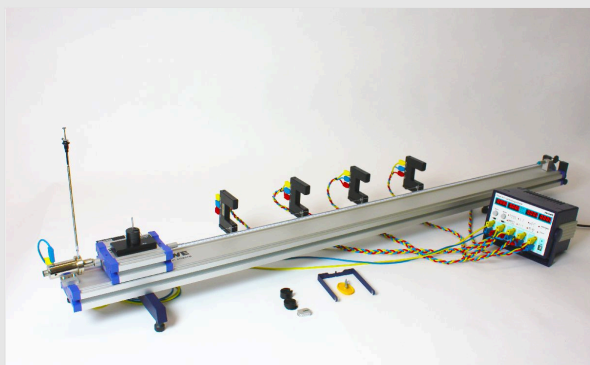
PHYWE

## Общая информация



## Описание

PHYWE



Экспериментальная установка

Тело, движущееся по наклонной плоскости испытывает постоянное ускорение, параллельное плоскости, благодаря действующей на него составляющей силы тяжести.

Если это противодействует начальной скорости тела, оно замедляет его движение и, в конечном итоге, меняет направление на обратное.

В этом эксперименте законы движения для равнозамедленного движения должны быть подтверждены экспериментально измерением времени перемещения тележки по наклонной демонстрационной дорожке.

## Дополнительная информация (1/2)

PHYWE

### предварительные знания



Учащиеся должны быть знакомы с основными характеристиками механического движения и понятиями классических уравнений движения.

### Принцип



Если тело движется по наклонной плоскости, то оно испытывает постоянное ускорение из-за гравитационного поля Земли, которое действует параллельно указанной плоскости.

Если направление действия противоположно направлению движения, то тело замедляется.

## Дополнительная информация (2/2)

PHYWE

### Цель



Если тело равномерно ускоряется в направлении, противоположном направлению его движения, то его движение замедляется.

### Задачи



1. Определите зависимости расстояния от времени по нескольким значениям времени измерения после преодоления разных расстояний
2. Определите зависимости скорости от времени по измерению времени затенения световых барьеров в различных положениях.
3. Определите значение замедляющего ускорения по углу наклона траектории.

## Инструкции по технике безопасности

PHYWE

К этому эксперименту применяются общие инструкции по безопасному проведению экспериментов при преподавании естественных наук.

## Теория

PHYWE

Пройденный путь пропорционален квадрату времени в соответствии с законом равнозамедленного движения для расстояния от времени, а скорость тележки является линейной в соответствии с законом равнозамедленного движения для скорости от времени:

$$s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t, v(t) = a \cdot t + v_0$$

Следует отметить, что  $a$  и  $v_0$  имеют разные знаки.

В зависимости от угла наклона траектории сила тяжести, действующая на тележку, приводит к равнозамедленному движению, пропорциональному ускорению свободного падения:

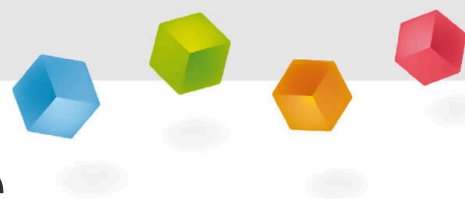
$$a = g \cdot \sin(\alpha)$$

## Материал

Позиция	Материал	Пункт No.	Количество
1	Демонстрационная дорожка трек, алюминиевая, длина 1,5 м	11305-00	1
2	Тележка с малым коэффициентом трением, с сапфирными подвесками	11306-00	1
3	Запирающая пластина для тележки, ширина 100 мм	11308-00	1
4	Игла со штекером	11202-06	1
5	Трубка со штекером	11202-05	1
6	Пластин, 10 брусков	03935-03	1
7	Запирающий держатель насадка для демонстрационной дорожки	11305-12	1
8	Гиря для тележки, 400 г	11306-10	1
9	Гиря, 50 г, черная	02206-01	2
10	Гиря, 10 г, черная	02205-01	4
11	Световой барьер, компактный	11207-20	4
12	Держатель для светового барьера	11307-00	4
13	Пусковая система для демонстрационной дорожки	11309-00	1
14	Магнит со штекером	11202-14	1
15	Подкладные колодки, 150 мм, 4 шт.	02070-00	1
16	Таймер 4-4	13604-99	1
17	Соединительный проводник, 1000 мм, красный	07363-01	4
18	Соединительный проводник, 1000 мм, желтый	07363-02	5
19	Соединительный проводник, 1000 мм, синий	07363-04	5
20	Рулетка, l=2 м	09936-00	1
21	Портативные весы, OHAUS CR2200	48914-00	1

PHYWE

## Подготовка и выполнение работы



### Подготовка (1/6)

PHYWE



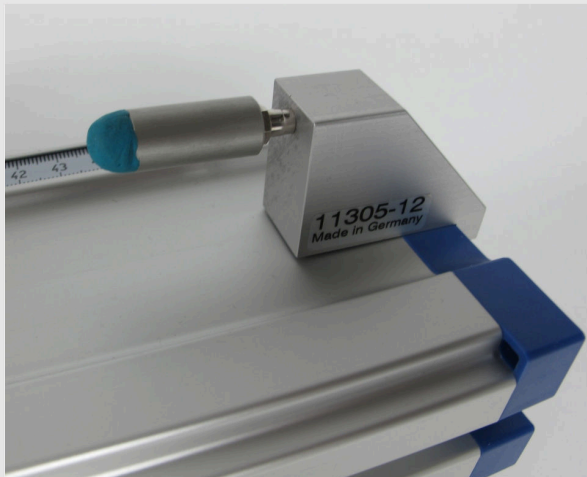
Пусковое устройство должно быть приподнято

1. Демонстрационную дорожку с помощью регулировочных винтов на ножках для устранения незначительных эффектов трения тележки следует установить под углом, чтобы измерительная тележка не начинала просто катиться вправо.

Затем поместите какой-нибудь предмет (блоки, книги, стопки бумаги и т.д.) под двуногую подставку направляющей дорожки, чтобы поднять её примерно на 1-5 см.

## Подготовка (2/6)

PHYWE



Трубка с пластилином прикрепляется к запирающему держателю-насадке

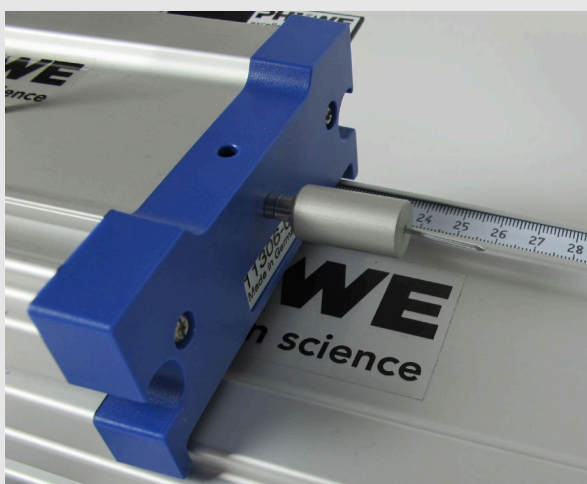
2. Пусковое устройство должно быть установлено на левом конце дорожки.

Пожалуйста, обратите внимание, что для запуска тележки с начальным импульсом пусковое устройство должно быть смонтировано таким образом, чтобы пусковой механизм отходил от измерительной тележки при его срабатывании.

3. Трубка, заполненная пластилином, прикрепляется к запирающему держателю-насадке на правом конце демонстрационной дорожки, чтобы замедлить движение тележки без сильного удара.

## Подготовка (3/6)

PHYWE



Передняя часть измерительной тележки

4. Измерительная тележка снабжена удерживающим магнитом с заглушкой, иглой с заглушкой и запирающей пластиной для измерительной тележки ( $b = 100 \text{ мм}$ ).

5. Масса тележки должна быть отрегулирована с помощью грузиков таким образом, чтобы она достигала держателя с минимальной остаточной скоростью.



## Подготовка (4/6)

PHYWE

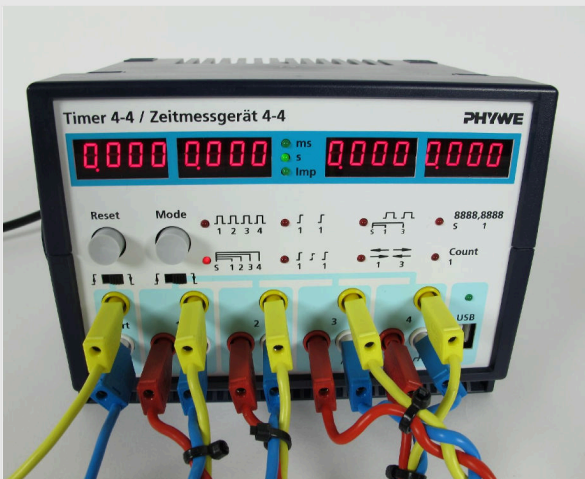


Установка световых барьеров

6. Четыре вилочных световых барьера устанавливаются с помощью специальных держателей для световых барьеров на проезжей части демонстрационной дорожки и равномерно распределяются по измерительному участку.

## Подготовка (5/6)

PHYWE



Подключение к таймеру

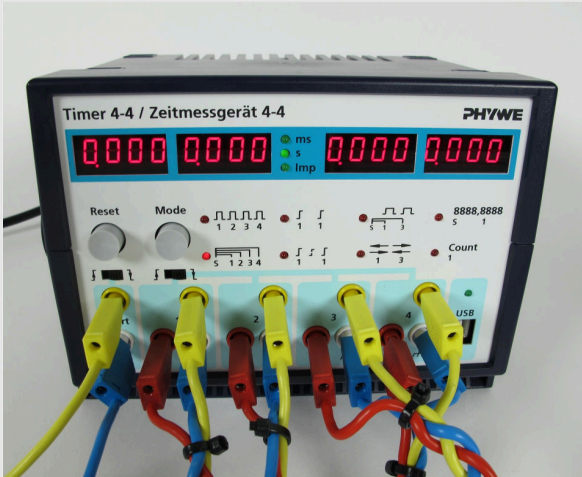
7. Подключите четыре вилочных барьера последовательно слева направо к гнездам в полях "1" - "4" таймера, как показано на рисунке.

Желтые гнезда световых барьеров подключаются к желтым гнездам измерительного прибора, красные гнезда - к красным, а синие гнезда световых барьеров - к белым гнездам таймера.




## Подготовка (6/6)

PHYWE



Проверьте настройки

8. Пусковое устройство подключается к двум разъемам "Пуск" таймера. Убедитесь, что полярность правильная. Красный разъем пускового устройства подключается к желтому разъему синхронизирующего устройства.

9. Два ползунковых переключателя на таймере устанавливаются в правое положение - «задний (спадающий) фронт» (  ) для выбора фронта триггера.

## Выполнение работы (1/4)

PHYWE

1. Измерьте расстояния  $s_1 \dots s_4$  между световыми барьерами и начальным положением тележки.

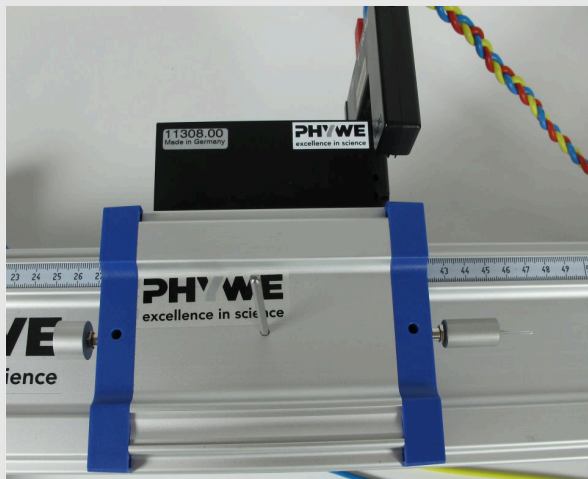
Обратите внимание, что световые барьеры прерываются только передним краем запирающей пластины, установленной на тележке.

Для точного определения расстояний можно действовать следующим образом:

- Переведите тележку в начальное положение соответствующее значению ( $x_0$ ) на рулетке на правом конце тележки.
- Переведите тележку в положение, когда правый конец запирающей пластины просто прерывает световой луч вилочного светового барьера  $i$  и считайте значение ( $x_i$ ) из измерительной рулетки на правом конце тележки.
- $s_i = x_i - x_0$  - это расстояние, которое тележка преодолела от старта до соответствующего светового барьера.

## Выполнение работы (2/4)

PHYWE

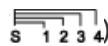
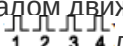


Прерывание сигнала светового барьера

2. Измерительная тележка получает начальную скорость  $v(0)$  за счет импульса силы от пускового устройства (стартера) и испытывает постоянное ускорение в направлении, противоположном его скорости, благодаря действующей на него гравитационной составляющей.

## Выполнение работы (3/4)

PHYWE

3. Сначала определите промежутки времени  $t_1 \dots t_4$  для заданных расстояний  $s_1 \dots s_4$  между началом движения и соответствующим световым барьером, в режиме 2 (  ). Затем в режиме 1 (  ) выполните измерение для определения соответствующих скоростей. При выполнении этого измерения, определяется время затенения  $\Delta t_1 \dots \Delta t_4$  четырех световых барьеров и вычисляется средняя скорость во время соответствующего прохода по длине запирающей пластины (100 мм).

4. Время измерения определяется как среднее значение 5 измерений. Перед каждым выполнением необходимо нажать кнопку "Сброс".

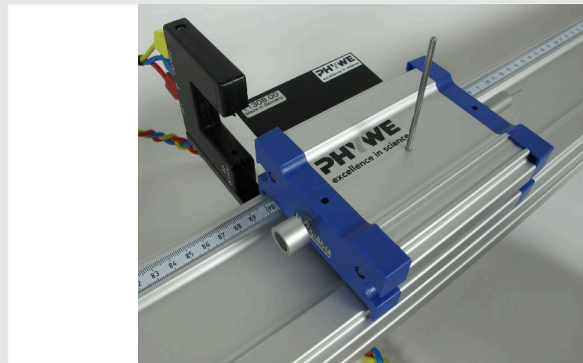
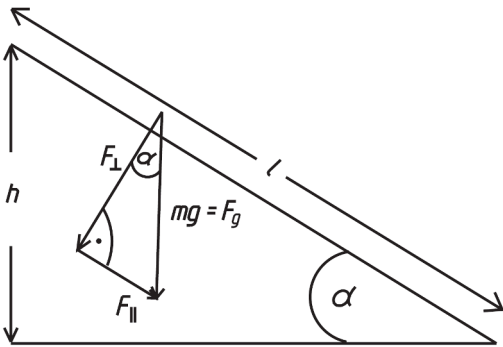
5. Для получения большего количества точек измерения необходимо изменить положение световых барьеров и выполнить еще одну серию измерений, как описано выше.

6. Масса тележки должна быть определена с помощью весов.

## Выполнение работы (4/4)

PHYWE

7. Для определения угла наклона дорожки  $\alpha$  измерьте расстояние между концами дорожки  $l$  и высоту  $h$  тела, помещенного под дорожку, как показано на рисунке слева. Убедитесь, что тележка полностью преодолевает световой барьер (рисунок справа).



## Оценка (1/8)

PHYWE

### Наблюдение

Если выбрать примерно равные расстояния между световыми барьерами, то можно заметить, что различия между временем прохождения  $t_i$  и временем затенения  $\Delta t_i$  тележки за счет ускорения в направлении, противоположном направлению движения, будет увеличиваться с увеличением пройденного расстояния. Когда тележка достигает вершины, она поменяет направление движения и начнет равноускоренное движение к начальному положению.

## Оценка (2/8)

PHYWE

данные измерений

$s, \text{м}$	$t_m, \text{с}$	$\Delta t_m, \text{с}$	$s / t_m, \text{м/с}$	$v = b / \Delta t_m, \text{м/с}$
0,128	0,2	0,18	0,64	0,56
0,428	0,764	0,214	0,56	0,47
0,728	1,455	0,277	0,5	0,36
1,028	2,456	0,551	0,42	0,18
0,228	0,373	0,189	0,61	0,53
0,53	0,97	0,23	0,55	0,43
0,83	1,718	0,32	0,48	0,31
1,078	2,527	0,818	0,43	0,12

## Оценка (3/8)

PHYWE

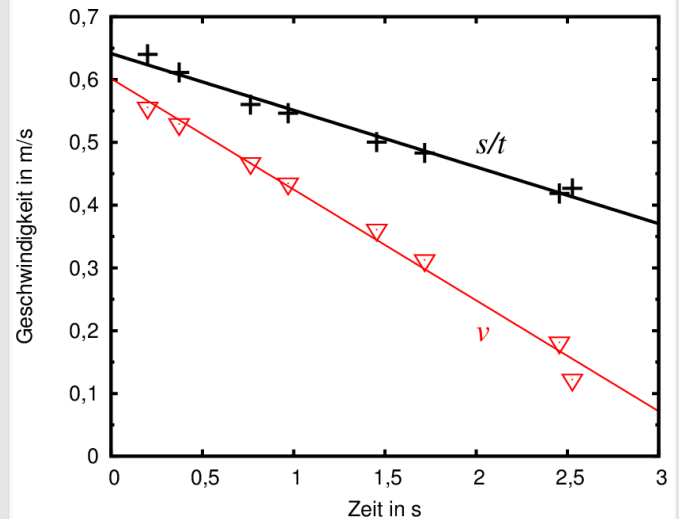
## а) Закон равноускоренного движения для расстояния от времени и скорости от времени.

1. Средние значения  $t_{1m} \dots t_{8m}$  и  $\Delta t_{1m} \dots \Delta t_{8m}$  должны быть определены по пяти измерениям  $t_1 \dots t_8$  и  $\Delta t_1 \dots \Delta t_8$ .
2. Время затенения используется для расчета скорости  $v_i(t_{im}) = b / \Delta t_{im}$ , где  $b = 0,1 \text{ м}$  - длина запирающей пластины тележки
3. В дополнение к предыдущим формулировкам закона равноускоренного движения для расстояния от времени и скорости от времени, теперь необходимо учитывать, что тележка уже имеет начальную скорость  $v_0$  и на момент старта  $t = 0$ .

## Оценка (4/8)

PHYWE

- В системе координат  $(v, t)$  определенные мгновенные скорости  $v_i$  наносятся на график в зависимости от времени  $t_{im}$ , а наклон прямой линии и ее пересечение с осью должны определяться графически или с помощью линейной зависимости (см. рисунок).
- В системе координат  $(s/t, t)$  отображаются средние скорости. Для этого измеренные значения расстояния в единицах времени  $s_i(t_{im})/t_{im}$  наносятся на график в зависимости от времени  $t_{im}$ , а наклон прямой линии и ее пересечение с осью должны определяться графически или с помощью линейной зависимости (см. рисунок).

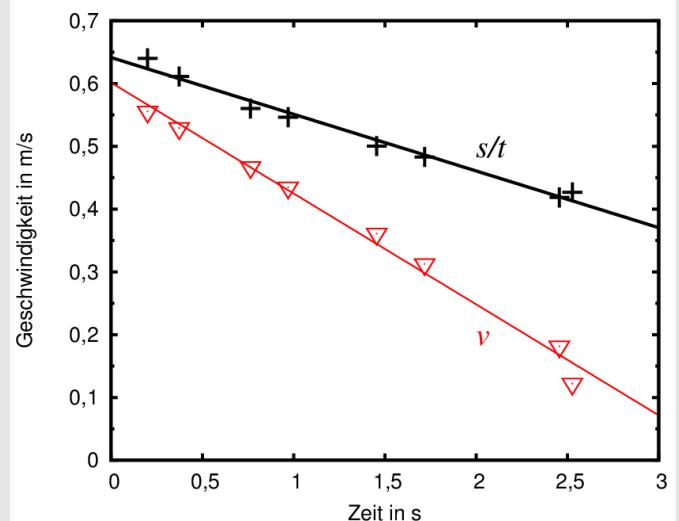


## Оценка (5/8)

PHYWE

Пример измерения:

- $(v, t)$  - диаграмма:  $a = -0.180 \text{ м/с}$ ,  $v_0 = 0.61 \text{ м/с}$ ,
- $(s/t, t)$  - диаграмма:  $a = -0.178 \text{ м/с}$ ,  $v_0 = 0.64 \text{ м/с}$ .



## Оценка (6/8)

PHYWE

4. Первый график показывает закон скорости от времени при равноускоренном движении.

$$v(t) = a \cdot t + v_0$$

Определите наклон прямой как ускорение  $a$ . Пересечение оси соответствует начальной скорости  $v_0$  тележки в момент времени  $t = 0$ . Противоположные направления начальной скорости и ускорения выражаются разными знаками, их можно понимать как векторные величины.

Если в момент времени  $t_S = -v_0/a$  скорость  $v(t_S)$  равна нулю, то вся кинетическая энергия должна быть преобразована в потенциальную.

## Оценка (7/8)

PHYWE

5. Второй график показывает линейную зависимость

$$\frac{s(t)}{t} = k_1 \cdot t + k_2$$

Сравнение полученных коэффициентов показывает  $k_2 \approx v(0)$  и  $k_1 \approx a/2$ . Это приводит к закону для расстояния от времени для равнозамедленного движения:

$$s(t) = \frac{1}{2}a \cdot t^2 + v_0 \cdot t$$

Здесь также действуют противоположные направления начальной скорости и ускорения из-за противоположного знака. Если ускорение  $a$  отрицательное, то график  $s(t)$  представляет собой параболу, направленную вниз, вершина которой находится в точке  $t_s$ , где происходит изменение направления движения.

## Оценка (8/8)

PHYWE

6. Ускорение  $a$ , действующее на тележку также можно определить исключительно по углу наклона  $\alpha$ .

На слайде 18 показано векторное разложение силы на параллелограмме сил.

Используя следующие соотношения для силы  $F_{||} = F_g \cdot \sin(\alpha)$ , получают:

$$a = g \cdot \sin(\alpha).$$

## Примечания

PHYWE

1. Скорости  $v_i$ , вычисленные по  $\Delta t_i$  строго говоря, не являются мгновенными скоростями, поскольку ускорение продолжает действовать на тележку, когда ее запирающая пластина проходит через световой барьер. Скорости, таким образом, являются результатом секанса наклона, а не от наклона прямой на графике  $s(t)$ . Чем медленнее становится движение тележки, тем больше систематическая ошибка.
2. Масса тележки не влияет на её ускорение. Тем не менее, это влияет на радиус действия. Это связано с пусковым импульсом  $p = m \cdot v$ , который передается от стартера к тележке. Следовательно, если масса тележки больше, то начальная скорость должна быть снижена в обратной пропорциональности.