



Кубок ЛФИ

9.s02.epilogue



*Люди верят только тогда, когда им интересно.
Лучше уйти раньше, чем наскучишь.*

Элизабет Гоудж. «Маленькая белая лошадка в серебряном свете луны»

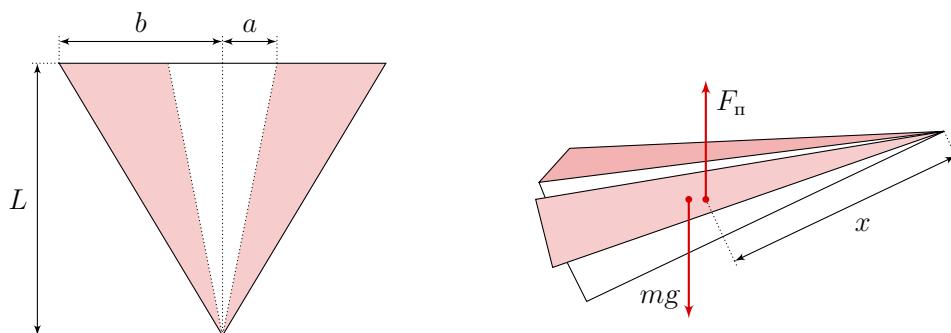
Эпилог

Каждый из нас делал бумажные самолётики и смотрел на то, как они летают. Мы часто вспоминаем это прекрасное время и предлагаем вам вспомнить его вместе с нами.

Задание

Из листов офисной бумаги А4 создадим самолёт. Чертёж его развёртки представлен на рисунке, соотношения тактико-технических характеристик следующие:

$$\frac{a}{L} = \frac{2}{15}; \quad \frac{b}{L} = \frac{8}{15}.$$



На самолётик в полёте действуют подъёмная сила, сила тяжести и сила сопротивления воздуха, которой можно пренебречь, когда он летит горизонтально. Пусть точка приложения подъёмной силы находится на расстоянии x от носика самолёта.

1. (9 баллов) Исследуйте зависимость $x(L)$ для не менее 15-ти длин L при $L \geq 8,0$ см. Постройте график этой зависимости.
2. (1 балл) В предположении $x = \xi L$ найдите ξ .

Оборудование. Лист офисной бумаги А4 (поверхностная плотность $\sigma \approx 80 \text{ г/м}^2$), ножницы, линейка и ещё всё, что угодно.

Улётное решение

Соберём наш первый самолётик из бумаги, согласно чертежу, и запустим его. Траектория его полёта показана на рисунке. Сделаем предположение о том, что его носик задирается вверх из-за того, что подъёмная сила имеет ненулевой момент относительно центра масс. Это предположение можно подтвердить, если изменение положения центра масс будет влиять на вид траектории.

Изменять центр масс мы можем, если будем прилеплять разное количество пластилина к разным местам самолётика. Также будем считать, что если пластилин находится в желобе посередине самолётика и имеет обтекаемую форму, то он слабо влияет и на подъёмную силу, и на силу сопротивления.

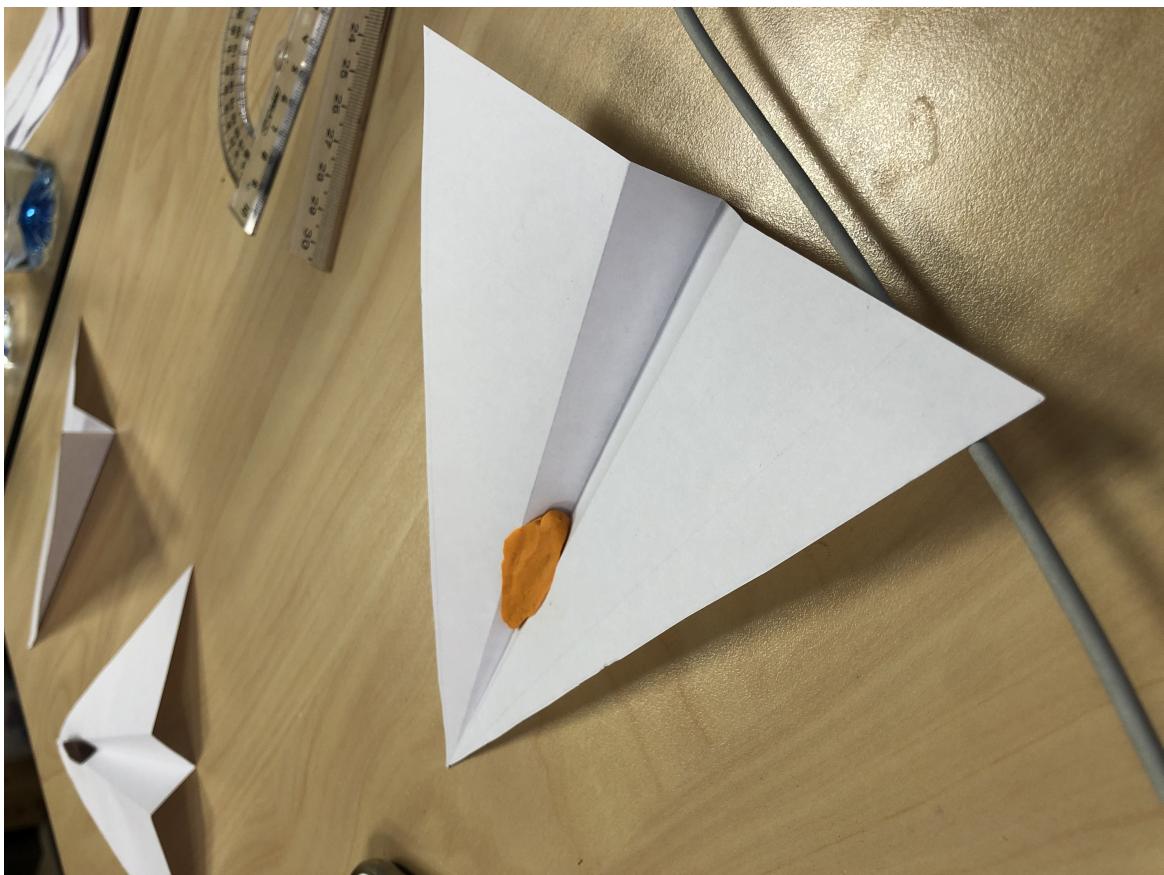


Рис. 1. Пример использования пластилина.

Положение центра масс мы можем экспериментально определить, свешивая самолётик со стола и отмечая ручкой положение, когда он начинает падать. Расстояние от носика до отметки будем измерять линейкой.

Теперь мы можем полноценно экспериментально изучать, как положение центра масс влияет на траекторию, чтобы подтвердить наше предположение о том, что именно баланс моментов определяет поведение самолётика. Результаты этого исследования, которое подтверждает нашу теорию, приведены на фотографиях.



Рис. 2. Свешивание моделей 0, 1 и 2.



Рис. 3. Самолётик 0. Центр масс далеко от носика.



Рис. 4. Самолётик 1. Центр масс чуть дальше от носика, чем точка приложения.



Рис. 5. Самолётик 2. Центр масс близко к носику.

Видно, что положение центра масс существенно влияет на траекторию. Сами траектории мы можем качественно разделить на три типа:

1. носик задирается вверх и полёт прерывается;
2. носик немного задирается вверх, но полёт продолжается;
3. носик не задирается вверх и самолётик летит по дуге.

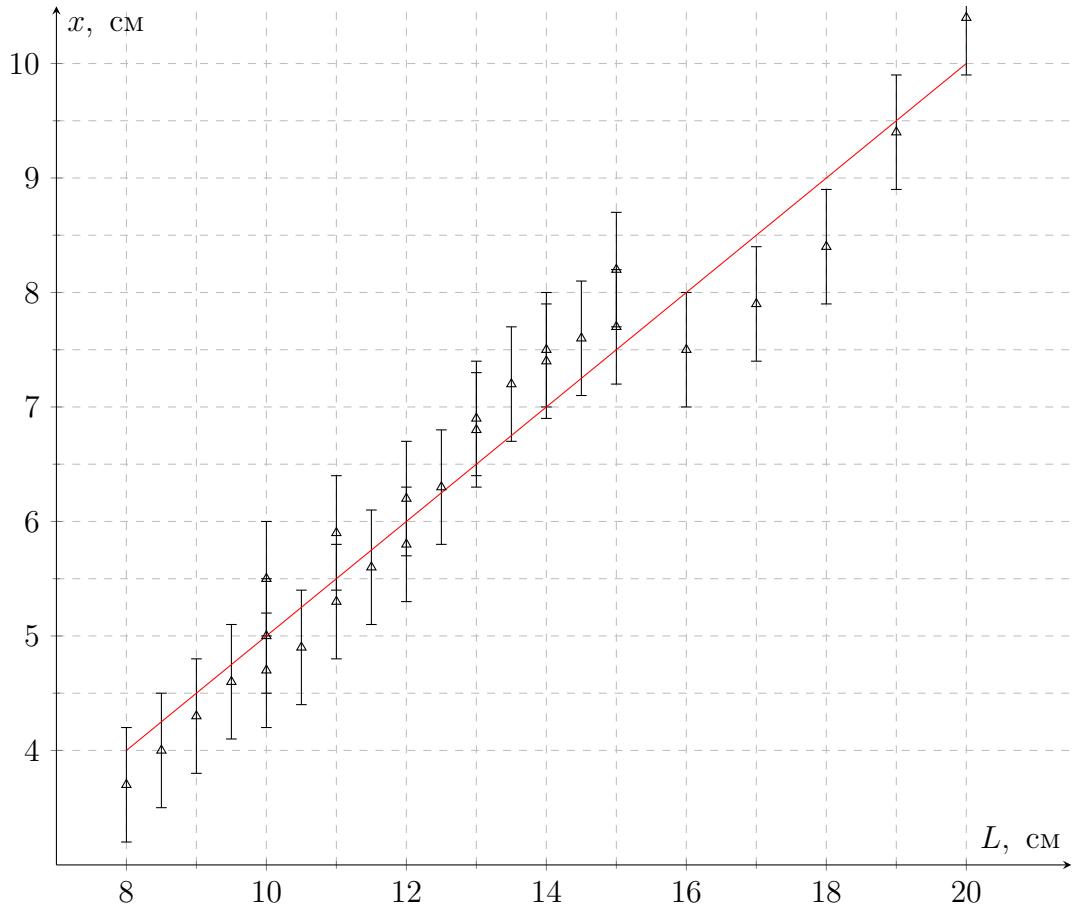
Таким образом для поиска точки приложения подъёмной силы нам нужно искать самолётики с траекториями 2-го типа, либо промежуточными между 2-ым и 3-им, такие траектории назовём «хорошими». В таком случае, если наблюдается «хорошая траектория», мы можем утверждать, что точка приложения подъёмной силы совпадает с центром масс.

Теперь будем экспериментировать с положениями центра масс, которые дают «хорошую» траекторию. Оказывается, что стабильным «хорошим» траекториям соответствует интервал положений центра масс $\pm 0,5$ см, поэтому будем считать, что x лежит в промежутке $x_{цм} \pm 0,5$ см.

Остается понять, какой диапазон L мы можем изучить. Размеры самолётика ограничены размерами листа, из которого мы его делаем, поэтому $L \leq 20$ см, и изучаемый интервал — $L \in [8, 20]$ см.

Проведём измерения и построим график $x(L)$. На данном графике представлены результаты изучения 5-ти разных моделей самолётиков, изменение L у которых проводилось за счёт отрезания полосок шириной 0,5 см или 1 см от хвоста. Понятно, что в таком случае соотношение параметров a/L и b/L остаётся постоянным.

График $x(L)$



Из графика получим, что $\xi \approx 0,5$.