

Условие

Задача 9-2. «Механический сканер»

«Организация участвует в тендере на изготовление и поставку опор ВЛ 220 кВ за границу. Проектируемый район поставки опор отличается суровым климатом (ветровой напор 100 даН/мм², толщина стенки гололёда 35 мм, и прочее...). Необходимо провести механический расчет опор, с учетом климатических особенностей местности, куда они будут устанавливаться, после чего сравнить действующие нагрузки на опору и нагрузки, которые может нести опора.»

Приборы и оборудование: учебник физики для 10 класса; деревянная линейка длиной 20 см; пружинный динамометр; пластиковая бутылка питьевой воды 0,5 литра; тонкая нить 10 м, намотанная на заготовку (бутылку); двойной лист бумаги в клеточку с нанесенными координатами и рисунком (измерительный бланк).

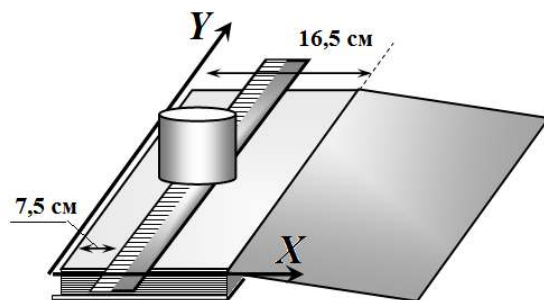
Вам предлагается исследовать распределение нагрузки на опору вдоль оси ОХ при благоприятных погодных условиях. В качестве опоры у вас есть 120 листов учебника физики без верхней обложки, а в качестве нагрузки — пластиковая бутылка воды объемом 0,5 л, поставленная на середину линейку как показано на рисунке.

Задание 1. Определите вес нагрузки (линейки и пластиковой бутылки с водой).

Задание 2. Определите коэффициент трения нити о лист бумаги учебника.

Задание 3. На страницу 3 (не забудьте открыть книжку!) положите линейку, а на нагрузку (пластиковую бутылку с водой). Измерьте распределение сил давления $N(x)$ между страницами 243 и 244.

Подсказка. Попробуйте вытаскивать нить, протянутую между указанными страницами в нужном месте!



Постройте график полученной зависимости.

Задание 4. Проведите анализ полученной зависимости: - определите область максимальной нагрузки на опору и объясните результат; - сравните интервал распределения нагрузки в верхней и нижней части опоры с учетом погрешности измерений; - проверьте правильность полученного результата, сравнив суммарную нагрузку в верхней части опоры с суммарной нагрузкой в нижней части опоры.

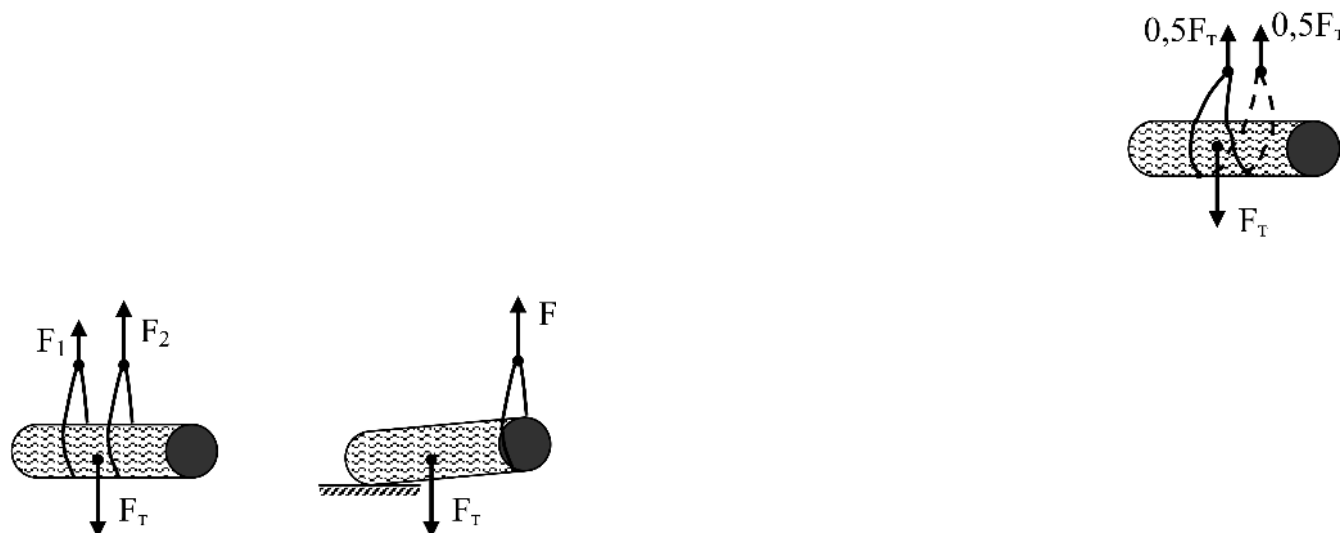
Решение

Задание 9-2 Механический сканер

Задание 1. Для нахождения веса нагрузки предпочтительнее использовать метод, показанный на рисунке 4, т. к. из-за профиля бутылки нам невозможно уравнивать силу F_1 , действующую

на руку, и силу F_2 , действующую на динамометр. На рис.3 мы с большой погрешностью определяем ось вращения бутылки. При взвешивании бутылки на рис.4 силы, действующие на динамометр и руку, автоматически уравниваются из-за малости трения качения (при поднятии или опускании руки и динамометра показание динамометра не изменяются).

$0,5F_T = (2,7 \pm 0,1)$ Н, $F_T = (5,4 \pm 0,2)$ Н Весом линейки можно пренебречь.



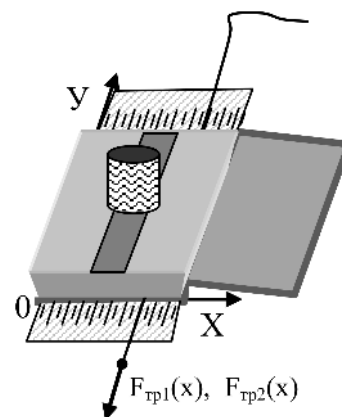
Задание 2. Обмотаем линейку нитью с шагом около 0,3 см, а затем в обратном направлении намоткой нити прикрепим бутылку к линейке.

$$\mu = \frac{F_{Tp}}{F_T} = \frac{1,2 \pm 0,1}{5,4 \pm 0,2}, \quad \mu = 0,22 \pm 0,03$$

Задание 3. Для построения графика распределения

силы давления нагрузки вдоль оси ОХ поместим двойной лист бумаги (рис.1) между 245 и 246 страницами учебника. С шагом 0,5 см будем тянуть нить с помощью динамометра, располагая ее параллельно оси ОУ. Результаты измерений $F_{Tp1}(X)$ занесем в таблицу. Снимем нагрузку и повторим измерения. Результаты измерений $F_{Tp2}(X)$ занесем в таблицу.

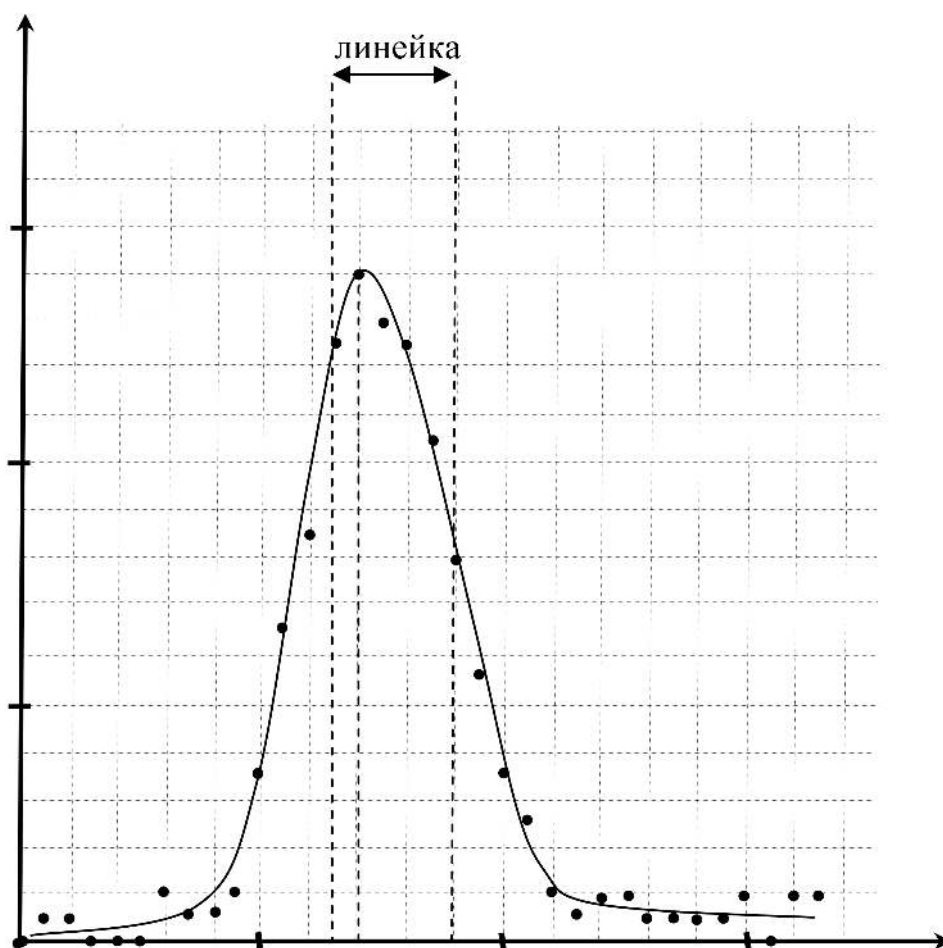
Вычислим силу трения, обусловленную вкладом нагрузки $F_{Tp1}(X) - F_{Tp2}(X)$. Распределение нагрузки на опору ТР1ТР2 $F(x) - F(x)$ вычислим по формуле $N = \frac{F_{Tp1}(x) - F_{Tp2}(x)}{2\mu}$ (сила трения действует на верхнюю и нижнюю поверхность нити) и результаты занесем в таблицу.



$X \pm 0,2 \text{ см}$	$F_{\text{тр}1}(x) \pm 0,05 \text{ Н}$	$F_{\text{тр}2}(x) \pm 0,05 \text{ Н}$	$(F_{\text{тр}1} - F_{\text{тр}2}) \pm 0,1 \text{ Н}$	$N = \frac{F_{\text{тр}1}(x) - F_{\text{тр}2}(x)}{2\mu} \text{ Н}$
0,5	0,2	0,15	0,05	0,1
1	0,2	0,15	0,05	0,1
1,5	0,2	0,2	0	0
2	0,2	0,2	0	0
2,5	0,2	0,2	0	0
3	0,3	0,2	0,1	0,2
3,5	0,3	0,25	0,05	0,1
4	0,45	0,3	0,05	0,1
4,5	0,5	0,4	0,1	0,2
5	0,7	0,4	0,3	0,7
5,5	0,9	0,35	0,55	1,3
6	1,1	0,35	0,75	1,7
6,5	1,5	0,4	1,1	2,5
7	1,6	0,35	1,25	2,8
7,5	1,5	0,35	1,15	2,6
8	1,4	0,3	1,1	2,5
8,5	1,2	0,3	0,9	2,1
9	1	0,3	0,7	1,6
9,5	0,8	0,3	0,5	1,1
10	0,6	0,3	0,3	0,7
10,5	0,5	0,3	0,2	0,5
11	0,4	0,3	0,1	0,2
11,5	0,35	0,3	0,05	0,1
12	0,35	0,25	0,1	0,2
12,5	0,25	0,15	0,1	0,2
13	0,15	0,1	0,05	0,1
13,5	0,15	0,1	0,05	0,1
14	0,15	0,1	0,05	0,1
14,5	0,15	0,1	0,05	0,1
15	0,2	0,1	0,1	0,2
15,5	0,3	0,3	0	0
16	0,4	0,5	0,1	0,2
16,5	0,7	0,6	0,1	0,2

Для построения графика $N(X)$ доверительными точками будем считать значения разности сил трения равные и большие погрешности $\Delta F_{\text{тр}} = 0,1 \text{ Н}$, что соответствует интервалу $4 \text{ см} < \ell_2 < 13 \text{ см}$

Задание Н 3 2 1 0 5 7 10 15 X, см $\ell = 13 - 4 = 9 \text{ см}$ 4.



1) Из графика $N(X)$ видно, что максимум нагрузки на нижнюю часть опоры находится в интервале $6,5 \text{ см} < \Delta X < 7,5 \text{ см}$ и смещен от координаты соответствующей оси симметрии нагрузки $X_0 = \frac{6,5+9}{2} = 7,75 \text{ см}$. Причиной такого смещения максимума нагрузки является наличие крепления края листов бумаги между собой (наличие переплета). Причиной смещения максимума нагрузки может являться и наклон поверхности стола. В нашем эксперименте наклон стола вдоль оси OX отсутствовал (проверка осуществлялась с помощью отвеса).

2) Из-за деформации прогиба листов учебника распределение нагрузки, приложенной к верхней части опоры в интервале $6,5 \text{ см} \leq \Delta X_1 \leq 9 \text{ см}$, приходится на опору $4 \text{ см} < \Delta X_2 < 13 \text{ см}$.

$$F_{\text{упр}} \Delta mg \quad F_{\text{упр}} \Delta X_1 \approx 0,5 \text{ см}$$

Сила нормального давления на нить N складывается из части нагрузки Δmg и вертикальной проекции сил упругой деформации $F_{\text{упр}}$ листов бумаги, которые могут по величине превосходить Δmg . Интервал деформации листов бумаги $\Delta X_1 \approx 0,5 \text{ см}$ при протаскивании нити можно определить с помощью линейки. Если шаг измерений силы трения не совпадает с ΔX_1 , то суммарную нагрузку на единицу длины можно вычислить используя полученный график $N(X)$. При подсчете суммарной силы $\sum N_i$ интервалы деформации не должны перекрываться и находиться на удалении друг от друга.

Определим суммарную нагрузку на единицу длины в верхней α и нижней части β опоры («линейное» давление):

$$\beta = \frac{\sum N_i}{\ell_2} = \frac{0,2 + 0,7 + 1,3 + 1,7 + 2,5 + 2,8 + 2,6 + 2,5 + 2,1 + \dots + 0,2}{13 - 4} = \frac{21}{9} = 2,33 \frac{\text{Н}}{\text{см}}$$

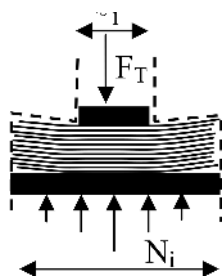
$$\alpha = \frac{F_T}{\ell_1} = \frac{5,4 \text{ Н}}{(9 - 6,5) \text{ см}} = 2,16 \frac{\text{Н}}{\text{см}}, \quad \alpha \approx \beta$$

$$\ell_1 = 9 - 6,5 = 2,5 \text{ см} -$$

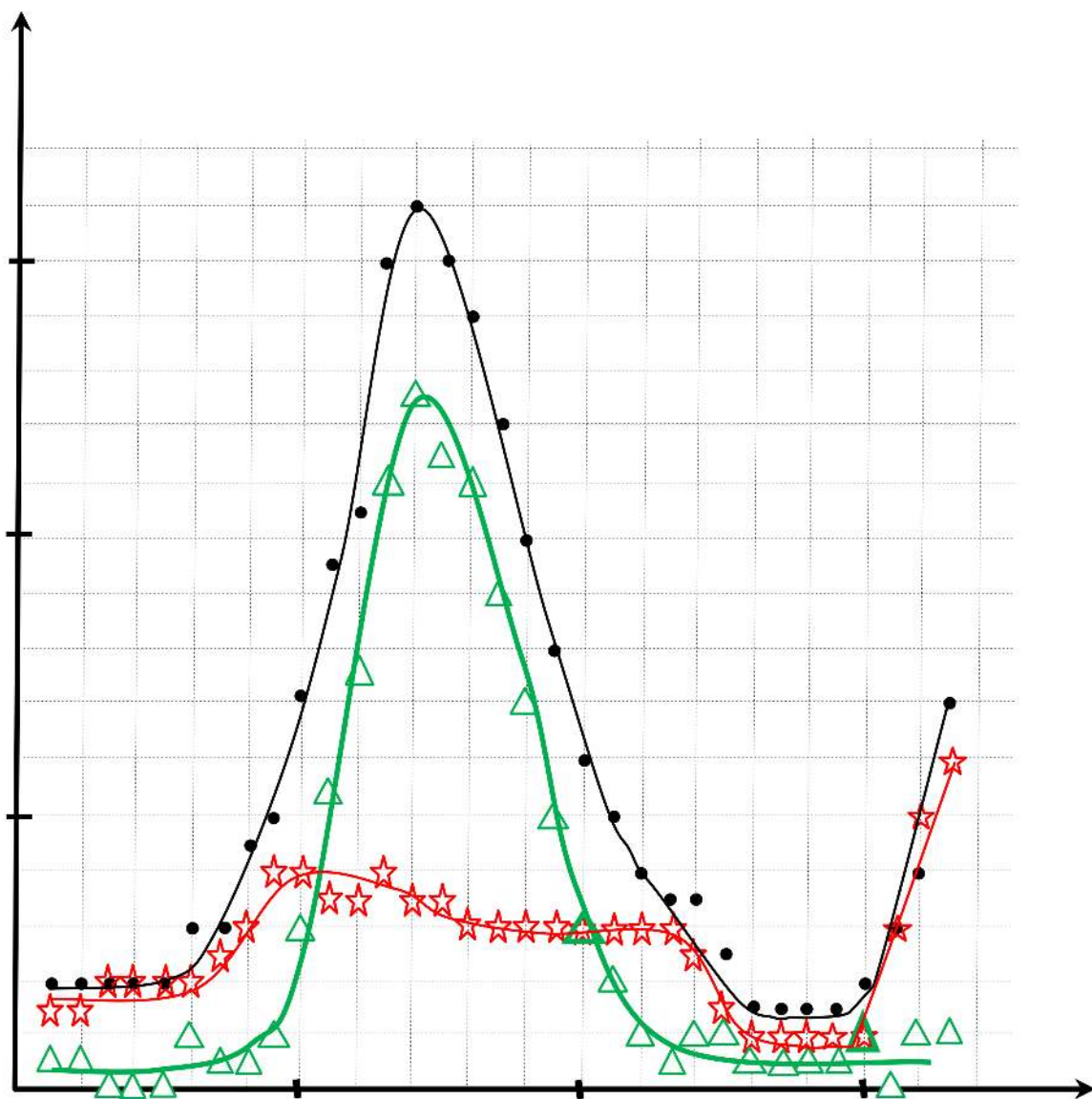
ширина линейки

$$\sum N'_i = \frac{\ell_2}{\ell_1} F_T = \frac{9}{2,5} 5,4 = 19,44 \frac{\text{Н}}{\text{см}} - \text{теория}$$

$$\sum N_i = 21 \text{ Н} - \text{эксперимент}$$



Если «шевелить», протягивая нить, нижнюю опору, то мы получаем механическую модель гидравлического пресса.



На графике изображены зависимости: звездочка - $F_{\text{ТР}2}(X)$, точка - $F_{\text{ТР}1}(X)$, треугольник - $F_{\text{ТР}1}(X) - F_{\text{ТР}2}(X)$