

Road to IPhO

Эффект Домино

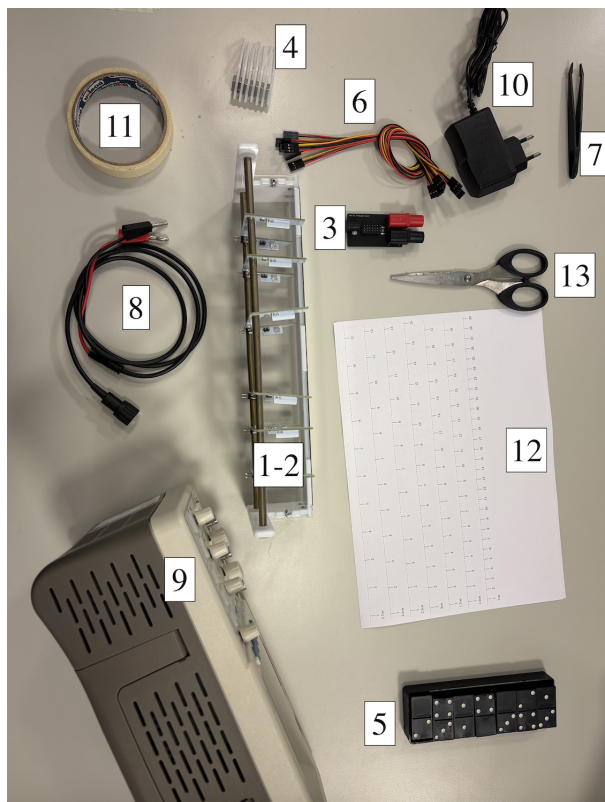
Оборудование:

1. Измерительная скамья
2. Фотогейты 6 шт.
3. Photogate board
4. Стопор на магнитах 7 шт.
5. Костяшки домино 21 шт.
6. Провода мама-мама 6 шт.
7. Пинцет
8. Провод BNC-банан
9. Осциллограф
10. Блок питания
11. Малярный скотч
12. Два листа с бумажными линейками с разным шагом
13. Ножницы

Внимание! Наименования 1-4 достаточно хрупкие. Будьте аккуратны при обращении с ними! **В случае поломки оборудования баллы за задачу могут быть аннулированы!**

Внимание! Во избежание поломки перемещайте фотогейты по направляющим предельно аккуратно, **НЕ ПРИКЛАДЫВАЯ** чрезмерную силу.

Примечание. Магниты от стопора иногда отклеиваются, обратитесь к дежурному, если нужно прикрепить магнит к стопору.



Road to IPhO

Фотогейт и фотодиод

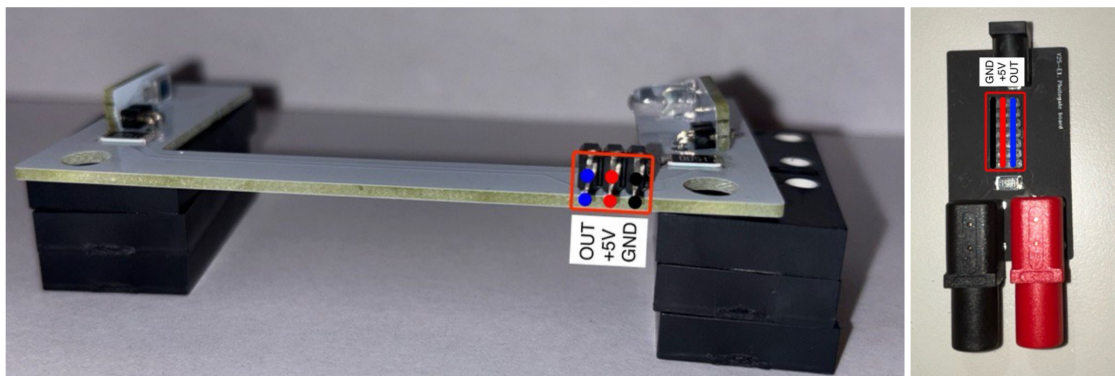


Рис. 1

Фотогейт состоит из светодиода и фотодиода и имеет три пары выходных пинов (см. рисунки 1 и 2). Пины фотогейта соединяются проводами мама-мама с соответствующими пинами photogate board. К выходам типа «банан» photogate board подключается осциллограф, к оставшемуся выходу подключается блок питания. При таком подключении горит светодиод фотогейта, а осциллограф регистрирует сигнал, пропорциональный интенсивности излучения, падающего на фотодиод фотогейта.

Для проведения эксперимента соедините выходы всех фотогейтов параллельно и один из них соедините с photogate board как описано выше. В такой конфигурации сигнал осциллографа пропорционален суммарной интенсивности света на всех фотодиодах.

Внимание! Проверьте, что сигнал осциллографа изменяется при перекрывании света от каждого из светодиодов по отдельности. Если изменение составляет менее 15 мВ, обратитесь к дежурному, и явно покажите это.

В экспериментальных пунктах задачи потребуется снять последовательность времён t_n , где t_n – момент удара костяшки с номером $n - 1$ о костяшку с номером n , $t_1 = 0$. Для измерения этой последовательности составьте ряд костяшек домино на измерительную скамью на одинаковом расстоянии s друг от друга, а затем подтолкните первую костяшку для запуска волны. Падающие костяшки будут перекрывать свет от светодиодов, и сигнал на осциллографе будет меняться. Исследуя его, можно получить требуемую последовательность t_n .

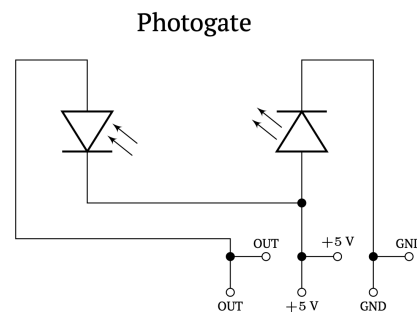


Рис. 2

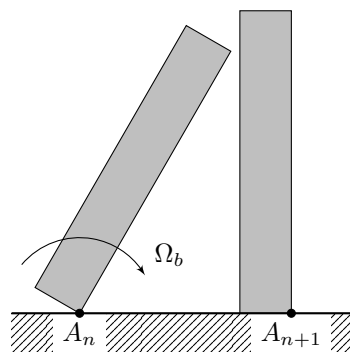
Часть А. Введение (3.3 балла)

A1 Измерьте последовательность t_n для $n \in \{1, 3, 5, 7, 9, 11\}$ при $s = 2$ см. Постройте график зависимости $t_n(n)$. **0.7**

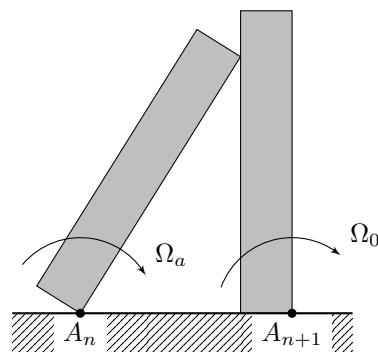
Рассмотрим теорию, описывающую падение костяшек. Введем обозначения:

- Ω_b – угловая скорость костяшки непосредственно перед ударом о следующую, которая покоится (*before*);
- Ω_0 – угловая скорость костяшки сразу после удара с предыдущей;
- Ω_a – угловая скорость сразу после удара со следующей (*after*);
- m – масса одной костяшки;
- $\alpha = d/h = 0.135 \pm 0.005$;
- β – отклонение линии $A_n C_n$ от вертикали, когда костяшка домино покоится, причём C_n – её центр масс;
- φ – отклонение линии $A_n C_n$ от вертикали, когда костяшка ударяется о следующую.

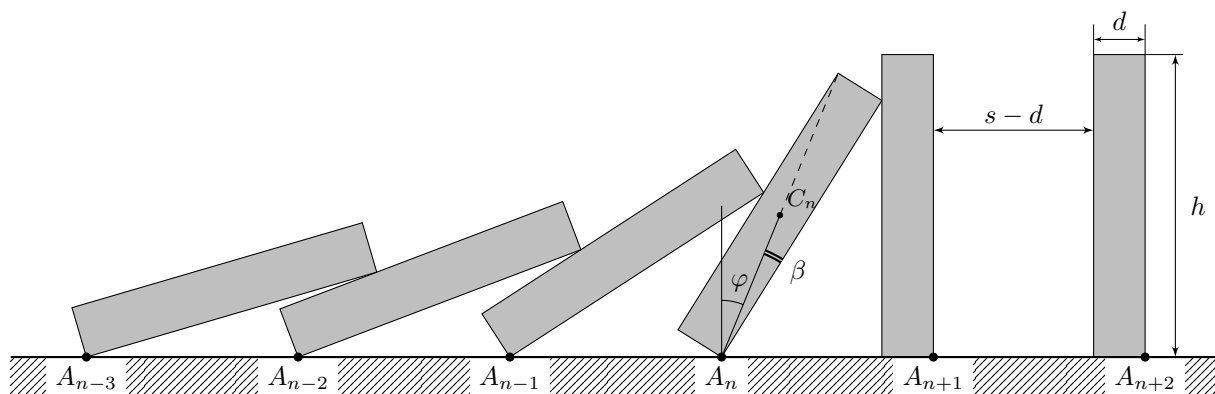
Road to IPhO



До удара



После удара



Обратим внимание, что скорость распространения волны падающих домино довольно быстро устанавливается, то есть зависимость t_n от n становится линейной. На процесс распространения волны возбуждения в ряде домино влияет большое количество факторов, которые трудно учесть вместе. В их число входят, например, проскальзывание по поверхности и трение между костяшками. В этой задаче будем рассматривать простейшую модель распространения волны домино, которая включает в себя следующие допущения:

- проскальзывание по поверхности отсутствует;
- трение между костяшками отсутствует;
- костяшки домино являются однородными;
- удар костяшек абсолютно неупругий, значит костяшки после удара не отрываются, а только скользят друг по другу;
- в момент удара изменение кинетической энергии костяшек не участвующих в ударе (на рисунке выше это все, кроме n и $n + 1$) пренебрежимо мало. То есть кинетическая энергия всей системы домино сразу до удара: $K_{\text{до}} = \frac{I\Omega_b^2}{2}$, кинетическая энергия всей системы домино сразу после удара: $K_{\text{после}} = \frac{I(\Omega_a^2 + \Omega_0^2)}{2}$, где I – момент инерции костяшки относительно оси вращения;
- в ходе удара угловая скорость падающей костяшки падает в k раз: $\Omega_a = \Omega_b/k$.

A2 Выразите углы β и φ через геометрические параметры s , h , α .

0.1

A3 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.

2.5

Будем считать скорость распространения волны c равной

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

Road to IPhO

Часть В. Эксперимент (6.7 балла)

Величина k является кинематическим параметром, который на самом деле содержит в себе всю нетривиальную динамику, например возникающие ударные силы. Изучим зависимость k от s/h .

B1	Проведите необходимые измерения и получите значения c для не менее чем 10 разных s/h . Укажите погрешность найденных c .	4.3
-----------	---	------------

B2	Постройте график зависимости k от s/h .	2.4
-----------	---	------------