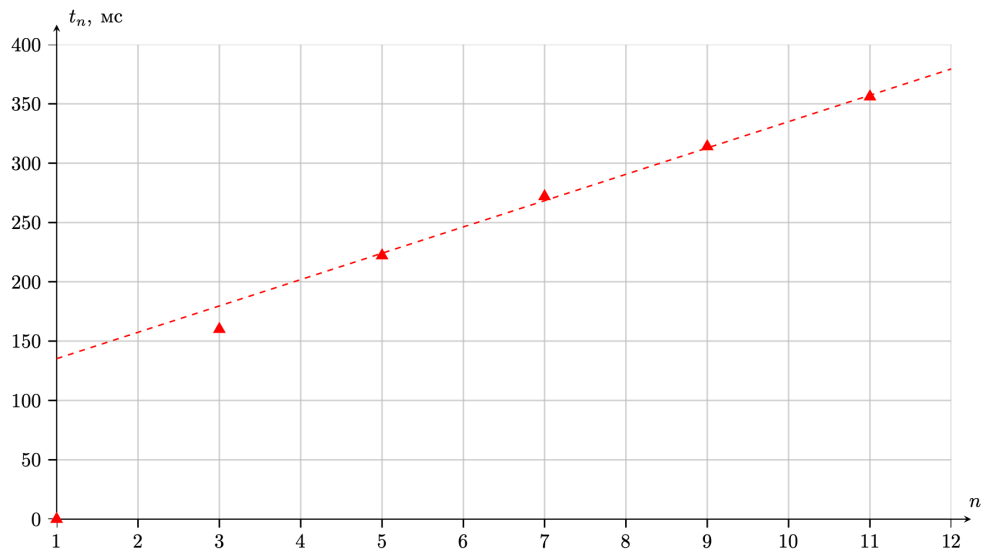


A1^{0.70} Измерьте последовательность t_n для $n \in \{1, 3, 5, 7, 9, 11\}$ при $s = 2$ см. Постройте график зависимости $t_n(n)$.

Ответ:

n	1	3	5	7	9	11
$t_n, \text{мс}$	0	160	222	272	314	356

Ответ:



A2^{0.10} Выразите углы β и φ через геометрические параметры s, h, α .

Ответ:

$$\beta = \operatorname{arctg}\left(\frac{d}{h}\right)$$
$$\varphi = \arcsin\left(\frac{s-d}{h}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{d}{h}\right)$$

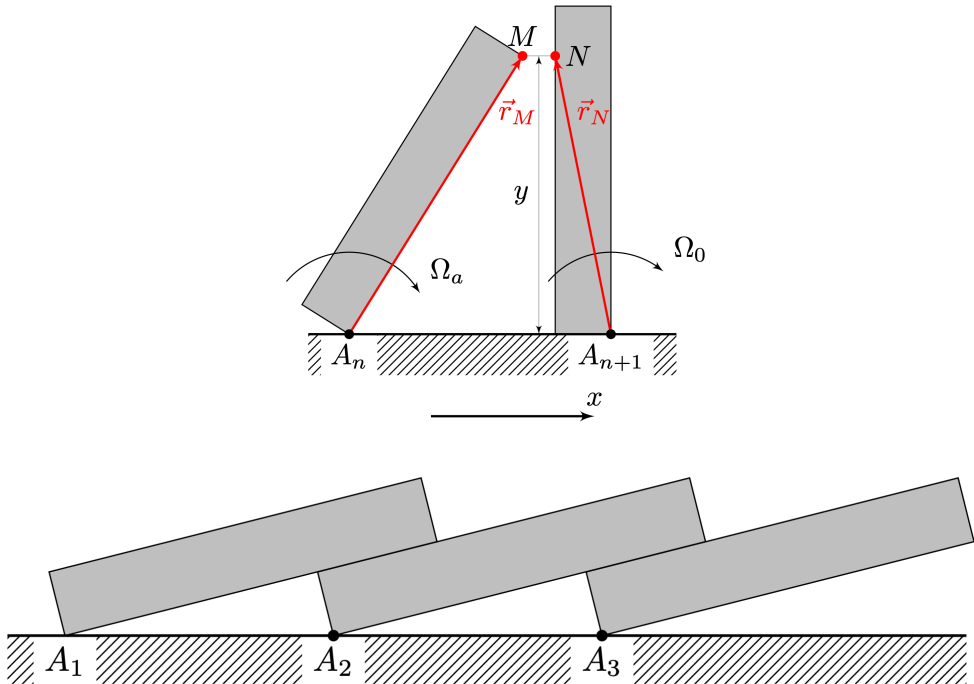
A3^{2.50} Выразите Ω_0 через g, h, k, α, s в установившейся волне падающих домино. Учтите, что в момент удара мгновенные силы реакции возникают во всех точках контакта костяшек друг с другом и с поверхностью.

Условие кинематической связи сразу после удара:

$$(\vec{v}_M \cdot \vec{e}_x) = (\vec{v}_N \cdot \vec{e}_x)$$

Подставив $\vec{v}_M = [\vec{\Omega}_a \times \vec{r}_M], \vec{v}_N = [\vec{\Omega}_0 \times \vec{r}_N]$, получим:

$$\Omega_0 y = \Omega_a y \Rightarrow \Omega_0 = \Omega_a$$



С энергетической точки зрения система в моменты времён t_n и t_{n+1} отличается тем, что одна покоящаяся костяшка перемещается в начало ряда. Исходя из этого можно записать изменение потенциальное энергии: $\Delta\Pi = \frac{mgh}{2}\left(1 - \sqrt{1 + \alpha^2}\sin\left(\arctg\alpha + \arcsin\frac{d}{s}\right)\right)$

Запишем закон сохранения энергии, с учётом кинематической связи:

$$\frac{I\Omega_b^2}{2} = 2 \cdot \frac{I\Omega_0^2}{2} + \frac{mgh}{2}\left(1 - \sqrt{1 + \alpha^2}\sin\left(\arctg\alpha + \arcsin\frac{d}{s}\right)\right),$$

где $I = mh^2(1 + \alpha^2)/3$ — момент инерции костяшки относительно оси вращения. Подставив $\Omega_b = k\Omega_0$, получим:

$$(k^2 - 2)\Omega_0^2 = \frac{3g\left(1 - \sqrt{1 + \alpha^2}\sin\left(\arctg\alpha + \arcsin\frac{d}{s}\right)\right)}{h(1 + \alpha^2)}$$

Ответ:

$$\Omega_0 = \sqrt{\frac{3g\left(1 - \sqrt{1 + \alpha^2}\sin\left(\arctg\alpha + \arcsin\frac{\alpha h}{s}\right)\right)}{h(1 + \alpha^2)(k^2 - 2)}}$$

В1 4.30 Проведите необходимые измерения и получите значения c для не менее чем 10 разных s/h .

Укажите погрешность найденных c .

Скорость распространения волны c равна:

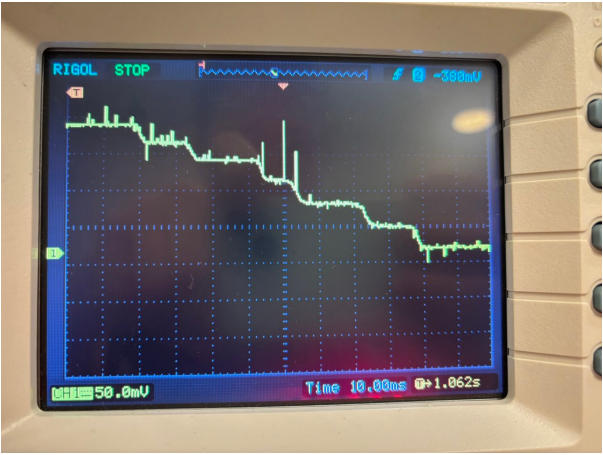
$$c = \frac{s}{dt_n/dn}$$

При расчёте dt_n/dn должны использоваться такие n , при которых зависимость $t_n(n)$ линейна. Но при этом количество использованных точек при расчёте dt_n/dn должно быть не менее 4-х.

s, см								dt _n /dn, мс	c, м/с
1.0	n	7	9	11	12	14	16	9.55	1.047
	t _n , мс	0	30	57.6	76.8	96	115		
1.2	n	4	6	8	10	12	14	14.30	0.839
	t _n , мс	0	47	91	112	149	174		
1.7	n	10	11	12	13	14	15	15.80	1.076
	t _n , мс	0	14	33.6	43.6	63.2	79.2		
2.0	n	8	9	10	11	12	13	19.00	1.053
	t _n , мс	0	27.2	47.2	62.4	85.6	103		
2.3	n	6	7	8	9	11	12	23.90	0.962
	t _n , мс	0	35.6	62.4	80.4	128	158		
2.5	n	3	5	6	7	8	9	27.10	0.923
	t _n , мс	0	62	88	115.6	142.8	170		
2.7	n	4	6	7	8	9	10	31.30	0.863
	t _n , мс	0	63	91	125	152	189		
3.0	n	2	3	4	5	6	7	50.60	0.652
	t _n , мс	0	58	116	170	210	252		
3.3	n	3	4	5	6	7	9	41.50	0.795
	t _n , мс	0	61	106	146	193	268		
3.5	n	3	4	5	6	7	8	61.90	0.565
	t _n , мс	0	58	122	188	242	310		

В погрешность нахождения s вносят вклад два основных фактора: погрешность определения времени t_n , связанная с неидеальностью детектора: при падении костяшка закрывает свет, падающий на фотодиод, не мгновенно. Это проявляется в виде неидеальных ступенек с шириной перехода ≈ 4 мс. Учитывая, что длительность всего процесса прохождения волны составляет $\approx 200 - 300$ мс, мы имеем погрешность $\approx 5\%$.

Другой фактор погрешности связан с тем, что мы каждый раз немного по-разному выставляем костяшки (которые при этом еще и отличаются друг от друга). В итоге это приводит к тому, что измеряемая скорость s при повторении может отличаться на $\approx 5\%$.



B2^{2.40} Постройте график зависимости k от s/h .

Обозначим за $\tau = dt/dn$

$$\frac{s\Omega_0}{2(\beta + \varphi)} \left(1 + \frac{1}{k}\right) = \frac{s}{\tau}$$

Подставим выражение для Ω_0 из пункта **A3**:

$$\frac{1}{2(\beta + \varphi)} \left(1 + \frac{1}{k}\right) \cdot \sqrt{\frac{3g \left(1 - \sqrt{1 + \alpha^2} \sin\left(\arctg \alpha + \arcsin \frac{d}{s}\right)\right)}{h(1 + \alpha^2)(k^2 - 2)}} = \frac{1}{\tau}$$
$$\frac{\tau}{2(\beta + \varphi)} \cdot \sqrt{\frac{3g \left(1 - \sqrt{1 + \alpha^2} \sin\left(\arctg \alpha + \arcsin \frac{d}{s}\right)\right)}{h(1 + \alpha^2)}} \cdot \frac{1 + \frac{1}{k}}{\sqrt{k^2 - 2}} = 1$$

Множитель слева обозначим за u :

$$u = \frac{\tau}{2(\beta + \varphi)} \cdot \sqrt{\frac{3g \left(1 - \sqrt{1 + \alpha^2} \sin\left(\arctg \alpha + \arcsin \frac{d}{s}\right)\right)}{h(1 + \alpha^2)}}$$

Тогда уравнение будет выглядеть так:

$$u(s/h) \cdot \frac{1 + \frac{1}{k}}{\sqrt{k^2 - 2}} = 1,$$

которое можно решить методом итераций. Сначала для каждого из измеренных s посчитаем u , затем методом итераций найдем значение k :

$$k = \sqrt{2 + u^2 \left(1 + \frac{1}{k}\right)^2}$$

s , см	s/h	τ , мс	φ , рад	u	k
1.0	0.25	9.55	-0.024	0.659	1.753
1.2	0.3	10.8	0.027	0.576	1.686
1.7	0.425	15.80	0.155	0.538	1.657
2.0	0.5	19.00	0.234	0.530	1.651
2.3	0.575	23.90	0.316	0.562	1.675
2.5	0.625	27.10	0.373	0.575	1.685
2.7	0.675	31.30	0.431	0.603	1.707
3.0	0.75	38.80	0.523	0.653	1.748

3.3	0.825	50.60	0.621	0.749	1.828
3.5	0.875	61.90	0.693	0.843	1.910

Ответ:

