

# Road to IPhO

## Изгиб линейки синей

**В данной задаче требуется оценка погрешностей!**

### Оборудование

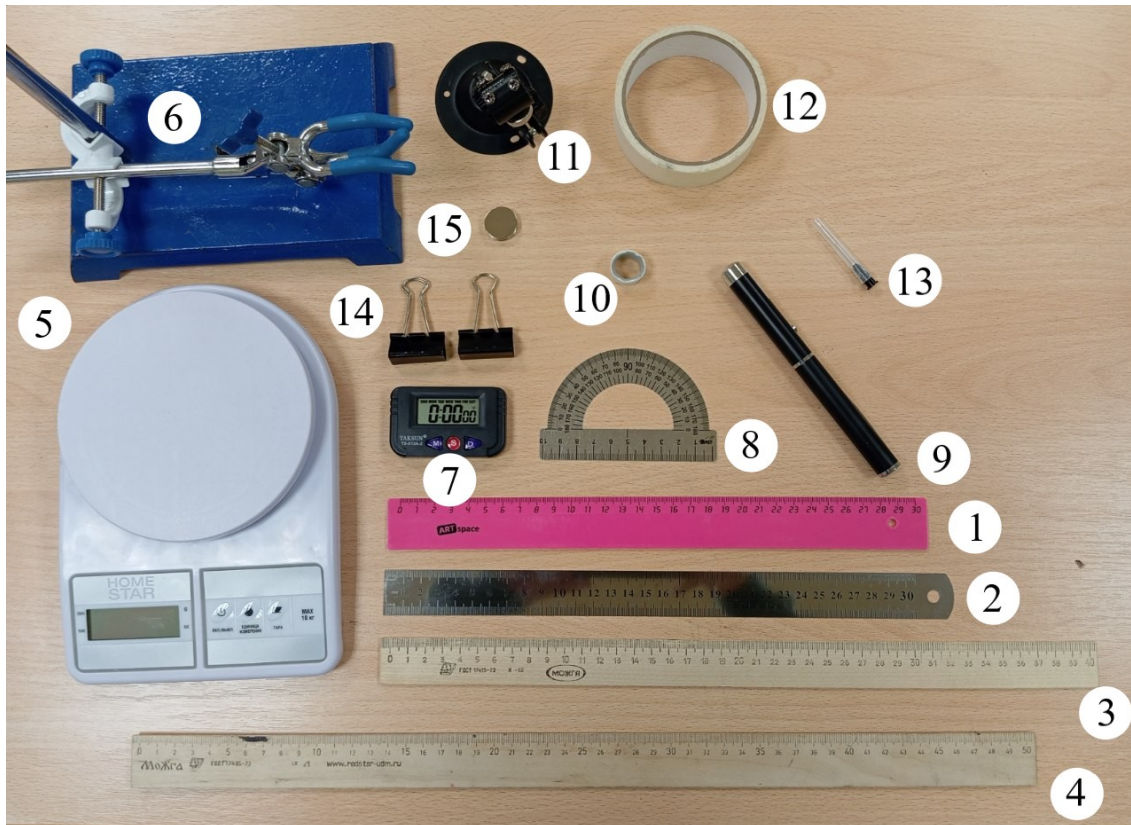


Рис. 1

1. Пластиковая линейка 30 см
2. Металлическая линейка 30 см
3. Линейка деревянная 40 см
4. Линейка деревянная 50 см
5. Весы электронные
6. Штатив с лапкой и муфтой
7. Секундомер
8. Транспортир
9. Лазер
10. Зажим для лазера
11. Держатель для лазера
12. Малярный скотч
13. Игла
14. Канцелярский зажим (×2)
15. Магнит (×2)

# Road to IPhO

## Теоретическая справка

В этой задаче вам предстоит изучить изгибную деформацию. Под изгибной деформацией понимают искривление осей различных стержней. Изгибная деформация в точке характеризуется радиусом кривизны оси стержня. Для произвольной кривой изогнутой в одной плоскости (см. рис. 2) радиус кривизны рассчитывается как отношение малой длины дуги кривой  $dl$  к величине изменения угла направления касательной к ней  $d\alpha$ :

$$R = \frac{dl}{d\alpha}. \quad (1)$$

Величину  $R^{-1}$  обратную радиусу кривизны называют кривизной.

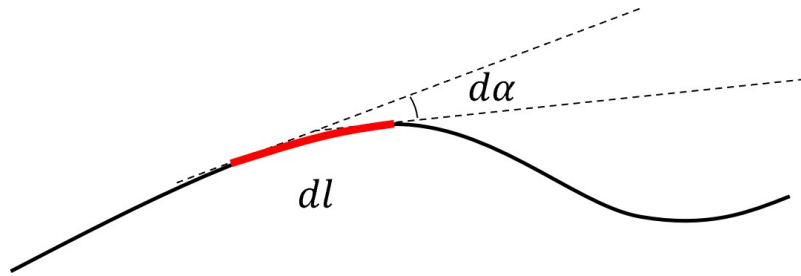


Рис. 2. К определению радиуса кривизны в точке кривой линии

Если рассмотреть небольшой кусочек стержня (рис. 3), то под действием изгибающего момента  $M$  он искривляется так, что часть его слоев растягивается, а часть сжимается. Некоторая линия внутри стержня остается недеформируемой. За счет изгиба в сечении стержня возникают силы упругости, создающие момент сил относительно недеформируемой линии. Этот момент сил уравнивает момент внешних сил, из за которого возникает изгиб.

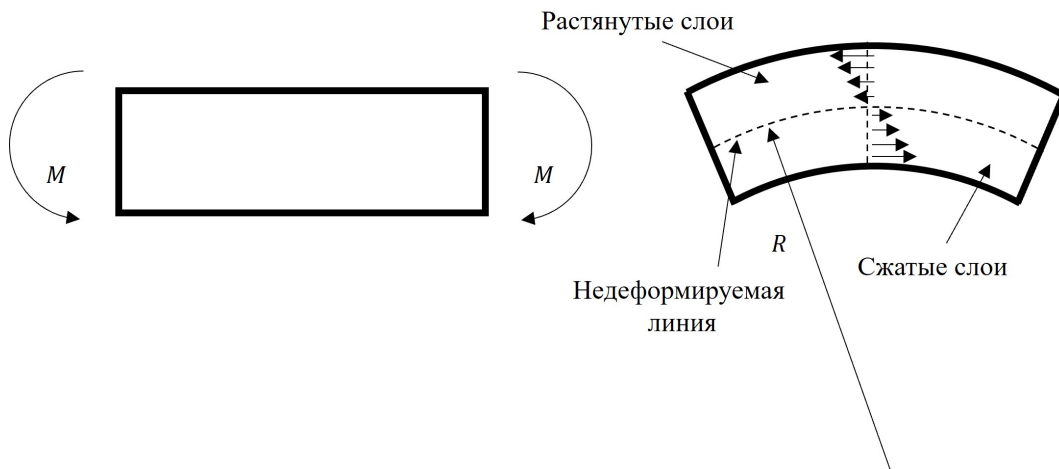


Рис. 3. Изгиб участка стержня

Закон Гука для упругих изгибных деформаций стержня состоит в том, что кривизна малого кусочка стержня пропорциональна изгибающему моменту сил:

$$M = \frac{B}{R}, \quad (2)$$

где  $\frac{1}{R}$  – кривизна малого кусочка стержня,  $M$  – изгибающий момент сил.

Будем называть коэффициент пропорциональности изгибной жесткостью стержня.

Типичным примером изгибной деформации является изгиб балки с одним жестко закрепленным горизонтальным концом под действием силы, приложенной к ее второму концу (рис. 4).

# Road to IPhO

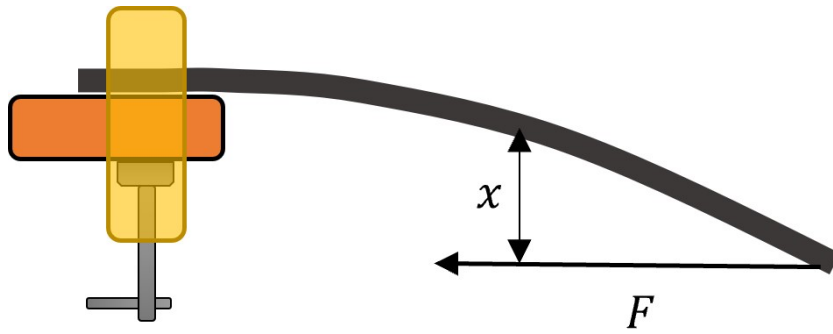


Рис. 4. Изгиб участка стержня

В этом случае балка деформируется неоднородно, то есть ее кривизна в каждой точке неодинакова. Изгибный момент внешних сил, действующих на сечение балки, на расстоянии  $x$  от линии действия силы  $F$ , может быть вычислен как:

$$M = Fx. \quad (3)$$

То есть в этом случае, если балка деформируется упруго, кривизна балки будет прямо пропорционально зависеть от  $x$ .

## Теоретическая часть (2 балла)

Если положить длинную балку на цилиндрическую поверхность, так чтобы центр балки касался поверхности, и вывести из состояния равновесия, то балка начнет колебаться, качаясь на цилиндрической поверхности.

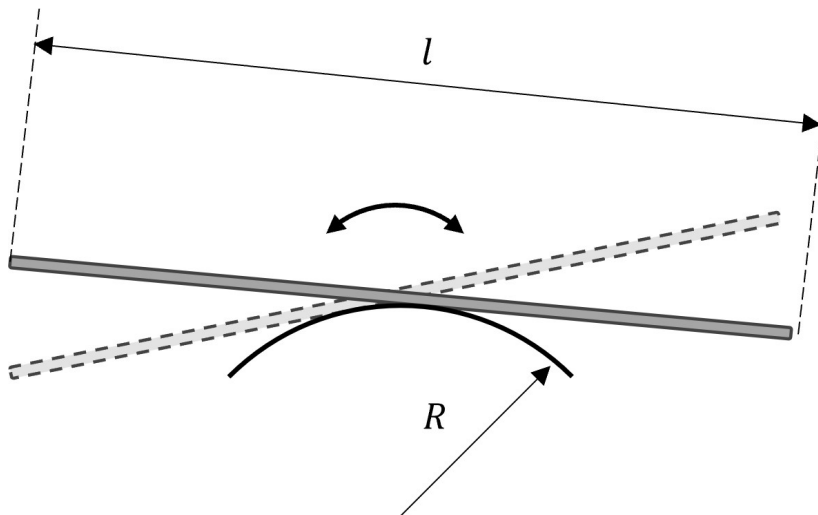


Рис. 5

**A1** Получите выражение для периода таких колебаний. Выразите ответ через  $l$ ,  $g$  и  $R$ .

**2.0**

# Road to IPhO

## Экспериментальная часть

### Часть В. Колебательный метод (10 баллов)

В этой части задачи используйте только оборудование 1, 4, 5–7, 12.

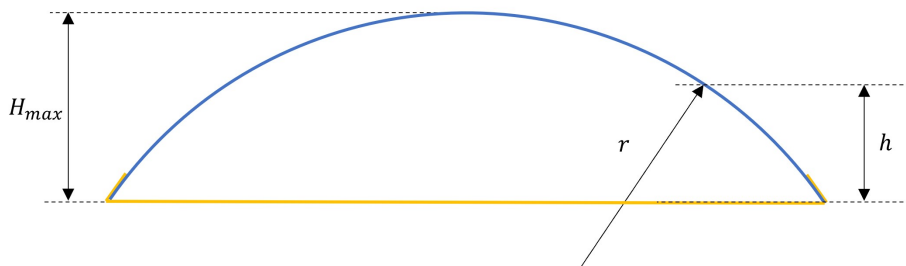


Рис. 6. Исследование кривизны линейки

**В1** Стяните скотчем два конца пластиковой линейки (рис. 6). Прделайте это так, чтобы к скотчу была обращена сторона линейки с делениями. Расстояние между наиболее удаленной от скотча точки линейки и полоской скотча должно составить в этом упражнении  $H_{\max} = 9.5$  см. Линейка будет деформирована неоднородно. Измерьте зависимость кривизны  $r^{-1}$  поверхности линейки в зависимости от расстояния  $h$  между поверхностью и полоской скотча **2.7**

**В2** Постройте график исследованной зависимости. Как должен вести себя график данной функции теоретически? Можно ли сказать, что полученные экспериментальные данные соответствуют теоретическим предположениям? **2.3**

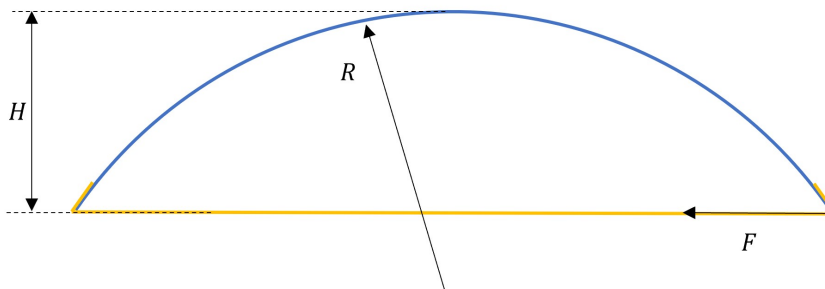


Рис. 7. Исследование изгибной жесткости линейки

**В3** Для разных степеней стягивания линейки (рис. 7) измерьте кривизну  $R^{-1}$  поверхности линейки в максимально удаленной от скотча точке, измерьте силу стягивания концов линейки  $F$  и расстояние  $H$  между максимальной удаленной от скотча точки поверхности линейки и скотчем. Проведите измерения для нескольких точек из диапазона высот  $H$  от 0 до  $H_{\max}$ . **2.6**

**В4** Рассчитайте для каждой исследованной степени изгиба линейки величину изгибного момента  $M$ , действующего на максимально удаленную от скотча точку линейки. **0.7**

**В5** Постройте график зависимости  $R^{-1}$  от  $M$ . Определите изгибную жесткость линейки  $B$ . **1.7**

### Часть С. Оптический метод (8 баллов)

В этой части задачи используйте только оборудование 1–3, 5, 6, 9–15.

**С1** Повторите пункты В1–В5. **8.0**