

Задача №16

Магнитная пушка

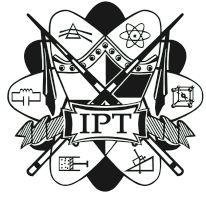
Докладчик: Сергей С. Воищев

Команда: «Рубикон»

г. Воронеж

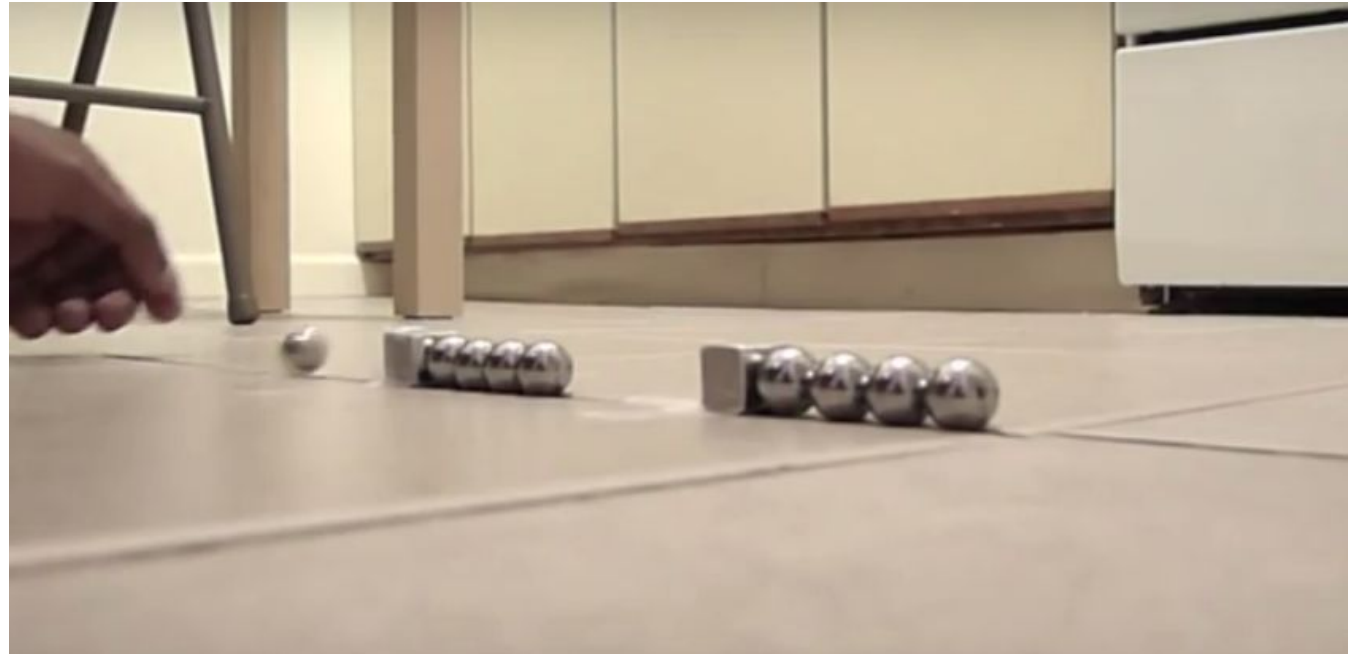


Условие задачи



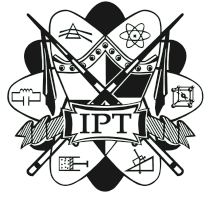
Выстройте в ряд стальные шарики, притянутые сильным магнитом. Если запустить еще один шарик так, чтобы он ударил по линии, то конечный шарик вылетит из линии с **большой скоростью**.

Насколько велика может быть эта скорость? Как она **зависит от положения магнита в цепочке?**





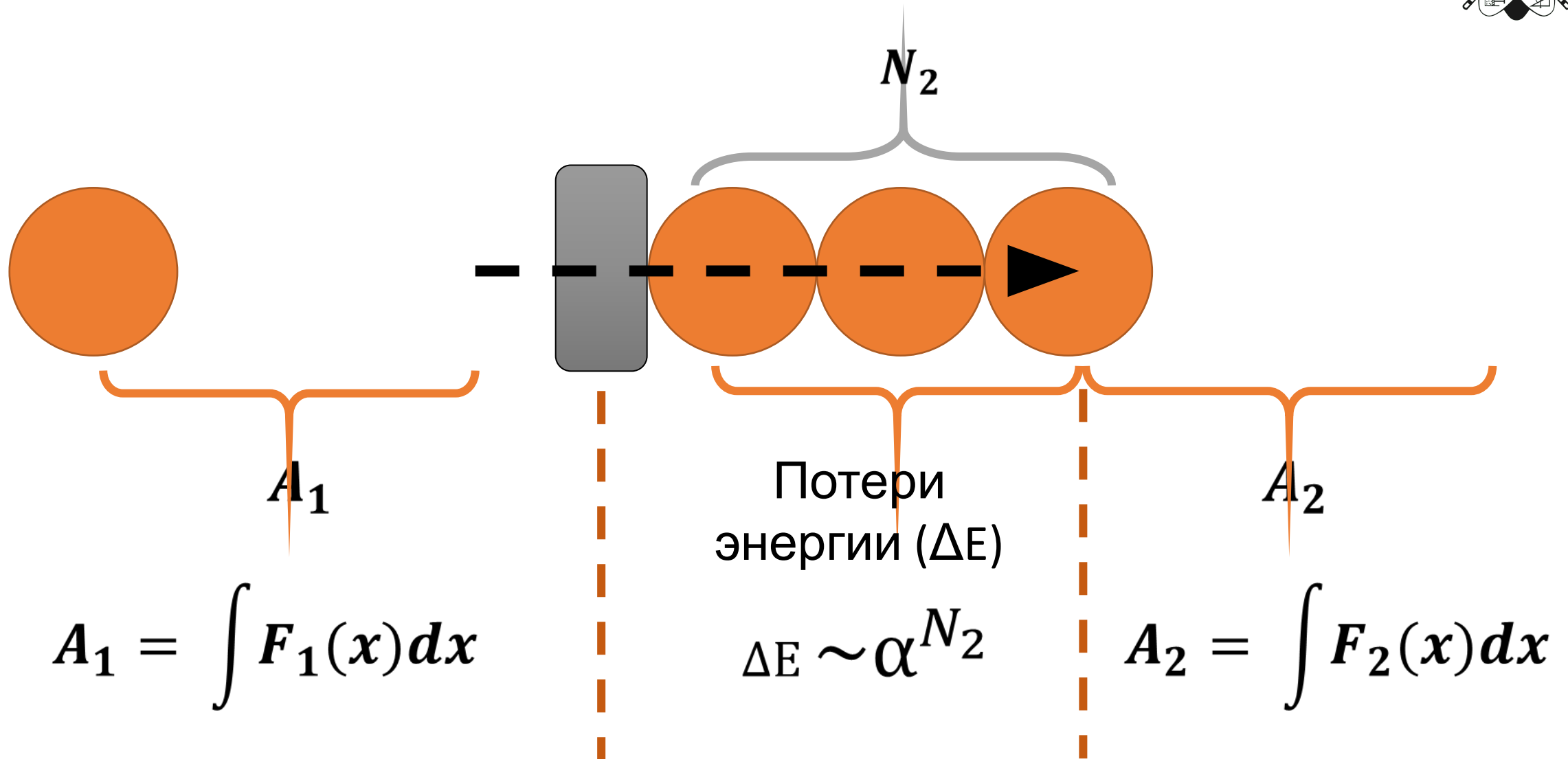
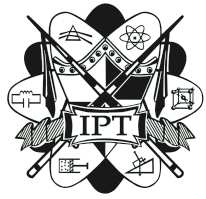
План решения



- Как это работает?
- От чего зависит скорость вылетающего шарика?
- Математическая модель;
- Многоступенчатая модель.

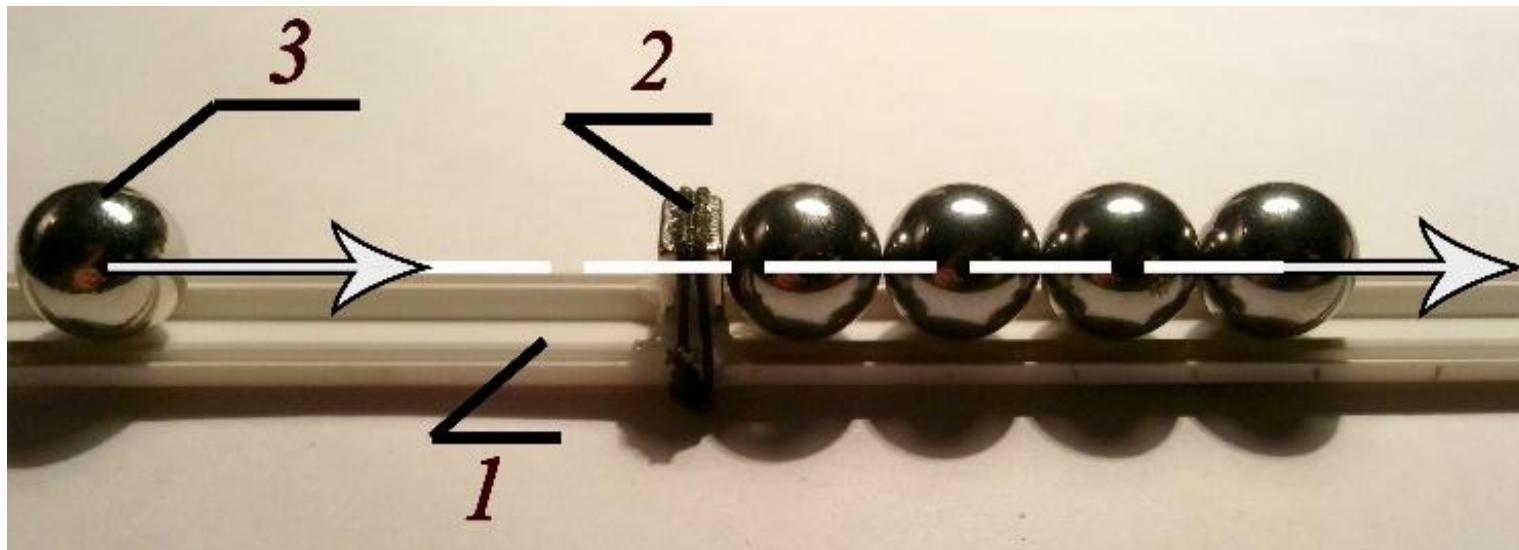
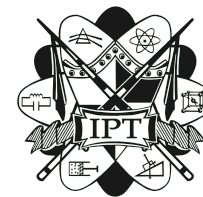


Качественная модель





Экспериментальная установка



- 1 – канал;
- 2 – закрепленный магнит;
- 3 – ударяющий шарик



Радиусы
используемых
шариков, [мм]:

3,35

4,3

4,7

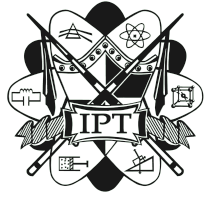
6,25

7,25

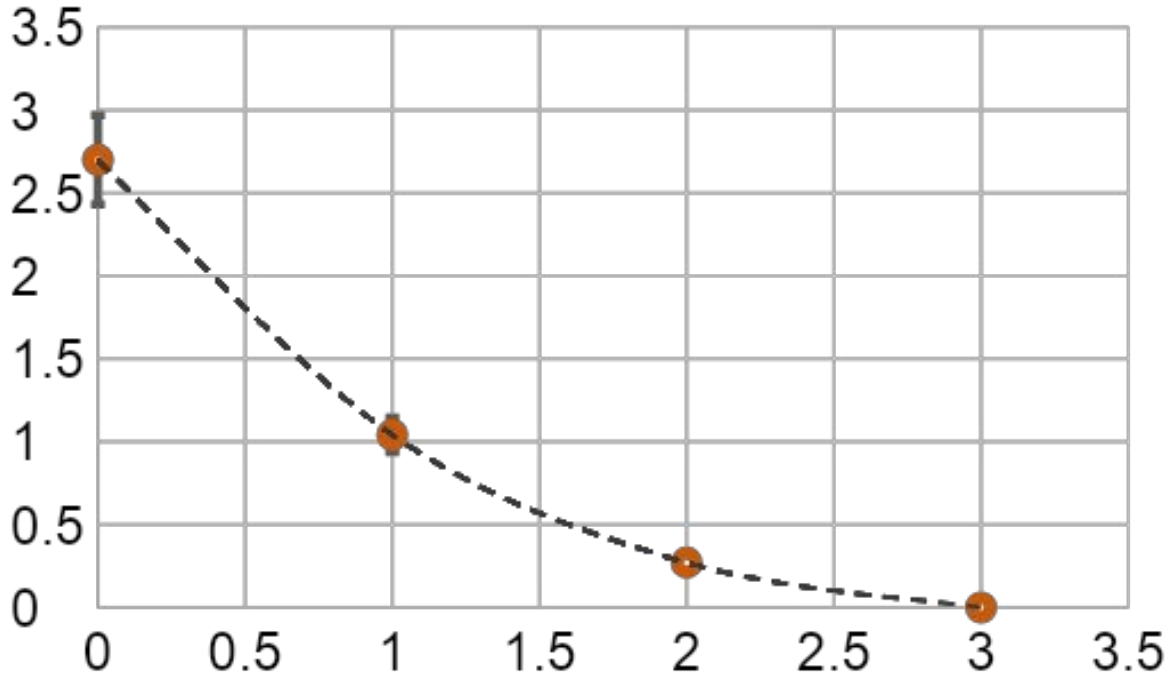
9,5



Измерения скорости

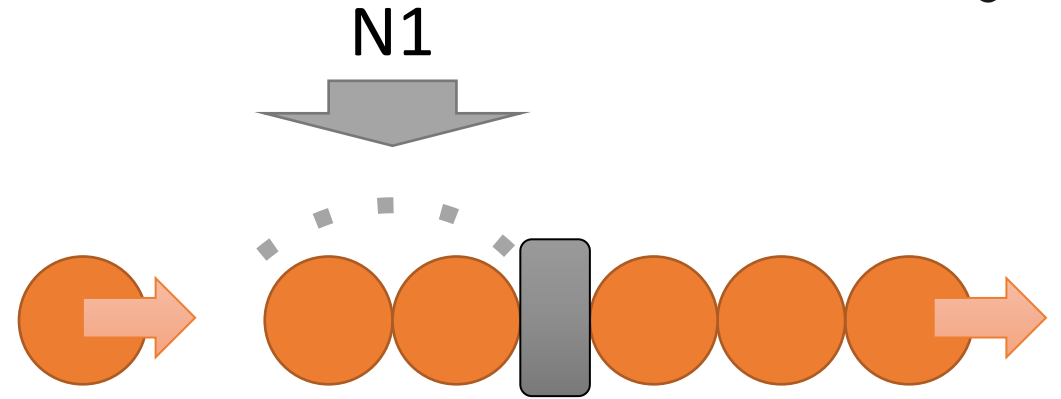


скорость, [м/с]



N1, [шт]

Магнит должен
находиться

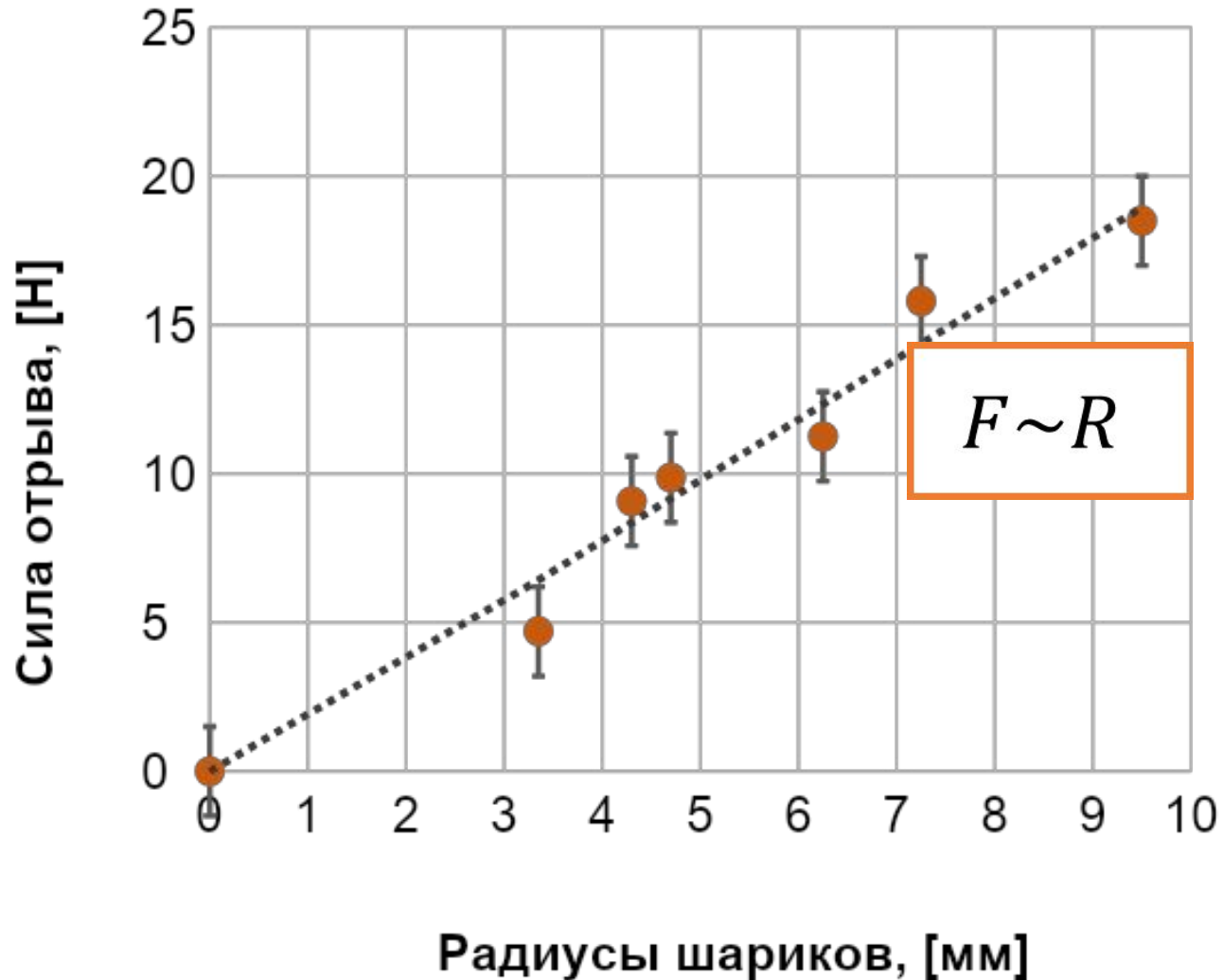
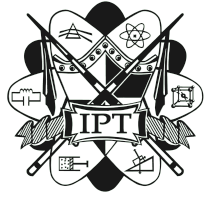


Параметры установки:

- $R_{\text{шариков}} = 4,7\text{мм};$
- Количество шариков за магнитом: 3 (const)



Зависимость $v(r)$



$$E = \frac{mv^2}{2} \sim F(l) \cdot l$$

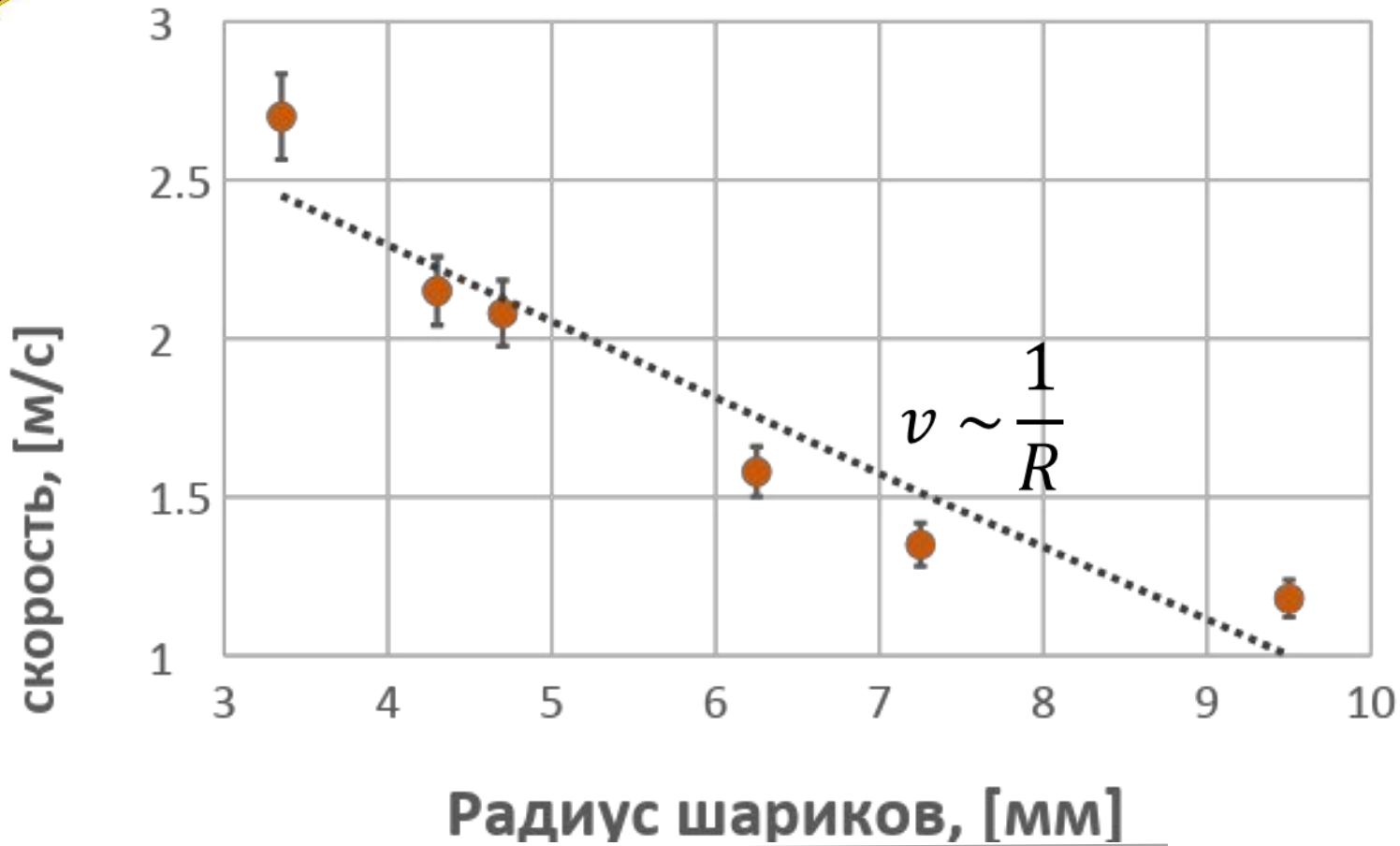
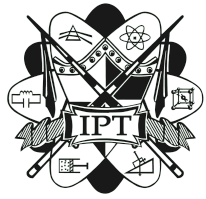
$$F \sim R$$

$$m \sim R^3$$

$$v \sim \frac{1}{R}$$



Зависимость $v(r)$

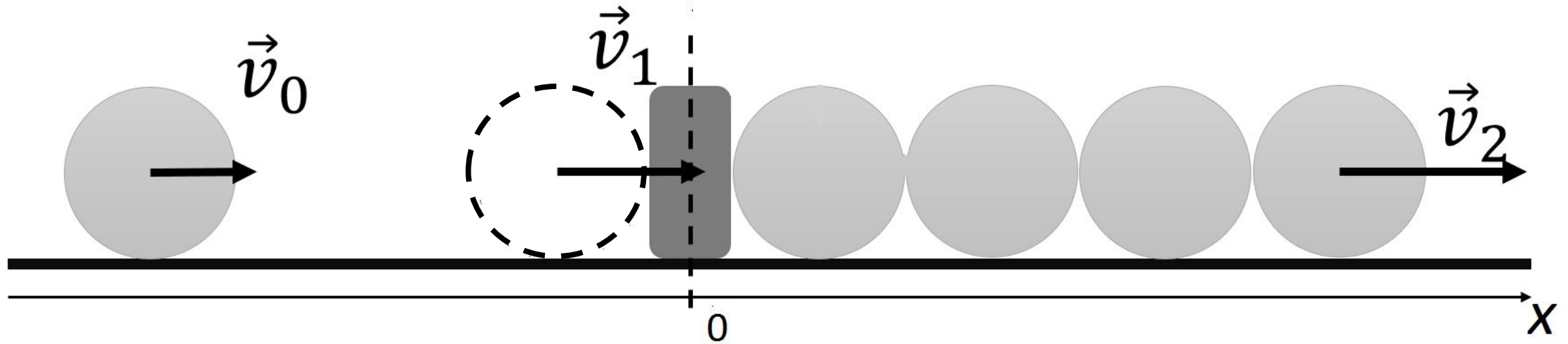
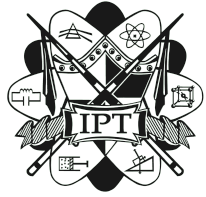


Параметры установки:

- Количество шариков после магнита: 3;
- Количество шариков перед магнитом: 0;
- Постоянный тип используемого магнита.

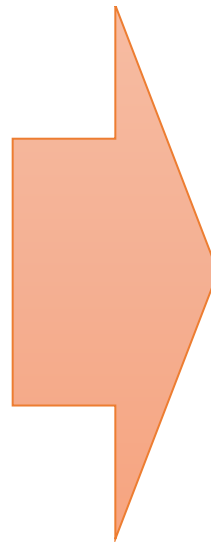


Математическая модель



$$E_{k1} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}$$

$$I = \frac{2}{5}mr^2$$



n шариков

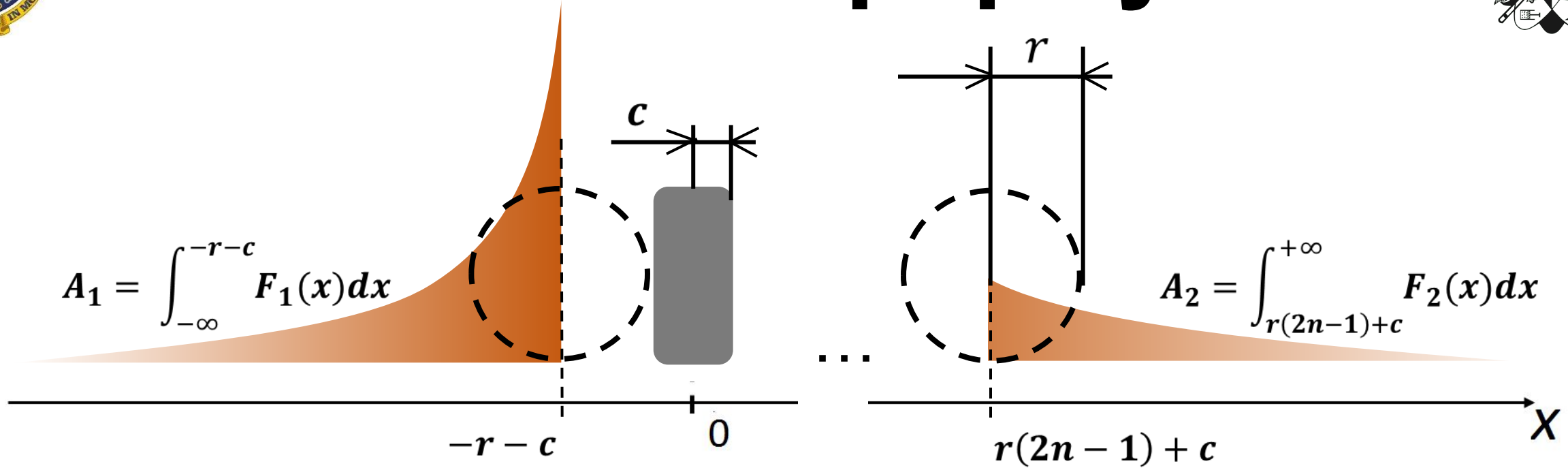
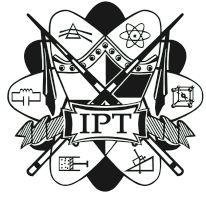
$$E_{k1} = \frac{E_{k0} + A_1}{1.4}$$

$$E_{k2} = E_{k1} \cdot \alpha^n$$

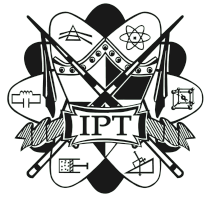
Может
передаться
через
цепочку



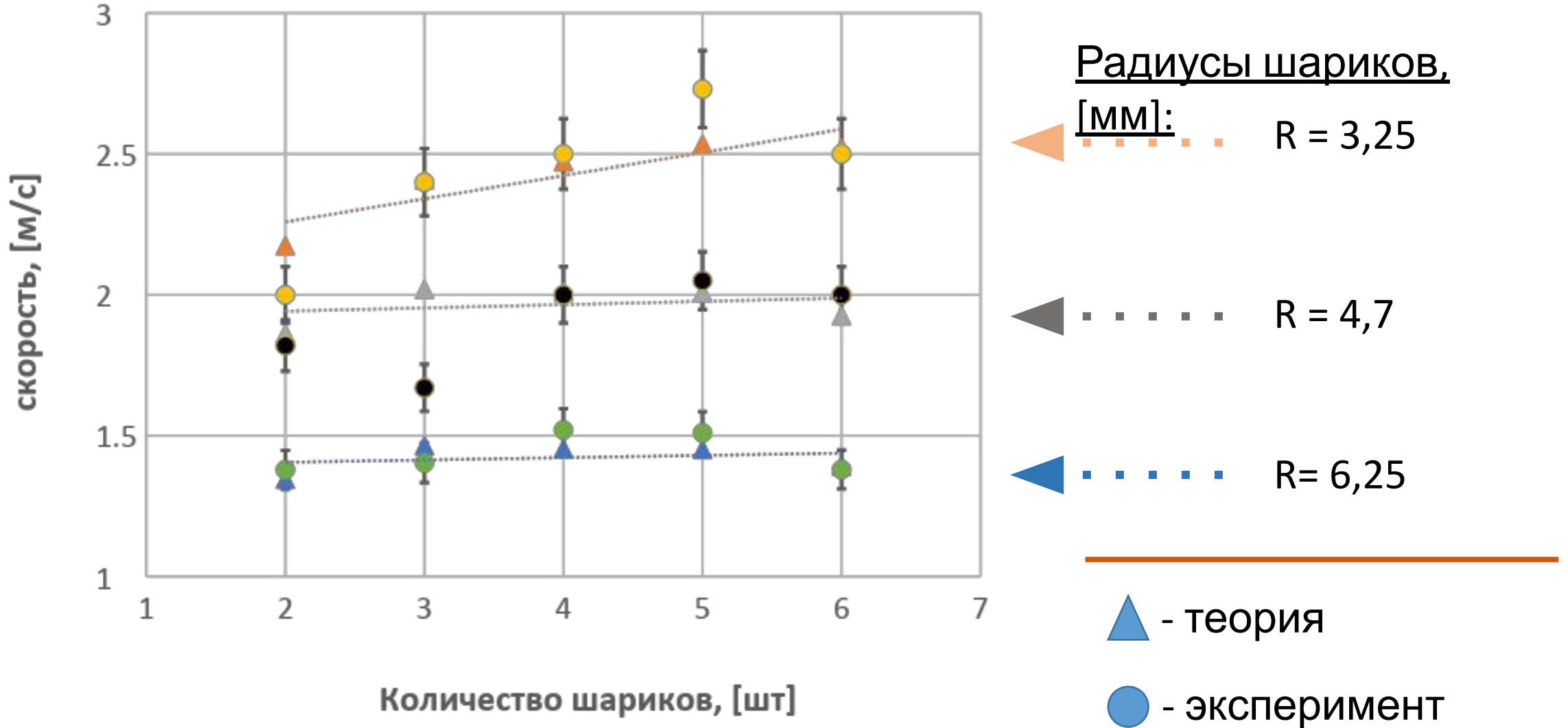
Конечная формула



$$v_2 = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{E_{k0} + A_1}{1.4} \cdot \alpha^n - A_2 \right)}$$

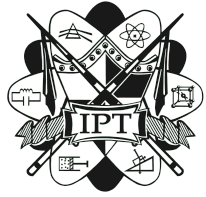


Скорость: теория VS эксперимент





Отлёт нескольких шариков



Шарики:

- Шарики для пинг-понга;
 - Радиус = 4 см;
-

Причины:

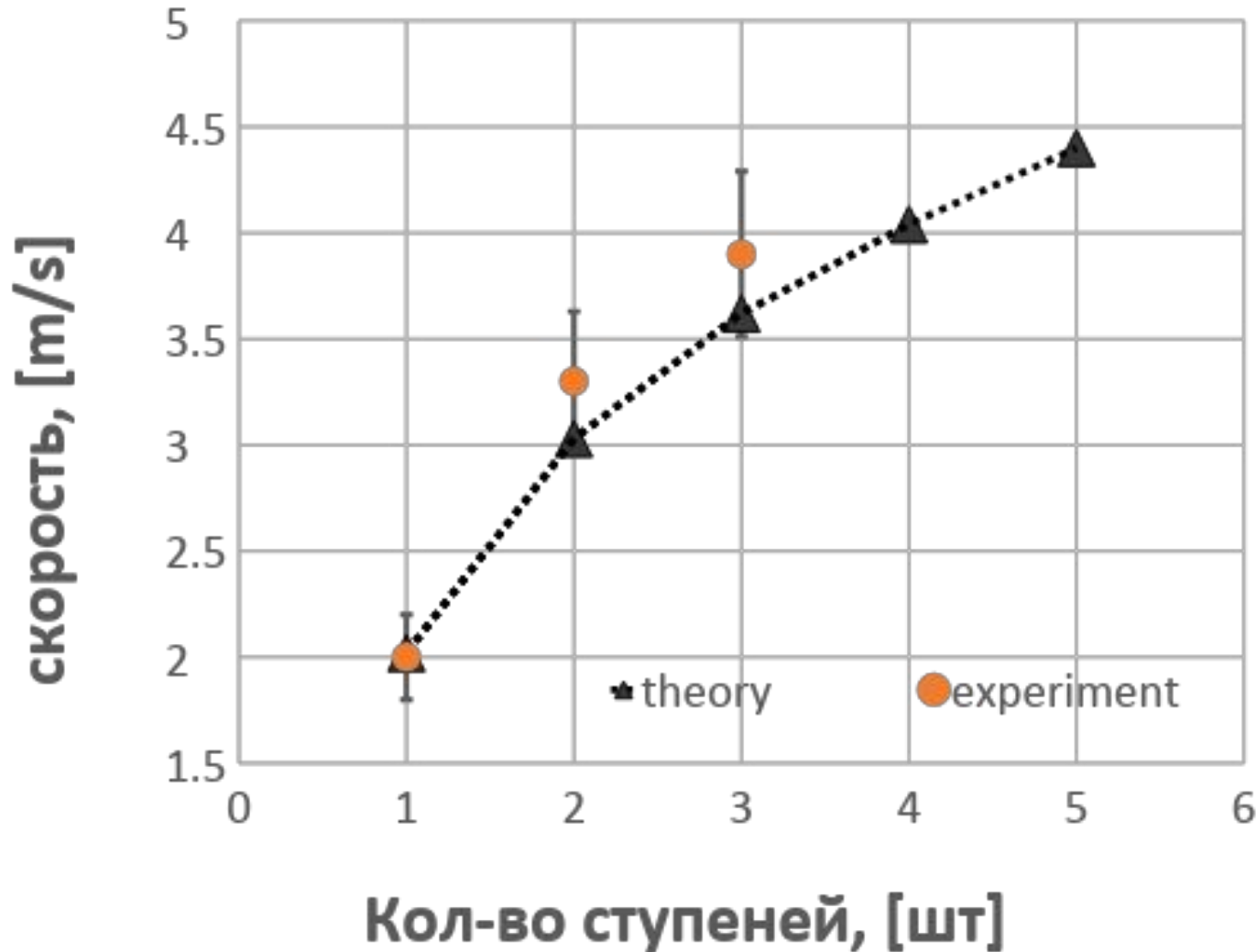
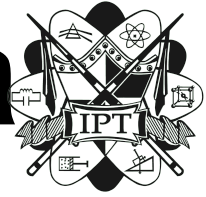
- Большое трение;
- Значимость вращательной составляющей;



240 fps



Многоступенчатая установка

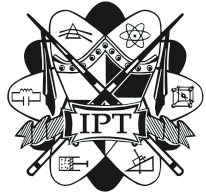


Параметры установки::

- Количество шариков после магнитов: 3 шт;
- Радиус шариков = 4,7 мм;
- Постоянный тип кубических магнитов;



Выводы



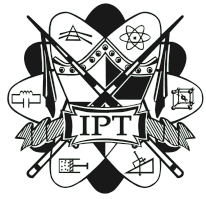
- Положение магнита: в начале ряда

- Оптимальный радиус: наименьший ($r=3,25$ мм)

- Оптимальное количество шариков: 5 (для оптимального радиуса)

- Макс. скорость (для одной ступени) = $2,7 (\pm 10\%)$

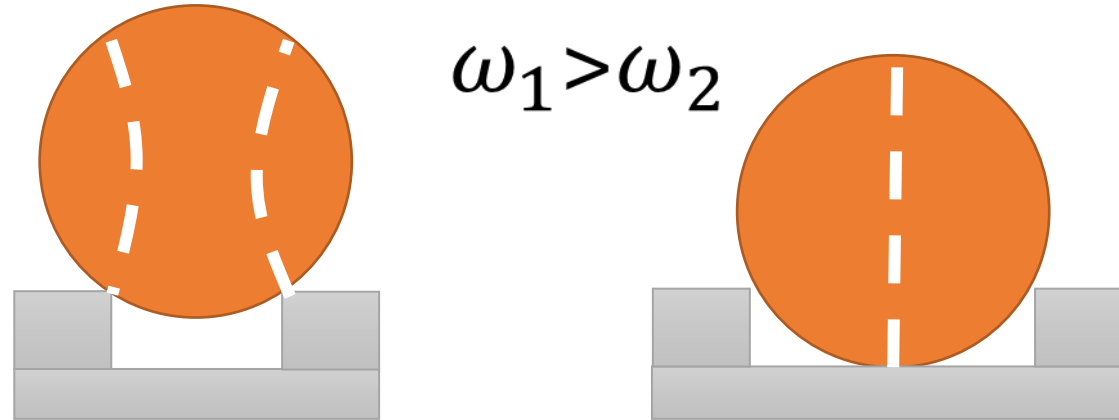
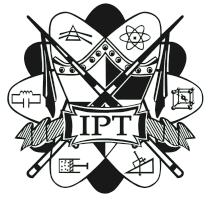
- Многоступенчатая установка: $2 \rightarrow 3,3 \rightarrow 3,9$ м/с



Спасибо за внимание

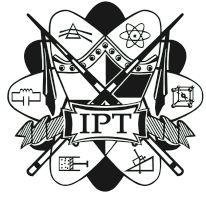


Приложение 1

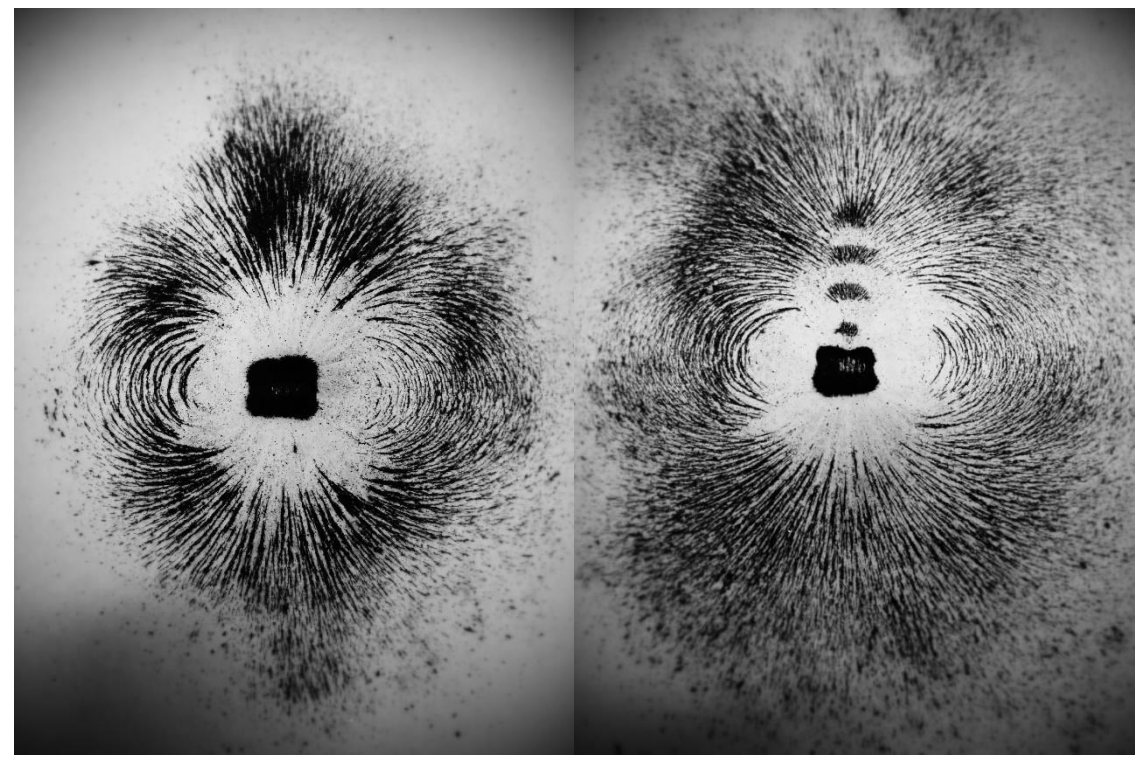
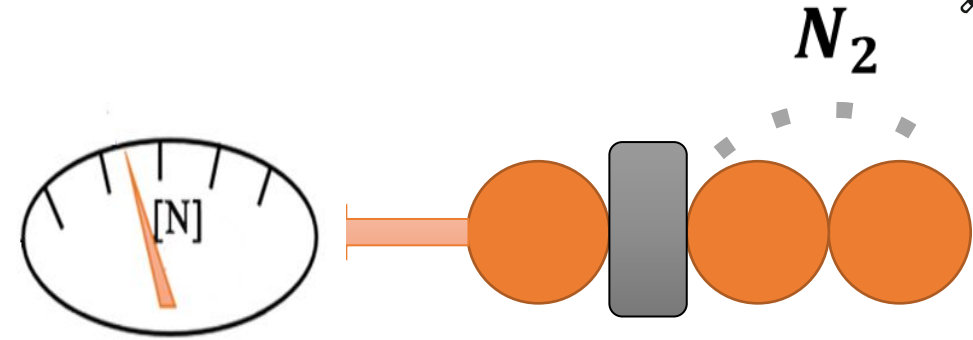
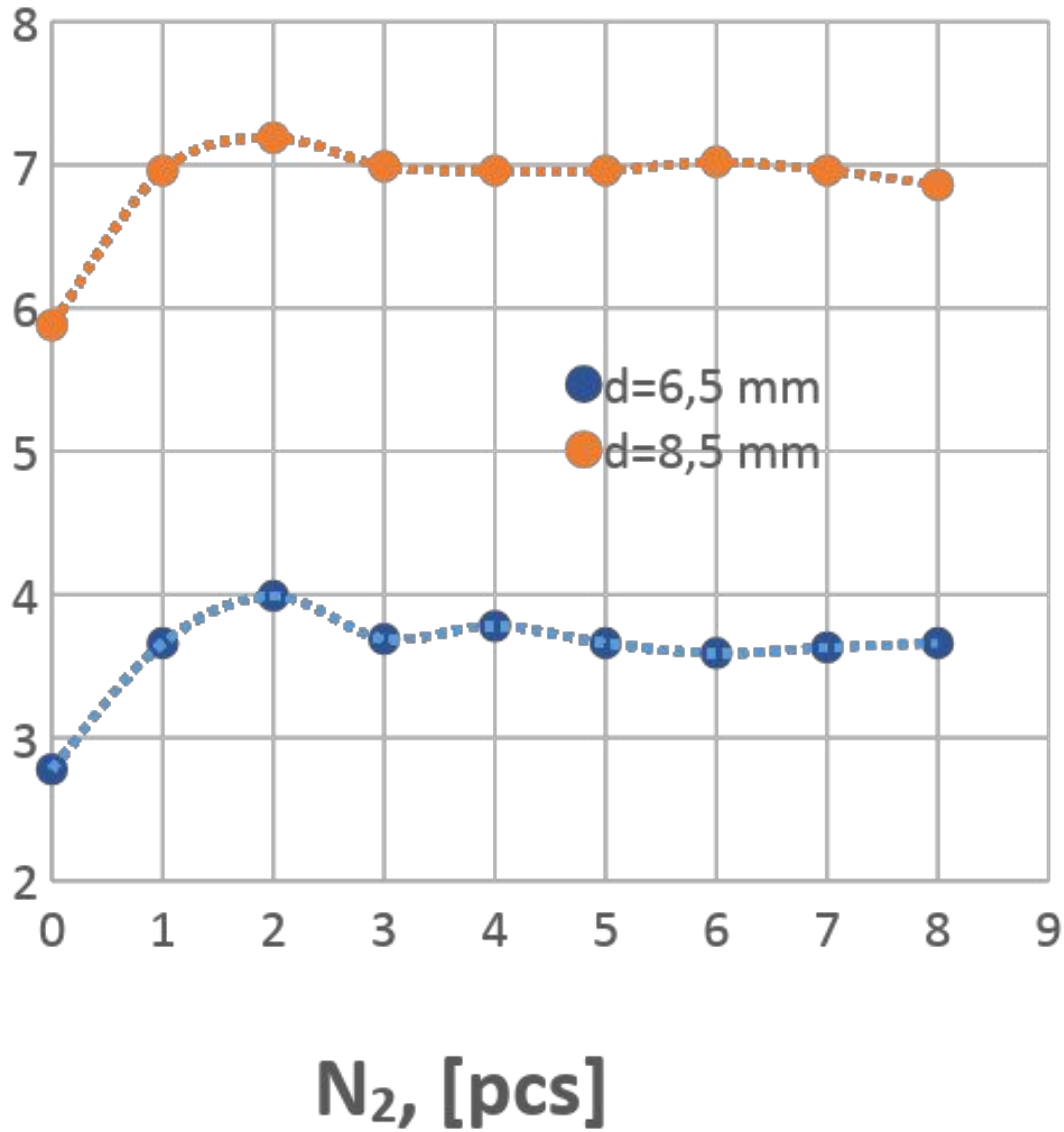




Приложение 2

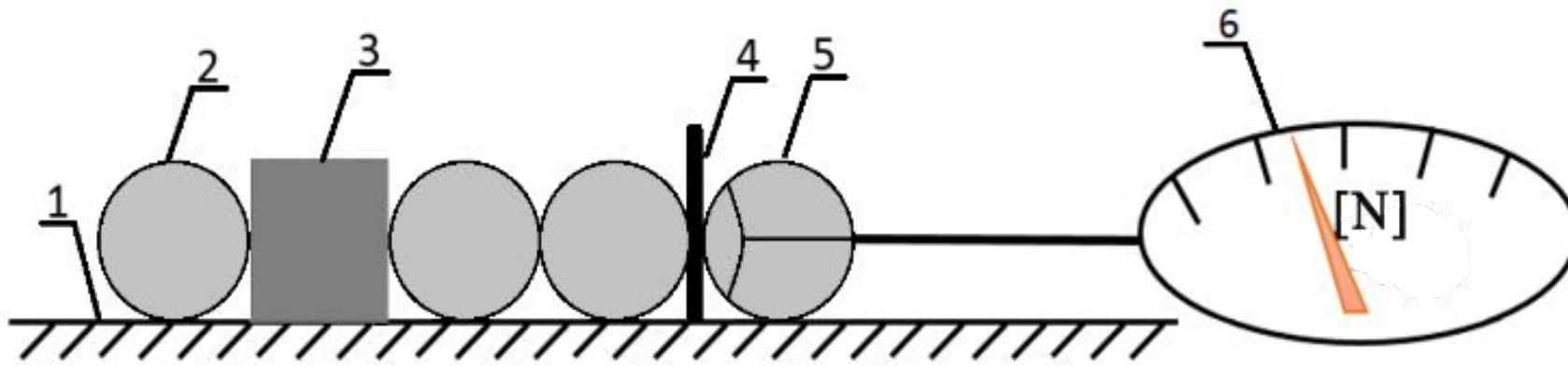
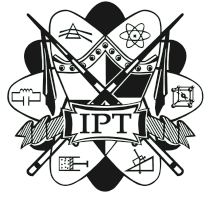


max $F_1(n)$, [N]

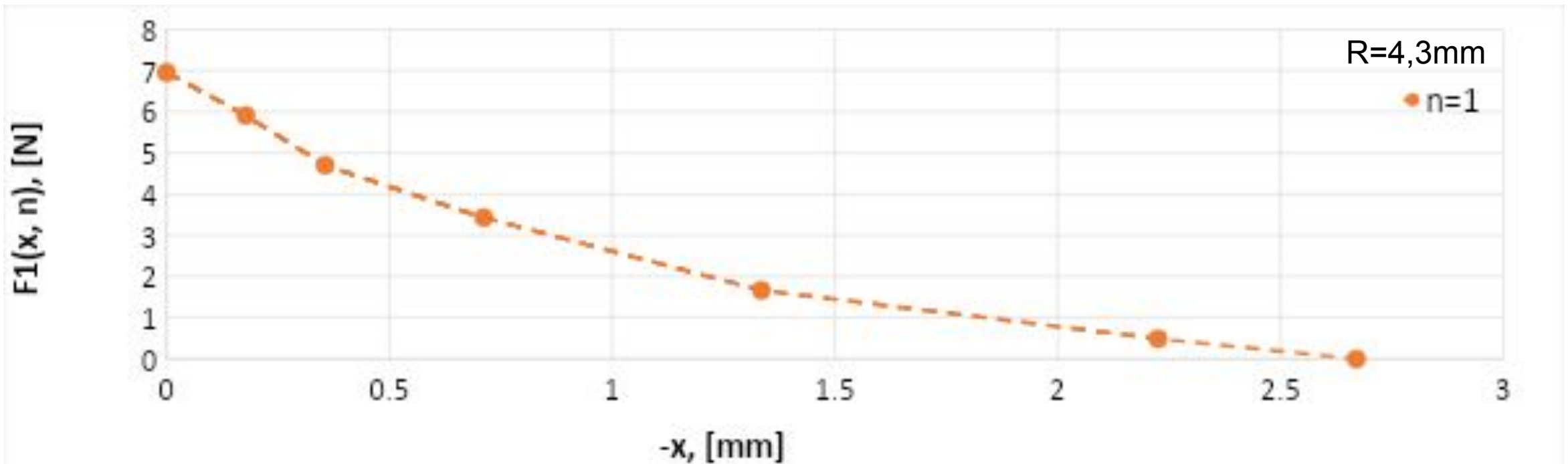




Приложение 2

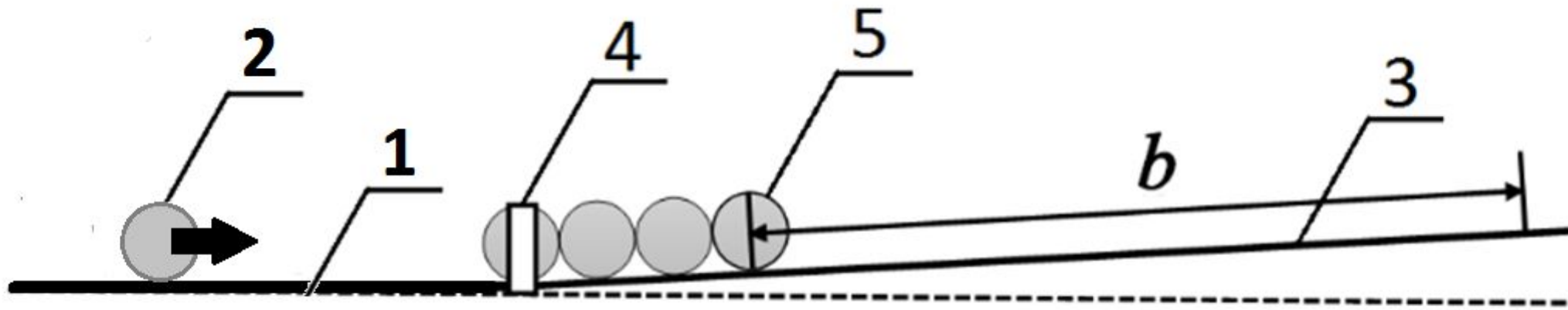
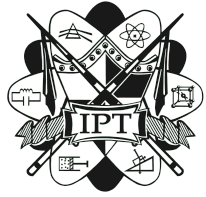


- 1 – основание;
- 2 – ударяющий шар;
- 3 – магнит;
- 4 – бумажн. проставки;
- 5 – отлетающий шарик;
- 6 – динамометр.





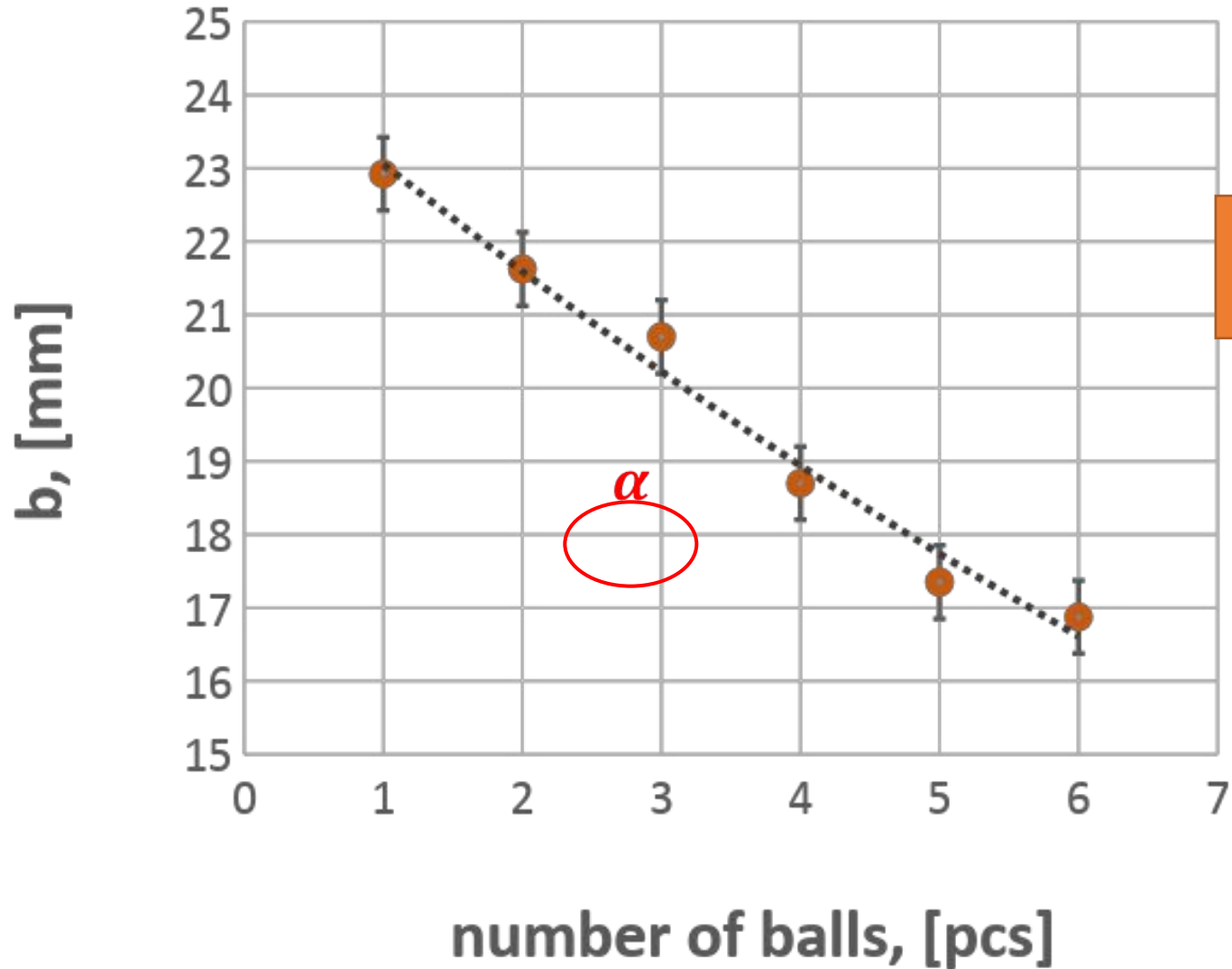
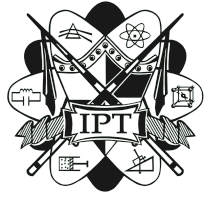
Приложение 3



- 2 –striking ball
- 3 –duct (groove)
- 4 – fixed ball
- 5 –pulling off ball



Appendix 3



$$\alpha = e^{-k}$$

f. e.: $\alpha = e^{-0,066} \approx 0,94$

Parameters of the setup:

- $R_{\text{ball}} = 4,7\text{mm};$
- Slope angle = 10°