

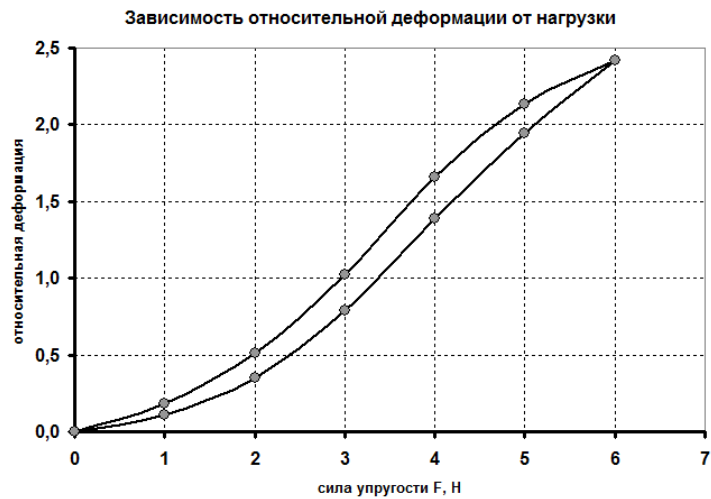
## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТУРА

## Часть 1

Результаты измерений приведены в Таблице 1. В последнем столбце приведены рассчитанные значения относительной деформации  $\varepsilon = (l - l_0)/l_0$ . График зависимости относительной деформации от нагрузки приведен на Рис. 1.

Число грузиков, N	L, см	$\varepsilon$
0	20,8	0,00
1	23,1	0,11
2	28,1	0,35
3	37,2	0,79
4	49,7	1,39
5	61,3	1,95
6	71,2	2,42
5	65,2	2,13
4	55,3	1,66
3	42,1	1,02
2	31,5	0,51
1	24,6	0,18
0	20,8	0,00

Таблица 1



## Часть 2

2.1 Приведенное условие равновесия следует из условия равенства моментов сил упругости и тяжести

$$F(l)a \cos \frac{\varphi}{2} = mga \sin \varphi,$$

где  $\varphi$  - угол отклонения линейки от вертикали.

Учитывая, что  $\sin \varphi = 2 \sin \frac{\varphi}{2} \cos \frac{\varphi}{2}$ , а  $2a \sin \frac{\varphi}{2} = l$ ,

получаем условие (1).

2.2 Для построения указанных графиков необходимо перенормировать длину резинового жгута для каждого значения силы:  $l = \frac{l_0}{L_0} L$ . Графики функции  $f(l) = mg \frac{l}{a}$

являются прямыми линиями, проходящими через начало координат. Требуемые построения проведены на рис. 2.

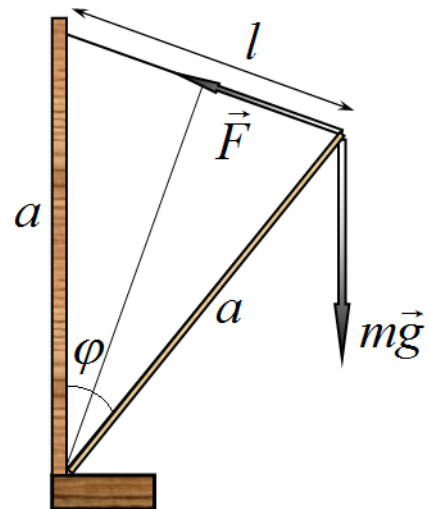


Рис. 2 Расчет положений равновесия

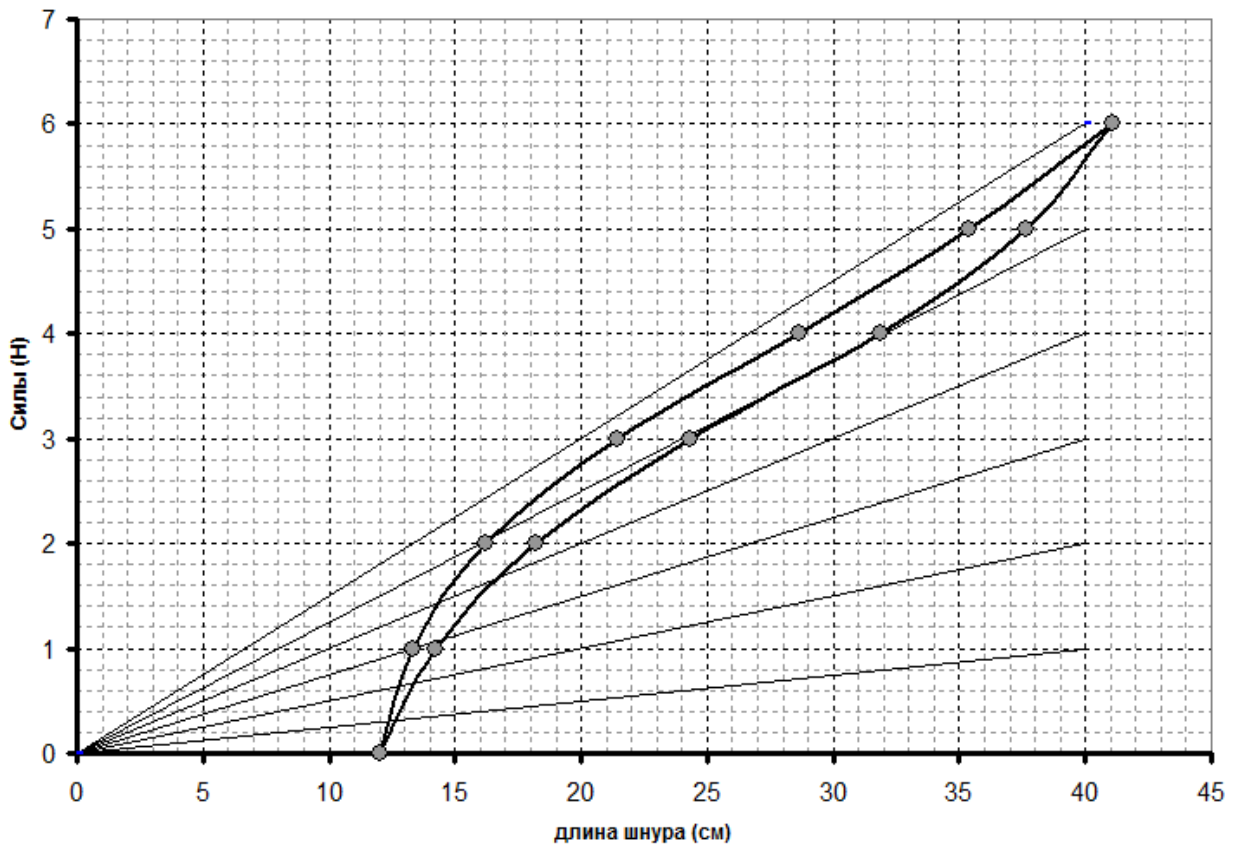


Рисунок 2

Положениям равновесия соответствуют точки пересечения графиков.

В Таблице 2 приведены значения положений равновесия, найденные с помощью графиков на Рис. 2 и измеренные экспериментально. На Рис. 3 построены графики этих зависимостей – совпадение между ними вполне удовлетворительное.

Число грузиков, N	L, эксп	L, расч
0	11,6	12,0
1	11,7	12,5
2	12,0	12,7
3	13,1	13,2
4	14,6	14,0
5	18,□	16,5
6	51,0	47,0
5	48,7	40,0
4	18,2	17,0
3	14,6	14,0
2	13,0	13,5
1	11,8	12,5
0	11,6	12,0

Таблица 2

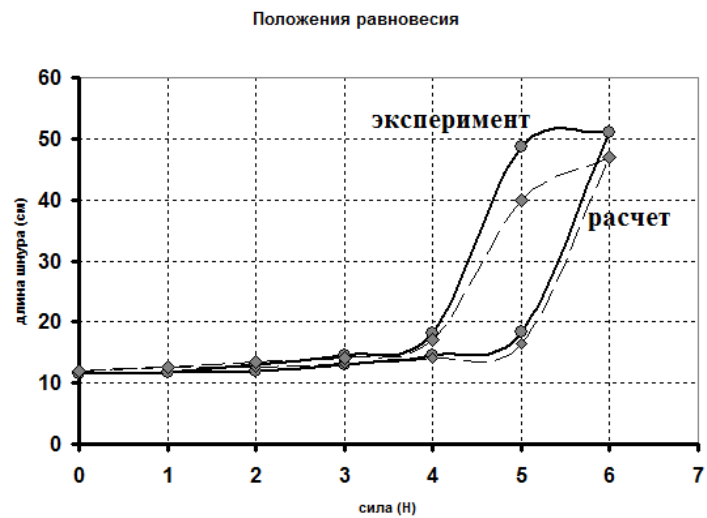


Рисунок 3

### Часть 3. Бистабильность.

Бистабильность возможна, когда прямая  $f(l) = mg \frac{l - \delta}{a}$  имеет три точки пересечения с графиком зависимости силы упругости. Возможный вариант показан на рис. 4. Отметим, что среднее положение равновесия является неустойчивым!

При имеющемся оборудовании бистабильность хорошо наблюдается при 5 или 6 грузах.

Положению равновесия соответствует две длины шнура 13 - 14 см и 36 - 44 см.

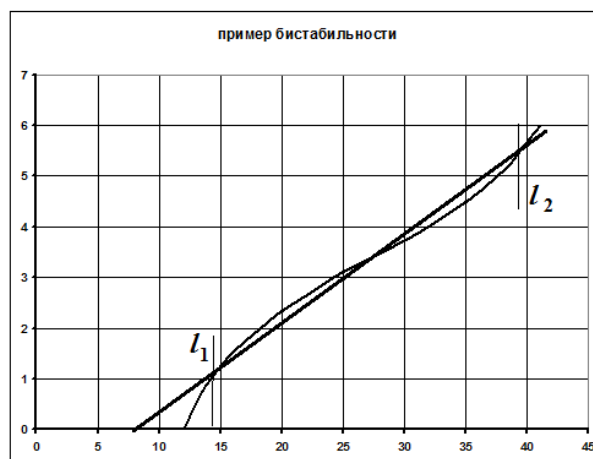


Рисунок 4

### Схема оценивания

	Содержание	Баллы
<b>Часть 1. Растяжение.</b>		<b>4,5</b>
1.1	Проведение измерений: - проведены измерения (12 точек); - получена петля гистерезиса; - получены значения с погрешностью не более 20% - получены значения с погрешностью не более 30%	1 0,5 1,0 (0,5)
1.2	Построение графика зависимости относительного удлинения от нагрузки: - расчет относительного удлинения для всех экспериментальных точек; - построение графика (оси подписаны и оцифрованы; точки нанесены в соответствии с таблицей; проведена сглаживающая кривая)	1  1
<b>Часть 2. Равновесие.</b>		<b>7,5</b>
2.1	Доказательство условия равновесия: - момент силы тяжести; момент силы упругости; - геометрические соотношения и тригонометрические преобразования;	0,5  0,5
2.2	Теоретический расчет длины шнура: - формула для расчета длины по относительному удлинению; - расчет длин для всех значений силы упругости; - построение графика зависимости силы от длины (оси подписаны и оцифрованы, точки нанесены, проведены сглаживающие кривые); - построение 6 прямых;	0,5 0,5  0,5 0,5
2.3	-сняты с графика значения длины (12 точек); - построен график теоретической зависимости длины от массы грузов (оси подписаны и оцифрованы, точки нанесены, проведены сглаживающие кривые);	0,5  0,5
2.4	Проведение измерений: - проведены измерения (10 точек);	1

	<ul style="list-style-type: none"><li>- получена петля гистерезиса (различия при 4 или 5 грузах);</li><li>- получены значения с погрешностью не более 20%;</li><li>- получены значения с погрешностью не более 50%;</li></ul>	0,5 1,0 (0,5)
2.5	Построен график экспериментальной зависимости: <ul style="list-style-type: none"><li>- нанесены точки в соответствии с данными таблицы;</li><li>- проведены сглаживающие кривые.</li></ul>	0,5 0,5
<b>Часть 3. Бистабильность.</b>		<b>3</b>
3.1	Качественное объяснение бистабильности: <ul style="list-style-type: none"><li>- построен схематический график зависимости силы упругости от длины;</li><li>- построена смещенная прямая, имеющая три точки пересечения с предыдущей кривой;</li><li>- отмечены точки устойчивого равновесия;</li></ul>	0,5 0,5 0,5
3.2	Найдены два положения равновесия: <ul style="list-style-type: none"><li>- при массе грузов 500 г (допустимо 600 г);</li><li>- измерены длины резинки в положении равновесия в указанных диапазонах)</li></ul>	1 0,5