

1. Аннотация

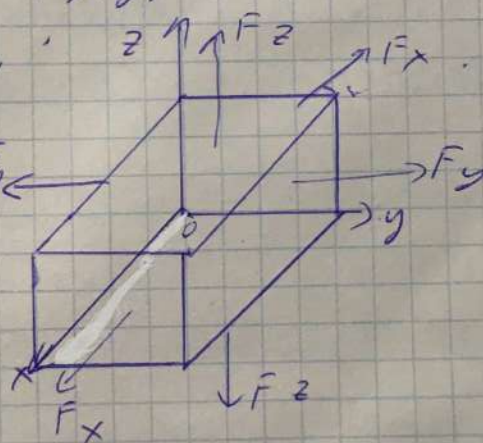
Цель работы: экспериментально получить зависимость между напряжением и деформацией (закон Гука) для 2-х перпендикулярных напряженных состояний упругих тел.

определить направление и число груза; по результатам измерений вычислить модуль Юнга.

2. Теоретические сведения.

Тело однородное изотропное тело имеет форму параллелепипеда. Перпендикулярно к его противоположным граням к телу приложены силы F_x, F_y, F_z . Соотв. напряжения обозначим $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$.

Определим деформации, кот. возникнут под действием этих сил.



Пологая деформации малыми, воспользуемся принципом суперпозиции деформаций

Направим координатные оси параллельно ребрам параллелепипеда. Пусть l_x, l_y, l_z - длины этих ребер

Если бы действовала только сила F_x , то ребро l_x получило бы удлинение Δl_x , определенное соотношением $\frac{\Delta l_x}{l_x} = \frac{\sigma_x}{E}$

Если бы действовала только сила F_y , то размеры l_y и l_z перпендикулярные к оси y , сократились бы. В частности, ребро l_x при этом получило бы отриц. удлинение $\Delta_2 l_x$, которое

можно вычислить по формуле.

$$\frac{\Delta_2 l_x}{l_x} = -\mu \frac{\sigma_y}{E}, \text{ где } \mu - \text{коэф. Пуассона. Модуль}$$

Юнга и коэф. Пуассона μ являются характеристиками упругих св-ва изотропного материала. Все прочие упругие постоянные могут быть выражены через E и μ . Относительное удлинение ребра l_x под действием только одной силы F_2 будет равно $\frac{\Delta_3 l_x}{l_x} = -\mu \frac{\sigma_z}{E}$.

Если все силы действуют одновременно, то согласно принципу суперпозиции малых деформаций результирующее удлинение ребра l_x будет равно

$$\Delta l_x = \Delta_1 l_x + \Delta_2 l_x + \Delta_3 l_x.$$

Аналогично вычисляются удлинения ребер l_y и l_z . В результате получим

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\mu(\sigma_y + \sigma_z)}{E},$$

$$\epsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\mu(\sigma_z + \sigma_x)}{E},$$

$$\epsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} - \frac{\mu(\sigma_x + \sigma_y)}{E}.$$

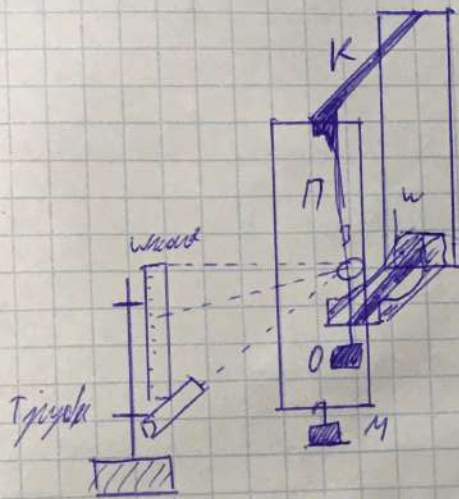
Эти уравнения называются обобщенным законом Гука.

3. Методная измерений.

I. Для определения модуля Юнга используем прибор Кернелевского, схема которого изображена на рис. 1. Вертикальный проводник P , изготовленный из измеренного материала, прикреплен к концу K , а нижний — к упорному, который обозначается шариковой опорой W . На этом же упоре опирается рычаг r , связанный с зеркалом Z .

Таким образом, удлинение проволоки можно измерить по углу поворота указателя.

Напряжение проволоки можно измерить, переиспользуя грузы с площадкой М на площадке О и наоборот. Такая система позволяет исключить влияние деформаций пружины К на точность измерений, так как нагрузка на нее все время остается постоянной.



$$\frac{P}{S} = E \frac{\Delta l}{l}$$

рис. 1.

II. Экспериментальная установка состоит из прочной стойки с опорным призматом А и Б (рис. 2). На ребра призм опирается измеренный стержень (балка) В. В середине стержня на призме Д подвешена площадка П с грузом. Измерять стрелу прогиба можно с помощью индикатора И, закрепленного на подвижной штанге. Полный оборот большой шпильки индикатора соответствует 1 мм и соотносится с делением шкалы индикатора. Модуль Юнга Е материала стержня связан со стрелой прогиба y_{\max} (м.е. перемещения середины стержня) соотношением

$$E = \frac{P l^3}{4 a b^3 y_{\max}}, \text{ где } P - \text{нагрузка, вызывающая}$$

прогиб стержня, l - расстояние между призмами А и Б, a и b - ширина и высота сечения стержня.

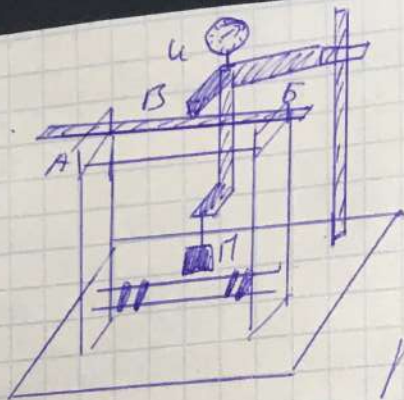


рис. 2.

4. Используемое оборудование.

I. 1) Рамка Кривого.

2) Зеркальная трубка со шкалой $\Delta_{\text{зер}} = 0,05 \text{ см}$

3) микрометр $\Delta_{\text{микро}} = 0,005 \text{ мм}$

4) рулетка $\Delta_r = 0,05 \text{ см}$

II. 1) Штатив для измерения силы

2) Индикатор измерение величины прогиба $\Delta_{\text{ин}} = 0,005 \text{ мм}$

3) линейка $\Delta_{\text{лин}} = 0,05 \text{ см}$

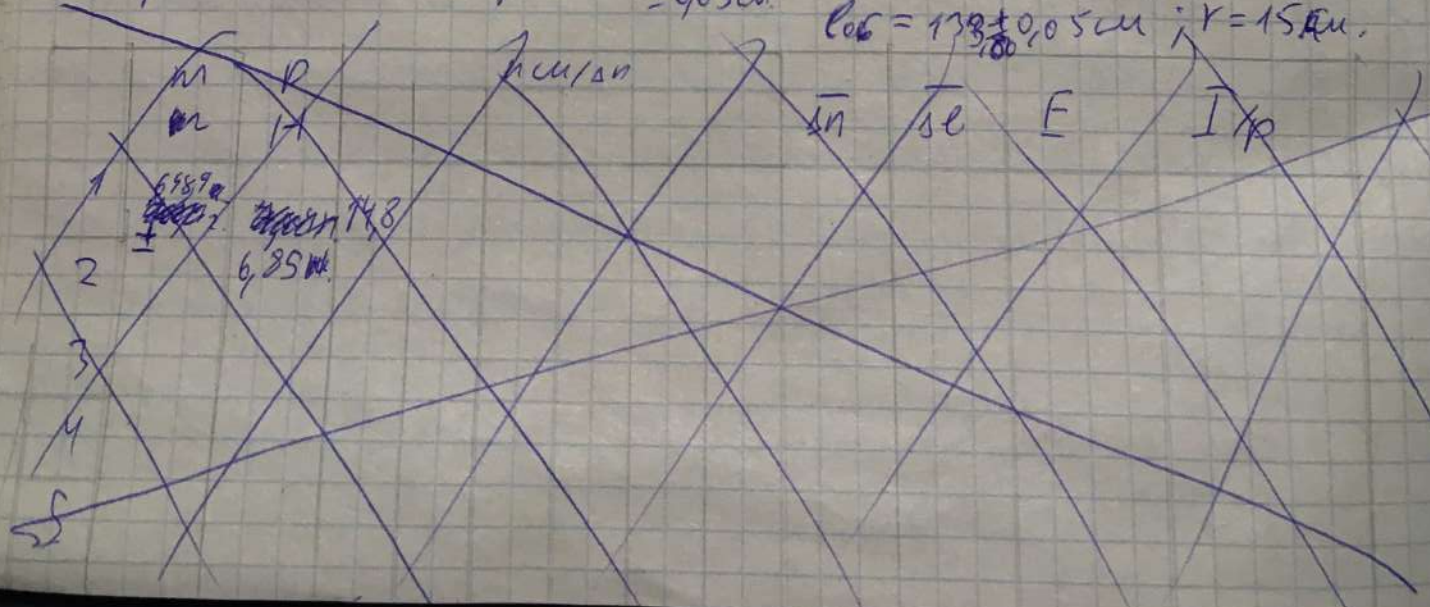
4) штангенциркуль $\Delta_{\text{шци}} = 0,05 \text{ мм}$

5. Результаты измерений и обработка данных.

I.

$$d_{\text{шп}} = 0,46 \text{ мм}; \quad C_{\text{шп}} = 174,40 \pm 90,5 \text{ см}; \quad m_0 = 458,3 + 295,6 = 698,9 \text{ г};$$

$$P_{0,6} = 138 \pm 0,05 \text{ см}; \quad r = 15 \text{ см}.$$



	m, 2	P, H	$\Delta h, \text{cm}$
1	698,9	6,85	14,8
2	944,1	9,25	14,5
3	1189,7	11,66	20,2
4	1435	14,06	22,5
5	1680,5	16,44	25,1
6	1926	18,87	24,5
7	2140,4	21,24	29,9
8	2416,5	23,68	32,3
9	2662,2	26,09	34,7
10	2907,8	28,5	37

	m, 2	P, H	$\Delta h, \text{cm}$
1	944,2	9,25	14,6
2	1189,7	11,66	20,1
3	1435,1	14,06	22,4
4	1680,4	16,44	25,1
5	1926,8	18,88	24,7
6	2142,4	21,29	29,8
7	2414,9	23,7	32,1
8	2663,4	26,1	34,6
9	2904,8	28,5	36,9

	m, 2	P, H	$\Delta h, \text{cm}$
1	944,2	9,25	14,6
2	1190,3	11,66	20,1
3	1436	14,04	22,4
4	1681,5	16,48	25
5	1924,1	18,89	24,4
6	2141,5	21,78	29,8
7	2416,7	23,68	32,3
8	2662,3	26,69	34,5
9	2904,8	28,5	36,9

	m, 2	P, H	$\Delta h, \text{cm}$	$\Delta l, \text{cm}$
1	2663,4	26,1	34,6	0,84 + 1,46
2	2414,9	23,69	32,4	0,99 1,83
3	2142,3	21,29	30	1,14 1,69
4	1926,8	18,88	24,5	1,24 1,55
5	1680,4	16,44	25,1	1,42 1,42
6	1435	14,06	22,6	1,55 1,74
7	1189,7	11,66	20,1	1,69 1,13
8	944,1	9,25	14,6	1,82 0,99
9	698,9	6,85	14,9	1,96 0,84
				3,09

	m, 2	P, H	$\Delta h, \text{cm}$	$\Delta l, \text{cm}$
1	2663,3	26,09	34,5	0,99 1,94
2	2416,7	23,68	32,1	1,13 1,81
3	2141,2	21,28	29,8	1,28 1,68
4	1926	18,87	24,5	1,42 1,55
5	1680,3	16,44	25	1,54 1,41
6	1435,9	14,07	22,6	1,68 1,27
7	1189,8	11,66	20,1	1,81 1,13
8	944,5	9,26	14,5	1,95 0,99
9	698,9	6,85	14,8	3,08 0,84

	m, 2	P, H	$\Delta h, \text{cm}$	$\Delta l, \text{cm}$
1	2662,2	26,09	34,6	0,99 1,95
2	2414	23,69	32,3	1,13 1,82
3	2142,6	21,29	29,9	1,28 1,68
4	1924,1	18,89	24,5	1,41 1,55
5	1681,6	16,48	25	1,54 1,41
6	1436,3	14,08	22,6	1,68 1,27
7	1190,6	11,67	20,2	1,82 1,14
8	944,5	9,26	14,6	1,94 0,99
9	698,9	6,85	14,9	3,08 0,84

Table. 1.

[Handwritten signature]

II. $L_{H5} = 50,00 \pm 0,05$ м. ~~11,14 ± 0,01 м~~

1 Баура (серебо).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
q, м	1,98	2	1,94	2	2,198	2	1,99	1,98	1,99	
B, м	0,95	0,98	0,99	1	1	1	1	1	0,97	0,98

$$\bar{a} = 1,98 \text{ м} \pm 0,006 \text{ м}$$

$$\bar{b} = 0,987 \text{ м} \pm 0,007 \text{ м}$$

$$y_0 = 11,14 \cdot 0,01$$

$$y_0 = 0,1114 \text{ м}$$

	m, 2	P, H	y max, м	г, мм	y max, м	г, мм	y max, м	г, мм
1	482,5	4,7	10,53	0,0061	3448,4	33,8	4,83	0,0434
2	987	9,7	9,86	0,0128	2952,2	28,9	5,41	0,0341
3	1490	14,6	9,25	0,0189	2454,9	24,1	6,05	0,0315
4	1991,3	19,5	8,6	0,0254	1440	14,6	6,65	0,0255
5	2454,9	24,1	4,99	0,0315	987	9,7	4,79	0,0191
6	2952,2	28,9	4,34	0,038	482,5	4,7	4,94	0,0126
7	3448,4	33,8	6,67	0,0442	482,5	4,7	8,58	0,0062

$$y_0 = 9,2 \cdot 0,01 = 0,092 \text{ м}$$

1	482,5	4,7	8,56	0,0073	—	$y_0 =$	9,29	0,01 =
2	987	9,7	4,9	0,0139	$\frac{3448,4}{2}$	17,94	17,94	0,0434
3	1490	14,6	4,24	0,0205	2952,2	28,9	8,54	0,0344
4	1991,3	19,5	6,57	0,0242	2454,9	24,1	9,15	0,0313
5	2454,9	24,1	5,94	0,0332	1991,3	19,5	9,41	0,0257
6	2952,2	28,9	5,31	0,0398	1440	14,6	10,35	0,0193
7	3448,4	33,8	4,57	0,0442	987	9,7	10,98	0,013
					482,5	4,7	11,65	0,0063

$$y_0 = 12,28 \cdot 0,01 = 0,1228 \text{ м}$$

Таб. 2.

2 Баура (серебо).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
q, м	1,94	1,9	1,86	1,85	1,84	1,83	1,87	1,85	1,86	1,87
B, м	1,1	1,1	1,1	1,07	1,07	1,06	1,06	1,07	1,1	1,06

$$\bar{a} = 1,864 \pm 0,011 \text{ м}$$

$$\bar{b} = 1,081 \pm 0,008 \text{ м}$$

$m, 2$	P, H	$y_{\max, \text{дан}}$	$y_{\text{гнессе}}$	$y_0 = 4,33 \cdot 0,01 = 0,0433$				
1	482,5	4,7	6,96	0,0034				
2	98 987	9,4	6,54	0,0079	3448,4	33,8	4,2	0,0244
3	1490	14,6	6,1	0,0123	2952,2	28,9	4,2	0,0242

1 1991,3	14,5	5,68	0,0165	2454,9	24,1	4,45	0,0749
2 2454,9	24,1	5,26	0,0204	1991,3	19,5	4,87	0,0213
3 2952,2	28,9	4,85	0,0218	1490	14,6	5,25	0,0169
4 3448,4	33,8	4,4	0,0293	987	9,7	6,15	0,0079
5 487,5	4,4	8,59	0,0036	487,5	4,4	8,59	0,0036
6 987	4,4	8,14	0,0048	3448,4	33,8	4,65	0,029
7 1490	14,6	4,75	0,0120	2452,2	28,9	10,03	0,0248
8 1991,3	19,5	4,31	0,0164	2454,9	24,1	10,48	0,0204
9 2454,9	24,1	6,91	0,0204	1991,3	19,5	10,84	0,0171
10 2952,2	28,9	6,48	0,0244	1490	14,6	11,29	0,0126
11 3448,4	33,8	6,06	0,0289	987	9,7	11,71	0,0084
				487,5	4,4	12,15	0,004

$$y_0 = 6,44 \cdot 0,01 = 0,0644 \text{ м}$$

$$y_0 = 8,95 \cdot 0,01 = 0,0895 \text{ м}$$

$$y_0 = 12,55 \cdot 0,01 = 0,1255 \text{ м}$$

Табл. 3

3. Франс (Амстердам)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4, м	2,14	2,18	2,18	2,14	2,18	2,2	2,17	2,16	2,14	2,15
6, м	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,39

$$\bar{a} = 2,175 \pm 0,004 \text{ м}$$

$$\bar{b} = 0,399 \pm 0,005 \text{ м}$$

$$y_0 = 8,31 \cdot 0,01 = 0,0831 \text{ м}$$

№	W, 2	P, H	y max, м	y min, м
1	487,5	4,4	4,18	0,013
2	987	4,4	5,26	0,0235
3	1490	14,6	4,82	0,0349
4	1991,3	19,5	4,55	0,0446
5	2454,9	24,1	2,55	0,0546
6	2952,2	28,9	1,31	0,07
7	3448,4	33,8	0,25	0,0806
8	487,5	4,4	9,53	0,0107
9	987	4,4	8,33	0,0227
10	1490	14,6	7,1	0,035
11	1991,3	19,5	5,94	0,0466
12	2454,9	24,1	4,81	0,0579
13	2952,2	28,9	3,61	0,0699
14	3448,4	33,8	2,44	0,0816

$$y_0 = 9,44 \cdot 0,01 \text{ м} = 0,0944 \text{ м}$$

$$y_0 = 10,6 \cdot 0,01 = 0,106 \text{ м}$$

$$y_0 = 9,07 \cdot 0,01 = 0,0907 \text{ м}$$

Табл. 4

4. Проверка

уменьш

уменьш

уменьш

на 2-3 м

3 y = 10,4

№	W, 2	P, H	y max, м	y min, м
1	487,5	4,4	4,54	0,0054
2	987	4,4	0,94	0,012
3	1490	14,6	6,33	0,0181
4	1991,3	19,5	5,73	0,0241
5	2454,9	24,1	5,75	0,0299

0	2452,2	28,9	4,55	0,0359	6	-11-	-11-	4,86	0,0195	7	-11-	-11-	3,94	0,01
1	3448,4	33,8	3,95	0,0419	7	-11-	-11-	4,41	0,024	8	-11-	-11-	2,64	0,02
								4,06	0,0245				Total: 5	0,02

14.10

I. 1) Опряжения $\Delta \epsilon = \frac{\Delta h \cdot r}{2 R_{\text{ос}}}$ no mod. 1.

$$\sigma_{\Delta \epsilon} = \Delta \epsilon \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta h}{\partial h}\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial d}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial h}\right)^2}; r = 15 \text{ cm}, R_{\text{ос}} = 133 \pm 0,05 \text{ cm}$$

$\Delta \epsilon_{\text{ср}}$	0,84	0,99	1,14	1,24	1,42	1,55	1,69	1,82	1,96	2,04	1,96	1,83	1,69	1,55	1,42	1,24	1,14	0,99	0,84
$\sigma_{\Delta \epsilon_{\text{ср}}}$	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
$\sigma_{\Delta \epsilon_{\text{ср}}}$	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
$\Delta \epsilon_{\text{ср}}$	0,84	0,99	1,13	1,28	1,42	1,54	1,68	1,81	1,75	2,08	1,94	1,81	1,68	1,55	1,41	1,24	1,13	0,99	0,84
$\sigma_{\Delta \epsilon_{\text{ср}}}$	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003

2) $\sigma_{\text{прж}} = 900 \text{ H/mm}^2 \Rightarrow P_{\text{прж}} = 0,3 \text{ прж} \cdot S \approx 44,8 \text{ H}$

3) МНК (пр. 1)

$$\Delta \epsilon(1^2) \quad k_{\text{пр}} = \frac{n \cdot \sum p \cdot \Delta \epsilon - \sum p \cdot \sum \Delta \epsilon}{n \sum \Delta \epsilon^2 - (\sum \Delta \epsilon)^2} = 1,75 \cdot 10^3 \frac{\text{H}}{\text{m}}$$

$$b_{k_{\text{пр}}} = 0,024 \cdot 10^3 \frac{\text{H}}{\text{m}}$$

$$E = \frac{P}{S} = \frac{P_{\text{пр}}}{S \cdot \Delta \epsilon} = \frac{P_{\text{пр}} \cdot k_{\text{пр}}}{S} = 1,84 \cdot 10^{10} \text{ Па}$$

$$b_E = \sqrt{\left(\frac{\partial P_{\text{пр}}}{\partial P_{\text{пр}}}\right)^2 + \left(\frac{\partial k_{\text{пр}}}{\partial k_{\text{пр}}}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial S}\right)^2} \cdot E = 0,25 \cdot 10^{10} \text{ Па} \quad \epsilon_E = 13\%$$

II. $P(y_{\text{max}})$ (пр. 2) При вып. макс.

1 Барва: (табл. 2). $k = \frac{n \cdot \sum p \cdot y_{\text{max}} - \sum p \cdot \sum y_{\text{max}}}{n \sum y_{\text{max}}^2 - (\sum y_{\text{max}})^2} = 742 \cdot 10^3 \frac{\text{H}}{\text{m}}$

$$b_{k_{\text{пр}}} = 0,001 \cdot 10^3 \frac{\text{H}}{\text{m}}$$

$$E = \frac{P \cdot l^3}{48 b y_{\text{max}}} = \frac{k \cdot l^3}{48 b} = 1,20 \cdot 10^{10} \text{ Па}$$

$$\sigma_E = \sqrt{3 \left(\frac{\sigma_E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^2 + 3 \left(\frac{\sigma_b}{b}\right)^2} \cdot E = 0,15 \cdot 10^{10} \quad \varepsilon = 1,1\%$$

При убав. массы:

$$k = (7,48 \pm 0,3) \cdot 10^3 \frac{\text{H}}{\text{м}}$$

$$E = 1,24 \cdot 10^{10} \text{ Па}, \quad \varepsilon = 1,9\%$$

$$\sigma_E = 0,017 \cdot 10^{10} \text{ Па}$$

При уменьш. призм:

$$k = (80,3 \pm 0,01) \cdot 10^3 \frac{\text{H}}{\text{м}}$$

$$E = 1,31 \cdot 10^{10} \text{ Па} \quad \varepsilon = 1,1\%$$

$$\sigma_E = 0,017 \cdot 10^{10} \text{ Па}$$

2 База 3:

При возр. масс:

$$k = (11,14 \pm 0,11) \cdot 10^3 \frac{\text{H}}{\text{м}}$$

$$E = 1,51 \cdot 10^{10} \text{ Па} \quad \varepsilon = 2\%$$

$$\sigma_E = 0,026 \cdot 10^{10} \text{ Па}$$

При убав. масс:

$$k = (10,76 \pm 0,04) \cdot 10^3 \frac{\text{H}}{\text{м}}$$

$$E = 1,43 \cdot 10^{10} \text{ Па} \quad \varepsilon = 1\%$$

$$\sigma_E = 0,021 \cdot 10^{10} \text{ Па}$$

При уменьш. призм:

$$k = (12,15 \pm 0,03) \cdot 10^3 \frac{\text{H}}{\text{м}}$$

$$E = 1,61 \cdot 10^{10} \text{ Па} \quad \varepsilon = 1\%$$

$$\sigma_E = 0,023 \cdot 10^{10} \text{ Па}$$

3 База 4:

При возр. масс:

$$k = (4,14 \pm 0,01) \cdot 10^3 \frac{\text{H}}{\text{м}}$$

$$E = 9,35 \cdot 10^{10} \text{ Па} \quad \varepsilon = 2\%$$

$$\sigma_E = 0,207 \cdot 10^{10} \text{ Па}$$

При убав. масс:

$$k = (4,12 \pm 0,02) \cdot 10^3 \frac{\text{H}}{\text{м}}$$

$$E = 9,33 \cdot 10^{10} \text{ Па} \quad \varepsilon = 2\%$$

$$\sigma_E = 0,21 \cdot 10^{10} \text{ Па}$$

При уменьш. призм:

$$k = (4,197 \pm 0,004) \cdot 10^3 \frac{\text{H}}{\text{м}}$$

$$E = 9,49 \cdot 10^{10} \text{ Па}$$

$$\sigma_E = 0,209 \cdot 10^{10} \text{ Па}$$

$$\varepsilon = 2\%$$

6. Обсуждение результатов и выводы

I. Полученное значение модуля Юнга превышает соответствующий модуль Юнга свинца. Используемый в работе метод измерений позволяет получить результат с отв. точностью 1%, которая ограничивается погрешностью прибора Кермана.

II. Полученные значения модуля Юнга для

	$E, \cdot 10^{10} \text{ Па}$	$\sigma_E, \cdot 10^{10} \text{ Па}$	
1	1,24	0,02	- дерево
2	1,44	0,03	- дерево
3	0,34	0,28	- латунь

соответствуют табличным значениям для дерева (10-15 ГПа) и латуни (93-95 ГПа). Используемый метод измерений позволяет достичь высокой точности в 2%, которая ограничивается в основном погр-тью, возникающей при измерении линейных размеров образцов.

Также в работе было выявлено, что изменение положения прижим на 2-3 мм от середины образца не влечёт изменений измеренных результатов измерений.

Полученные образцы, в данной работе удалось проверить справедливость закона Гука и с высокой точностью определить модуль Юнга исследуемых материалов.

I.

к. р. 13.1

0 0,2 0,4 0,6 0,8 1 1,2 1,4 1,6 1,8 2 2,2 2,4 2,6 2,8 3 3,2 3,4 3,6 3,8 4 4,2 4,4 4,6 4,8 5 5,2 5,4 5,6 5,8 6 6,2 6,4 6,6 6,8 7 7,2 7,4 7,6 7,8 8 8,2 8,4 8,6 8,8 9 9,2 9,4 9,6 9,8 10 10,2 10,4 10,6 10,8 11 11,2 11,4 11,6 11,8 12 12,2 12,4 12,6 12,8 13 13,2 13,4 13,6 13,8 14 14,2 14,4 14,6 14,8 15 15,2 15,4 15,6 15,8 16 16,2 16,4 16,6 16,8 17 17,2 17,4 17,6 17,8 18 18,2 18,4 18,6 18,8 19 19,2 19,4 19,6 19,8 20 20,2 20,4 20,6 20,8 21 21,2 21,4 21,6 21,8 22 22,2 22,4 22,6 22,8 23 23,2 23,4 23,6 23,8 24 24,2 24,4 24,6 24,8 25 25,2 25,4 25,6 25,8 26 26,2 26,4 26,6 26,8 27 27,2 27,4 27,6 27,8 28 28,2 28,4 28,6 28,8 29 29,2 29,4 29,6 29,8 30 30,2 30,4 30,6 30,8 31 31,2 31,4 31,6 31,8 32 32,2 32,4 32,6 32,8 33 33,2 33,4 33,6 33,8 34 34,2 34,4 34,6 34,8 35 35,2 35,4 35,6 35,8 36 36,2 36,4 36,6 36,8 37 37,2 37,4 37,6 37,8 38 38,2 38,4 38,6 38,8 39 39,2 39,4 39,6 39,8 40 40,2 40,4 40,6 40,8 41 41,2 41,4 41,6 41,8 42 42,2 42,4 42,6 42,8 43 43,2 43,4 43,6 43,8 44 44,2 44,4 44,6 44,8 45 45,2 45,4 45,6 45,8 46 46,2 46,4 46,6 46,8 47 47,2 47,4 47,6 47,8 48 48,2 48,4 48,6 48,8 49 49,2 49,4 49,6 49,8 50 50,2 50,4 50,6 50,8 51 51,2 51,4 51,6 51,8 52 52,2 52,4 52,6 52,8 53 53,2 53,4 53,6 53,8 54 54,2 54,4 54,6 54,8 55 55,2 55,4 55,6 55,8 56 56,2 56,4 56,6 56,8 57 57,2 57,4 57,6 57,8 58 58,2 58,4 58,6 58,8 59 59,2 59,4 59,6 59,8 60 60,2 60,4 60,6 60,8 61 61,2 61,4 61,6 61,8 62 62,2 62,4 62,6 62,8 63 63,2 63,4 63,6 63,8 64 64,2 64,4 64,6 64,8 65 65,2 65,4 65,6 65,8 66 66,2 66,4 66,6 66,8 67 67,2 67,4 67,6 67,8 68 68,2 68,4 68,6 68,8 69 69,2 69,4 69,6 69,8 70 70,2 70,4 70,6 70,8 71 71,2 71,4 71,6 71,8 72 72,2 72,4 72,6 72,8 73 73,2 73,4 73,6 73,8 74 74,2 74,4 74,6 74,8 75 75,2 75,4 75,6 75,8 76 76,2 76,4 76,6 76,8 77 77,2 77,4 77,6 77,8 78 78,2 78,4 78,6 78,8 79 79,2 79,4 79,6 79,8 80 80,2 80,4 80,6 80,8 81 81,2 81,4 81,6 81,8 82 82,2 82,4 82,6 82,8 83 83,2 83,4 83,6 83,8 84 84,2 84,4 84,6 84,8 85 85,2 85,4 85,6 85,8 86 86,2 86,4 86,6 86,8 87 87,2 87,4 87,6 87,8 88 88,2 88,4 88,6 88,8 89 89,2 89,4 89,6 89,8 90 90,2 90,4 90,6 90,8 91 91,2 91,4 91,6 91,8 92 92,2 92,4 92,6 92,8 93 93,2 93,4 93,6 93,8 94 94,2 94,4 94,6 94,8 95 95,2 95,4 95,6 95,8 96 96,2 96,4 96,6 96,8 97 97,2 97,4 97,6 97,8 98 98,2 98,4 98,6 98,8 99 99,2 99,4 99,6 99,8 100 100,2 100,4 100,6 100,8 101 101,2 101,4 101,6 101,8 102 102,2 102,4 102,6 102,8 103 103,2 103,4 103,6 103,8 104 104,2 104,4 104,6 104,8 105 105,2 105,4 105,6 105,8 106 106,2 106,4 106,6 106,8 107 107,2 107,4 107,6 107,8 108 108,2 108,4 108,6 108,8 109 109,2 109,4 109,6 109,8 110 110,2 110,4 110,6 110,8 111 111,2 111,4 111,6 111,8 112 112,2 112,4 112,6 112,8 113 113,2 113,4 113,6 113,8 114 114,2 114,4 114,6 114,8 115 115,2 115,4 115,6 115,8 116 116,2 116,4 116,6 116,8 117 117,2 117,4 117,6 117,8 118 118,2 118,4 118,6 118,8 119 119,2 119,4 119,6 119,8 120 120,2 120,4 120,6 120,8 121 121,2 121,4 121,6 121,8 122 122,2 122,4 122,6 122,8 123 123,2 123,4 123,6 123,8 124 124,2 124,4 124,6 124,8 125 125,2 125,4 125,6 125,8 126 126,2 126,4 126,6 126,8 127 127,2 127,4 127,6 127,8 128 128,2 128,4 128,6 128,8 129 129,2 129,4 129,6 129,8 130 130,2 130,4 130,6 130,8 131 131,2 131,4 131,6 131,8 132 132,2 132,4 132,6 132,8 133 133,2 133,4 133,6 133,8 134 134,2 134,4 134,6 134,8 135 135,2 135,4 135,6 135,8 136 136,2 136,4 136,6 136,8 137 137,2 137,4 137,6 137,8 138 138,2 138,4 138,6 138,8 139 139,2 139,4 139,6 139,8 140 140,2 140,4 140,6 140,8 141 141,2 141,4 141,6 141,8 142 142,2 142,4 142,6 142,8 143 143,2 143,4 143,6 143,8 144 144,2 144,4 144,6 144,8 145 145,2 145,4 145,6 145,8 146 146,2 146,4 146,6 146,8 147 147,2 147,4 147,6 147,8 148 148,2 148,4 148,6 148,8 149 149,2 149,4 149,6 149,8 150 150,2 150,4 150,6 150,8 151 151,2 151,4 151,6 151,8 152 152,2 152,4 152,6 152,8 153 153,2 153,4 153,6 153,8 154 154,2 154,4 154,6 154,8 155 155,2 155,4 155,6 155,8 156 156,2 156,4 156,6 156,8 157 157,2 157,4 157,6 157,8 158 158,2 158,4 158,6 158,8 159 159,2 159,4 159,6 159,8 160 160,2 160,4 160,6 160,8 161 161,2 161,4 161,6 161,8 162 162,2 162,4 162,6 162,8 163 163,2 163,4 163,6 163,8 164 164,2 164,4 164,6 164,8 165 165,2 165,4 165,6 165,8 166 166,2 166,4 166,6 166,8 167 167,2 167,4 167,6 167,8 168 168,2 168,4 168,6 168,8 169 169,2 169,4 169,6 169,8 170 170,2 170,4 170,6 170,8 171 171,2 171,4 171,6 171,8 172 172,2 172,4 172,6 172,8 173 173,2 173,4 173,6 173,8 174 174,2 174,4 174,6 174,8 175 175,2 175,4 175,6 175,8 176 176,2 176,4 176,6 176,8 177 177,2 177,4 177,6 177,8 178 178,2 178,4 178,6 178,8 179 179,2 179,4 179,6 179,8 180 180,2 180,4 180,6 180,8 181 181,2 181,4 181,6 181,8 182 182,2 182,4 182,6 182,8 183 183,2 183,4 183,6 183,8 184 184,2 184,4 184,6 184,8 185 185,2 185,4 185,6 185,8 186 186,2 186,4 186,6 186,8 187 187,2 187,4 187,6 187,8 188 188,2 188,4 188,6 188,8 189 189,2 189,4 189,6 189,8 190 190,2 190,4 190,6 190,8 191 191,2 191,4 191,6 191,8 192 192,2 192,4 192,6 192,8 193 193,2 193,4 193,6 193,8 194 194,2 194,4 194,6 194,8 195 195,2 195,4 195,6 195,8 196 196,2 196,4 196,6 196,8 197 197,2 197,4 197,6 197,8 198 198,2 198,4 198,6 198,8 199 199,2 199,4 199,6 199,8 200 200,2 200,4 200,6 200,8 201 201,2 201,4 201,6 201,8 202 202,2 202,4 202,6 202,8 203 203,2 203,4 203,6 203,8 204 204,2 204,4 204,6 204,8 205 205,2 205,4 205,6 205,8 206 206,2 206,4 206,6 206,8 207 207,2 207,4 207,6 207,8 208 208,2 208,4 208,6 208,8 209 209,2 209,4 209,6 209,8 210 210,2 210,4 210,6 210,8 211 211,2 211,4 211,6 211,8 212 212,2 212,4 212,6 212,8 213 213,2 213,4 213,6 213,8 214 214,2 214,4 214,6 214,8 215 215,2 215,4 215,6 215,8 216 216,2 216,4 216,6 216,8 217 217,2 217,4 217,6 217,8 218 218,2 218,4 218,6 218,8 219 219,2 219,4 219,6 219,8 220 220,2 220,4 220,6 220,8 221 221,2 221,4 221,6 221,8 222 222,2 222,4 222,6 222,8 223 223,2 223,4 223,6 223,8 224 224,2 224,4 224,6 224,8 225 225,2 225,4 225,6 225,8 226 226,2 226,4 226,6 226,8 227 227,2 227,4 227,6 227,8 228 228,2 228,4 228,6 228,8 229 229,2 229,4 229,6 229,8 230 230,2 230,4 230,6 230,8 231 231,2 231,4 231,6 231,8 232 232,2 232,4 232,6 232,8 233 233,2 233,4 233,6 233,8 234 234,2 234,4 234,6 234,8 235 235,2 235,4 235,6 235,8 236 236,2 236,4 236,6 236,8 237 237,2 237,4 237,6 237,8 238 238,2 238,4 238,6 238,8 239 239,2 239,4 239,6 239,8 240 240,2 240,4 240,6 240,8 241 241,2 241,4 241,6 241,8 242 242,2 242,4 242,6 242,8 243 243,2 243,4 243,6 243,8 244 244,2 244,4 244,6 244,8 245 245,2 245,4 245,6 245,8 246 246,2 246,4 246,6 246,8 247 247,2 247,4 247,6 247,8 248 248,2 248,4 248,6 248,8 249 249,2 249,4 249,6 249,8 250 250,2 250,4 250,6 250,8 251 251,2 251,4 251,6 251,8 252 252,2 252,4 252,6 252,8 253 253,2 253,4 253,6 253,8 254 254,2 254,4 254,6 254,8 255 255,2 255,4 255,6 255,8 256 256,2 256,4 256,6 256,8 257 257,2 257,4 257,6 257,8 258 258,2 258,4 258,6 258,8 259 259,2 259,4 259,6 259,8 260 260,2 260,4 260,6 260,8 261 261,2 261,4 261,6 261,8 262 262,2 262,4 262,6 262,8 263 263,2 263,4 263,6 263,8 264 264,2 264,4 264,6 264,8 265 265,2 265,4 265,6 265,8 266 266,2 266,4 266,6 266,8 267 267,2 267,4 267,6 267,8 268 268,2 268,4 268,6 268,8 269 269,2 269,4 269,6 269,8 270 270,2 270,4 270,6 270,8 271 271,2 271,4 271,6 271,8 272 272,2 272,4 272,6 272,8 273 273,2 273,4 273,6 273,8 274 274,2 274,4 274,6 274,8 275 275,2 275,4 275,6 275,8 276 276,2 276,4 276,6 276,8 277 277,2 277,4 277,6 277,8 278 278,2 278,4 278,6 278,8 279 279,2 279,4 279,6 279,8 280 280,2 280,4 280,6 280,8 281 281,2 281,4 281,6 281,8 282 282,2 282,4 282,6 282,8 283 283,2 283,4 283,6 283,8 284 284,2 284,4 284,6 284,8 285 285,2 285,4 285,6 285,8 286 286,2 286,4 286,6 286,8 287 287,2 287,4 287,6 287,8 288 288,2 288,4 288,6 288,8 289 289,2 289,4 289,6 289,8 290 290,2 290,4 290,6 290,8 291 291,2 291,4 291,6 291,8 292 292,2 292,4 292,6 292,8 293 293,2 293,4 293,6 293,8 294 294,2 294,4 294,6 294,8 295 295,2 295,4 295,6 295,8 296 296,2 296,4 296,6 296,8 297 297,2 297,4 297,6 297,8 298 298,2 298,4 298,6 298,8 299 299,2 299,4 299,6 299,8 300 300,2 300,4 300,6 300,8 301 301,2 301,4 301,6 301,8 302 302,2 302,4 302,6 302,8 303 303,2 303,4 303,6 303,8 304 304,2 304,4 304,6 304,8 305 305,2 305,4 305,6 305,8 306 306,2 306,4 306,6 306,8 307 307,2 307,4 307,6 307,8 308 308,2 308,4 308,6 308,8 309 309,2 309,4 309,6 309,8 310 310,2 310,4 310,6 310,8 311 311,2 311,4 311,6 311,8 312 312,2 312,4 312,6 312,8 313 313,2 313,4 313,6 313,8 314 314,2 314,4 314,6 314,8 315 315,2 315,4 315,6 315,8 316 316,2 316,4 316,6 316,8 317 317,2 317,4 317,6 317,8 318 318,2 318,4 318,6 318,8 319 319,2 319,4 319,6 319,8 320 320,2 320,4 320,6 320,8 321 321,2 321,4 321,6 321,8 322 322,2 322,4 322,6 322,8 323 323,2 323,4 323,6 323,8 324 324,2 324,4 324,6 324,8 325 325,2 325,4 325,6 325,8 326 326,2 326,4 326,6 326,8 327 327,2 327,4 327,6 327,8 328 328,2 328,4 328,6 328,8 329 329,2 329,4 329,6 329,8 330 330,2 330,4 330,6 330,8 331 331,2 331,4 331,6 331,8 332 332,2 332,4 332,6 332,8 333 333,2 333,4 333,6 333,8 334 334,2 334,4 334,6 334,8 335 335,2 335,4 335,6 335,8 336 336,2 336,4 336,6 336,8 337 337,2 337,4 337,6 337,8 338 338,2 338,4 338,6 338,8 339 339,2 339,4 339,6 339,8 340 340,2 340,4 340,6 340,8 341 341,2 341,4 341,6 341,8 342 342,2 342,4 342,6 342,8 343 343,2 343,4 343,6 343,8 344 344,2 344,4 344,6 344,8 345 345,2 345,4 345,6 345,8 346 346,2 346,4 346,6 346,8 347 347,2 347,4 347,6 347,8 348 348,2 348,4 348,6 348,8 349 349,2 349,4 349,6 349,8 350 350,2 350,4 350,6 350,8 351 351,2 351,4 351,6 351,8 352 352,2 352,4 352,6 352,8 353 353,2 353,4 353,6 353,8 354 354,2 354,4 354,6 354,8 355 355,2 355,4 355,6 355,8 356 356,2 356,4 356,6 356,8 357 357,2 357,4 357,6 357,8 358 358,2 358,4 358,6 358,8 359 359,2 359,4 359,6 359,8 360 360,2 360,4 360,6 360,8 361 361,2 361,4 361,6 361,8 362 362,2 362,4 362,6 362,8 363 363,2 363,4 363,6 363,8 364 364,2 364,4 364,6 364,8 365 365,2 365,4 365,6 365,8 366 366,2 366,4 366,6 366,8 367 367,2 367,4 367,6 367,8 368 368,2 368,4 368,6 368,8 369 369,2 369,4 369,6 369,8 370 370,2 370,4 370,6 370,8 371 371,2 371,4 371,6 371,8 372 372,2 372,4 372,6 372,8 373 373,2 373,4 373,6 373,8 374 374,2 374,4 374,6 374,8 375 375,2 375,4 375,6 375,8 376 376,2 376,4 376,6 376,8 377 377,2 377,4 377,6 377,8 378 378,2 378,4 378,6 378,8 379 379,2 379,4 379,6 379,8 380 380,2 380,4 380,6 380,8 381 381,2 381,4 381,6 381,8 382 382,2 382,4 382,6 382,8 383 383,2 383,4 383,6 383,8 384 384,2 384,4 384,6 384,8 385 385,2 385,4 385,6 385,8 386 386,2 386,4 386,6 386,8 387 387,2 387,4 387,6 387,8 388 388,2 388,4 388,6 388,8 389 389,2 389,4 389,6 389,8 390 390,2 390,4 390,6 390,8 391 391,2 391,4 391,6 391,8 392 392,2 392,4 392,6 392,8 393 393,2 393,4 393,6 393,8 394 394,2 394,4 394,6 394,8 395 395,2 395,4 395,6 395,8 396 396,2 396,4 396,6 396,8 397 397,2 397,4 397,6 397,8 398 398,2 398,4 398,6 398,8 399 399,2 399,4 399,6 399,8 400 400,2 400,4 400,6 400,8 401 401,2 401,4 401,6 401,8 402 402,2 402,4 402,6 402,8 403 403,2 403,4 403,6 403,8 404 404,2 404,4 404,6 404,8 405 405,2 405,4 405,6 405,8 406 406,2 406,4 406,6 406,8 407 407,2 407,4 407,6 407,8 408 408,2 408,4 408,6 408,8 409 409,2 409,4 409,6 409,8 410 410,2 410,4 410,6 410,8 411 411,2 411,4 411,6 411,8 412 412,2 412,4 412,6 412,8 413 413,2 413,4 413,6 413,8 414 414,2 414,4 414,6 414,8 415 415,2 415,4 415,6 415,8 416 416,2 416,4 416,6 416,8 417 417,2 417,4 417,6 417,8 418 418,2 418,4 418,6 418,8 419 419,2 419,4 419,6 419,8 420 420,2 420,4 420,6 420,8 421 421,2 421,4 421,6 421,8 422 422,2 422,4 422,6 422,8 423 423,2 423,4 423,6 423,8 424 424,2 424,4 424,6 424,8 425 425,2 425,4 425,6 425,8 426 426,2 426,4 426,6 426,8 427 427,2 427,4 427,6 427,8 428 428,2 428,4 428,6 428,8 429 429,2 429,4 429,6 429,8 430 430,2 430,4 430,6 430,8 431 431,2 431,4 431,6 431,8 432 432,2 432,4 432,6 432,8 433 433,2 433,4 433,6 433,8 434 434,2 434,4 434,6 434,8 435 435,2 435,4 435,6 435,8 436 436,2 436,4 436,6 436,8 437 437,2 437,4 437,6 437,8 438 438,2 438,4 438,6 438,8 439 439,2 439,4 439,6 439,8 440 440,2 440,4 440,6 440,8 441 441,2 441,4 441,6 441,8 442 442,2 442,4 442,6 442,8 443 443,2 443,4 443,6 443,8 444 444,2 444,4 444,6 444,8 445 445,2 445,4 445,6 445,8 446 446,2 446,4 446,6 446,8 447 447,2 447,4 447,6 447,8 448 448,2 448,4 448,6 448,8 449 449,2 449,4 449,6 449,8 450 450,2 450,4 450,6 450,8 451 451,2 451,4 451,6 451,8 452 452,2 452,4 452,6 452,8 453 453,2 453,4 453,6 453,8 454 454,2 454,4 454,6 454,8 455 455,2 455,4 455,6 455,8 456 456,2 456,4 456,6 456,8 457 457,2 457,4 457,6 457,8

II.

1. Градуус

у праблеме 1.3.1

$P, H \uparrow$

37,5

24

22,5

18

15,5

9

4,5

0

0,0005 0,0015 0,0025 0,0035 0,0045 0,0055 0,0065 0,0075 Градуус, мм

— на бязь
напышкан $P, H \uparrow$

— на пышч
напышкан $P, H \uparrow$

32,5

22,5

18

15,5

9

4,5

0

0,0005 0,0015 0,0025 0,0035 0,0045 0,0055 0,0065 0,0075 Градуус, мм

$P, H \uparrow$

37,5

24

22,5

18

15,5

9

4,5

0

0,0005 0,0015 0,0025 0,0035 0,0045 0,0055 0,0065 0,0075 Градуус, мм

Рис. 2.