

# УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ БЫСТРО ПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

Коровянская Анастасия Денисовна,  
9Б класс, МОУ «Гимназия №5»,  
город Юбилейный  
Московской области,  
Nasti96@bk.ru



Научный руководитель:  
профессор кафедры «Прикладная механика и  
математика» Московского государственного  
строительного университета, д.т.н., с.н.с.  
Лебедев Владимир Валентинович,  
Lebedev\_v\_2010@mail.ru

## Цель работы:

создать установку – имитатор быстро протекающих процессов, которые не доступны для изучения в школьных условиях.

## Актуальность работы:

недостаточное внимание «быстрым» измерениям в школьном курсе физики.

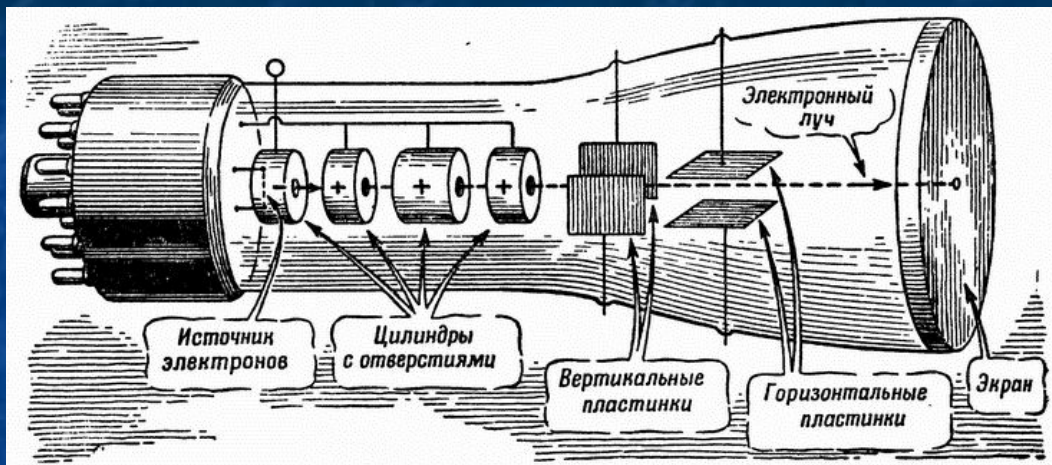
## Новизна работы:

имитация недоступных для школы процессов сравнительно простым движением тел.

## Практическая значимость работы:

учебная установка для измерения характеристик быстро протекающих процессов.

# КАКИЕ УСКОРИТЕЛИ ЧАСТИЦ ЕСТЬ В ШКОЛЕ?



Электронно-лучевая трубка 20-летней давности, обязательно неработающая, потому что в ней нет защиты от подачи анодного напряжения при холодном катоде. Пользы от неё не больше, чем от картинке в учебнике.

Отдельные электронно-лучевые трубки в виде радиодеталей для иллюстрации составных частей, но не для измерения характеристик ускоренных частиц-электронов.

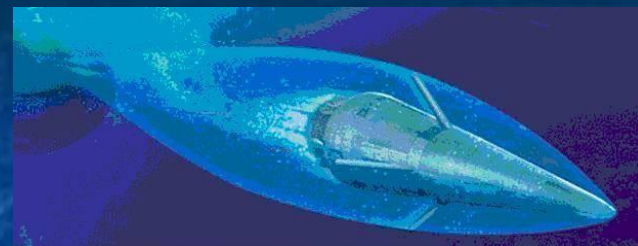


Действующие кинескопы телевизоров, которые всё более заменяются жидкокристаллическими или плазменными панелями. Об ускорении электронов даже не упоминают.

**Вывод: создание имитации ускорителя актуально.**

# ОСНОВНАЯ ИДЕЯ УСТАНОВКИ

1. Невидимые и непонятные для школы элементарные частицы или объекты заменяются имитаторами, то есть простыми телами (шарами, цилиндрами).



**Ракета «Шквал»**



2. Электростатический или магнитный принцип ускорения заменяется гравитационным, то есть притяжением тела к Земле.

Ускорение частицы имитируется падением тела.

Вопросы: 1) как измерить характеристики движения?

2) как измерить характеристики тела?

# НУЖНЫ ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕЛА

Оптические датчики не так хороши для практики, как их рекламируют. Первая установка доказала это. Трудно юстировать, потому что это оптическая система источник света – фотодиод.



Вот такую установку сделали, попробовали с ней работать и отказались от неё.

Более пяти лет отлично и безотказно работает в школе измеритель ускорения свободного падения с миллисекундомером в приборе Ф292 для проверки реле.

**Такой принцип надо применять в создаваемой установке!**



# ТАКАЯ УСТАНОВКА СОЗДАНА



Тело с магнитом падает в трубе длиной 1 метр.

Датчики – катушки индуктивности. Они выдают сигналы о положении тела в трубе.

На метровой трубе датчиков 16, На двухметровой – 20.

Сигнал  $\sim 200$  мВ с каждого датчика поступает на усилитель напряжения ( $K \sim 100$ ).

USB-осциллограф запоминает поступление сигналов во времени.

Расшифровка осциллограммы – это определение характеристик движения тела с магнитом, которое имитирует «видимую» частицу.

# СОЗДАНИЕ КАТУШЕК ДАТЧИКОВ



Купили 8  
ремонтных муфт  
диаметром 50 мм  
по 38 рублей.



Нашли провод  
ПЭЛ-0,26.



Намотали ровно 200 витков  
при высоте катушки 2-3 мм.  
Потом залили катушку  
клеем.



Изготовили  
клеммы и  
наклеили их на  
муфты.



Равномерно  
разместили  
муфты на трубе.



Припаяли  
провода.



Провода  
собрали в  
жгут.



Припаяли и  
прозвонили  
разъём.



**Труба с датчиками готова!**

# ИЗГОТОВЛЕНИЕ УСИЛИТЕЛЯ

Сначала намотали на катушку 100 витков, бросили в неё магнит, измерили сигнал на осциллографе  $\sim 40-100$  мВ.

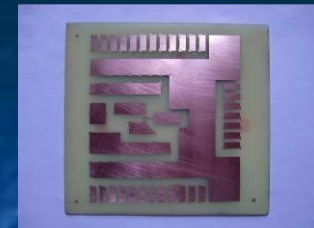
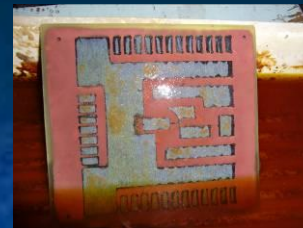
**МАЛО! СИГНАЛ ТОНЕТ В ПОМЕХАХ!**

Доказали, что в катушке-датчике должно быть 200 витков.

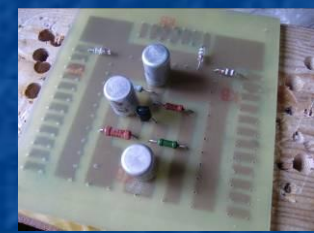
Надо усилить напряжение, поэтому выбрали схему транзисторного усилителя с общей базой.

Напряжение надо усилить в  $\sim 100$  раз, поэтому транзистор должен быть маломощным, с рабочим напряжением 25-30 В и коэффициентом усиления  $\sim 100$ .

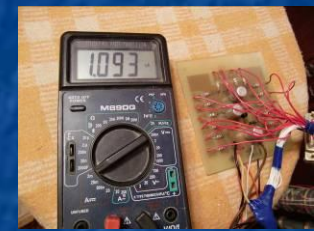
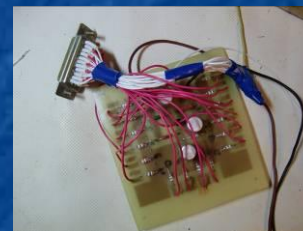
Удобный источник питания – батарейка «Крона-9В», поэтому рабочее напряжение транзистора снизили до 15 В.



**Вытравили плату.**



**Залудили, припаяли детали.**



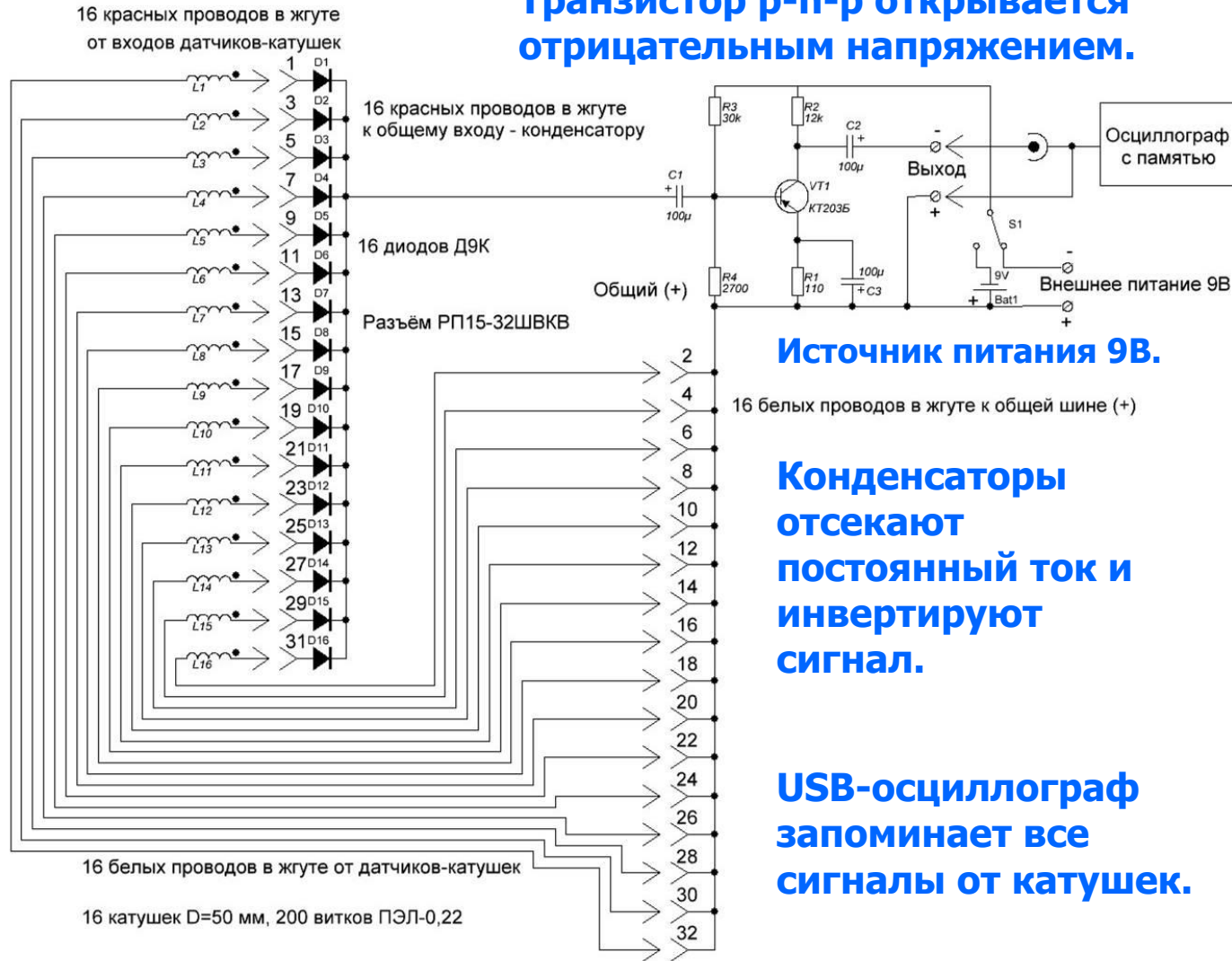
Припаяли разъём, прозвонили тестером, измерили холостой потребляемый ток 1мА.

**УСИЛИТЕЛЬ ЕСТЬ!**



# РАБОЧАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ

**Транзистор p-n-p открывается отрицательным напряжением.**



**Транзистор  
КТ203Б  
(справочник)  
Тип p-n-p  
 $U_{кэ}=30В$   
 $I_{к}=10МА$   
 $f_{гр}=5МГц$   
 $h_{21э}=30-150$   
Подобрали  
 $h_{21э}=92$**

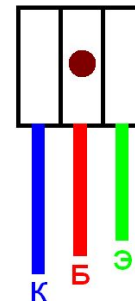
**Источник питания 9В.**

**Конденсаторы отсекают постоянный ток и инвертируют сигнал.**

**USB-осциллограф запоминает все сигналы от катушек.**

Вид со стороны среза (точки)

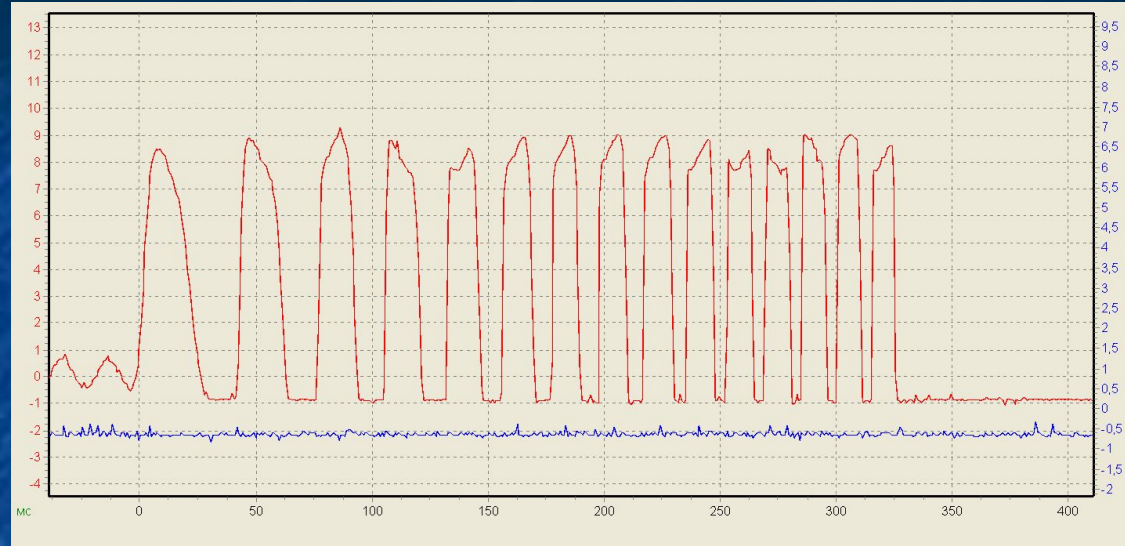
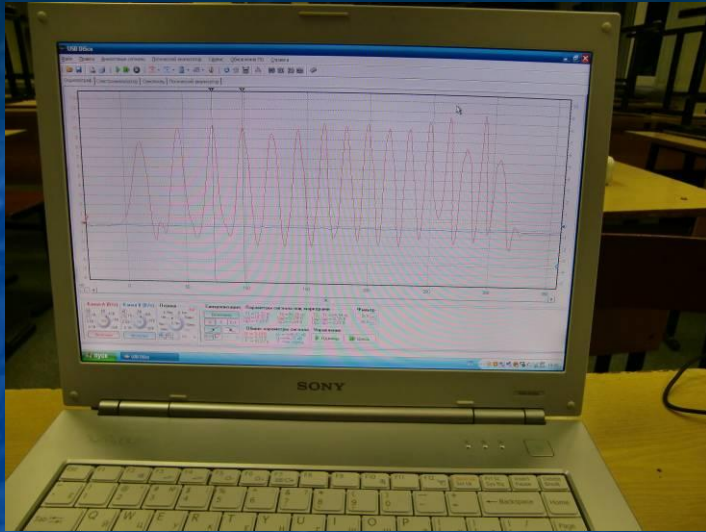
Транзистор p-n-p КТ203Б



**Диоды отсекают обратные сигналы от магнита и катушек.**

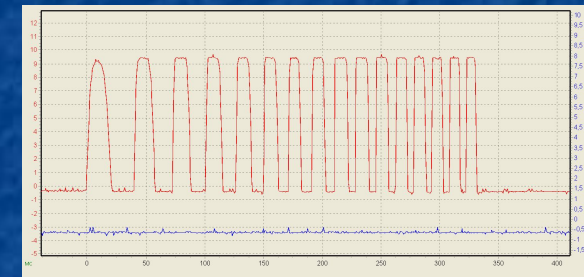
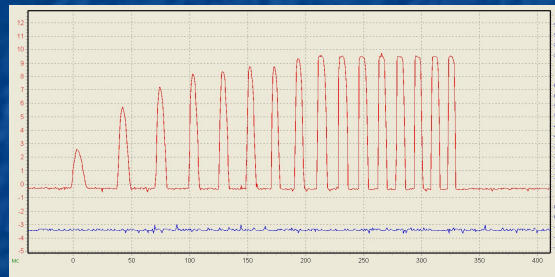
**Технологический разъём для удобства и перспективы.**

# ИСПЫТАНИЕ УСТАНОВКИ



Так выглядит осциллограмма.

Увы! Здесь 15 пиков, а не 16. Не сработал один датчик (первый или последний).



Слабый магнит для оценки скорости по амплитуде.

Сильный магнит для точного измерения времени (насыщение).

Вот обрыв провода!  
Спаяли концы.

Установка готова к работе, к решению задач!

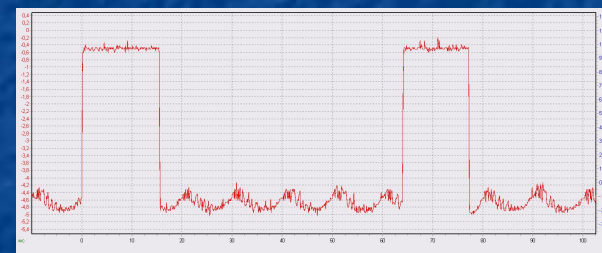
# ПРОВЕРЯЕМ ТОЧНОСТЬ УСТАНОВКИ

Новая формулировка школьной задачи определения величины  $g$ .  
 Частица начала двигаться ускоренно из известного положения.  
 Измерили моменты прохождения частицей шестнадцати точек с известными координатами. Вычислить величину ускорения частицы и оценить точность полученного результата.

**Расчёт по серединам пиков.**

1	-2,06	14,78	16,84	6,36	нет		
2	38,85	52,65	13,8	45,75	39,39		g опытное
3	73,19	85,51	12,32	79,35	33,6		12,57768
4	101,7	112,4	10,7	107,05	27,7		10,6459
5	128	138,2	10,2	133,1	26,05		11,34234
6	151,7	161,6	9,9	156,65	23,55		10,05764
7	173,1	181,9	8,8	177,5	20,85		10,12472
8	193,3	202,3	9	197,8	20,3		10,97288
9	212,2	222,1	9,9	217,15	19,35		10,06195
10	230,5	239,8	9,3	235,15	18		9,793939
11	247,7	256,6	8,9	252,15	17		10,14546
12	264,2	272,8	8,6	268,5	16,35		10,30646
13	280,1	288,6	8,5	284,35	15,85		10,18615
14	295,3	303,7	8,4	299,5	15,15		9,98245
15	310,5	318,3	7,8	314,4	14,9		10,12612
16	324,3	331,8	7,5	328,05	13,65		9,754497
							10,8805
№ датчика T1	T2	T2-T1	Tсередины	Tсеркон-Tсернач		g среднее	<b>10,46391</b>
мс	мс	мс	мс	мс		Абс.ош.	<b>0,653912</b>
						Отн.ош.	<b>0,066658</b>
						%отн.ош.	<b>6,665775</b>
g	9,81 м/сс						
dH	63,5 мм						
	74 мм						

**Microsoft  
Excel  
2003**



Осциллограмму можно растягивать и точно измерять время (10-100 мкс) маркерами на экране.

Расчётная формула:

$$g = \frac{2 \left( \sqrt{h_0 + L} - \sqrt{h_0} \right)^2}{\left( t_{\text{КОН}} - t_{\text{НАЧ}} \right)^2}$$

$h_0 = 74$  мм от магнита до первого датчика. Относительная ошибка не превзошла 7%.

**Отличный результат!**

# КОМПЛЕКС ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ ТЕЛА

1. Измерить ускорение  $g$  свободного падения одним датчиком.

$$g = \frac{2H}{t^2}$$

**Ошибка:**  $\Delta g = \frac{2(\Delta H \cdot t^2 - 2t \cdot \Delta t \cdot H)}{t^4}$

2. Определить высоту падения без начальной скорости одним датчиком.

$$H = \frac{gt^2}{2}$$

**Ошибка:**  $\Delta H = t \cdot \Delta t \cdot g$

3. Сколько времени падало тело, если оно было отпущено без начальной скорости и последний участок длиной  $\Delta h$  прошло за  $\Delta t$  ?  
время

$$t_1 = \frac{\Delta h}{g \cdot \Delta t} - \frac{\Delta t}{2}$$

$$t_2 = \frac{\Delta h}{g \cdot \Delta t} + \frac{\Delta t}{2}$$

4. С какой высоты было отпущено тело без начальной скорости, если последний участок длиной  $\Delta h$  оно прошло за  $\Delta t$  ?  
время

$$H_1 = \frac{\Delta h^2}{2g \cdot \Delta t^2} - \frac{\Delta h}{2} + \frac{g \cdot \Delta t^2}{8}$$

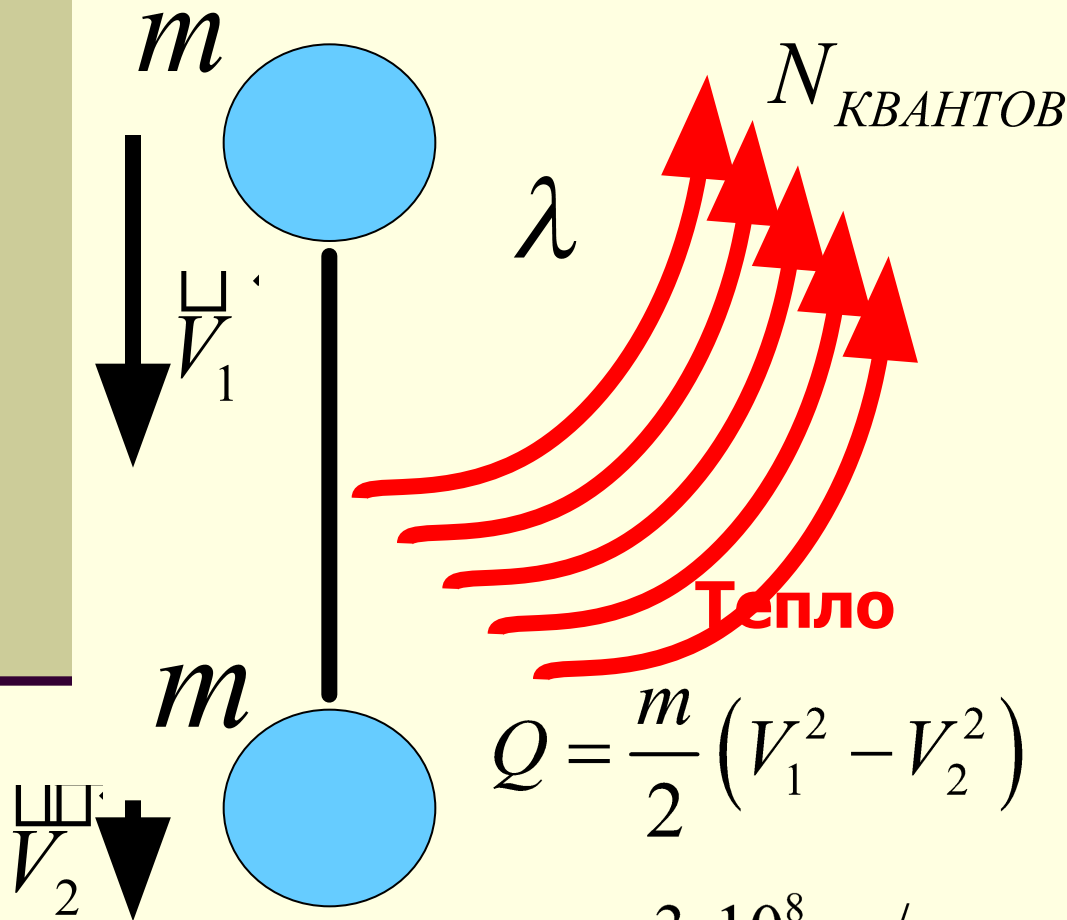
$$H_2 = \frac{\Delta h^2}{2g \cdot \Delta t^2} + \frac{\Delta h}{2} + \frac{g \cdot \Delta t^2}{8}$$

5. Определить ускорение  $g$  свободного падения тела, если при отпуске без начальной скорости последний участок  $\Delta h$  оно прошло за  $\Delta t$  .  
высотой

$$g = \frac{2 \cdot (\sqrt{H_2} - \sqrt{H_1})^2}{\Delta t^2}$$

$$g = \frac{2 \cdot (\sqrt{H_1 + \Delta h} - \sqrt{H_1})^2}{\Delta t^2}$$

# КОМПЛЕКС ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА ТРЕНИЕ – МОДЕЛИРОВАНИЕ РОЖДЕНИЯ КВАНТОВ



**Число родившихся инфракрасных квантов при заданной длине волны:**

$$\lambda = 1000 \text{ нм} = 1 \text{ мкм}$$

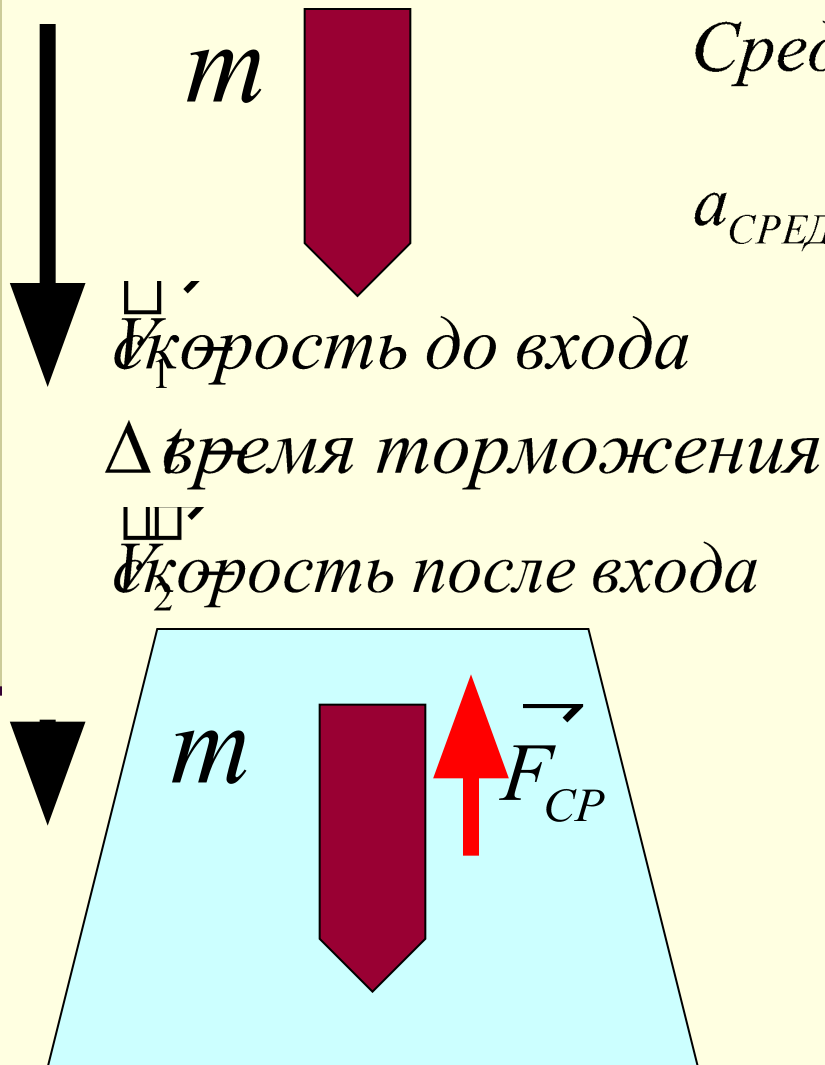
$$N_{\text{КВАНТОВ}} = \frac{Q}{\left(\frac{hc}{\lambda}\right)}$$

$$Q = \frac{m}{2} (V_1^2 - V_2^2)$$

$c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$  – скорость света в вакууме

$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$  – постоянная Планка

# ЗАДАЧИ О ПЕРЕХОДЕ ТЕЛА ИЗ ОДНОЙ СРЕДЫ В ДРУГУЮ



Среднее ускорение торможения :

$$a_{\text{СРЕДНЕЕ}} = \frac{V_1 - V_2}{\Delta t}$$

**Не разрушится ли конструкция при быстром переходном процессе?**

Средняя сила удара :

$$F_{\text{СРЕДНЯЯ}} = \frac{m \cdot V_1 - m \cdot V_2}{\Delta t}$$

# ВЫВОДЫ

1. Создана учебная установка для моделирования быстро протекающих процессов.
2. Точность измерений на созданной установке оценена определением ускорения свободного падения тела (относительная ошибка 3-7%).
3. Предложен перечень типовых школьных задач кинематики, которые из теоретического раздела переведены в практический.
4. Начато изучение процесса движения тела при переходе из одной среды в другую.