

Решение

I Условие

II Решение

III Разбалловка

1^{3.00} Определите массу m цепочки.

Измерим длину цепочки: $L = 1,0$ м.

Определим массу листа формата А4.

а) Измерим размеры листа: $a = 29,7$ см, $b = 21,0$ см.

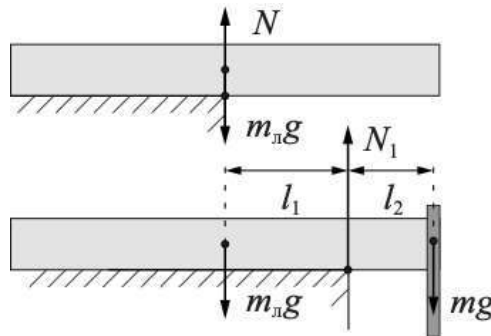
б) Рассчитаем площадь листа: $S = ab = 624$ см².

в) Найдём массу листа: $m_{\text{л}} = \sigma S = 5,0$ г.

Определим массу цепочки.

а) Из листа изготовим рычаг. Уравновесив рычаг на краю стола, найдём положение его центра тяжести.

б) Подвесим цепочку на край рычага и найдём положение центра тяжести системы.



Запишем правило моментов относительно точки опоры: $m_{\text{л}} g l_1 = m g l_2$, где l_1 и l_2 — расстояния от центров тяжести рычага и цепочки до точки опоры.

д) Рассчитаем массу цепочки:

$$\text{Ответ: } m = \frac{l_1}{l_2} m_{\text{л}} = \frac{91 \text{ мм}}{48 \text{ мм}} 5,0 \text{ г} = 9,5 \text{ г}$$

2^{3.00} Подвесьте цепочку на двух зубочистках, закрепленных на крышке стола, так, чтобы точки подвеса находились на одном уровне. Снимите зависимость угла α между цепочкой у точек крепления и горизонтом от расстояния l между точками подвеса (см. рисунок). Измерения проведите для диапазона значений l от 0 до 90 см.

Закрепим с помощью клейкой массы на краю стола транспортир и зубочистки, которые будут играть роль точек крепления цепочки.

Начальный участок цепочки почти прямой, и это облегчает считывание показаний с транспортира. Измерим значения углов α не менее чем для 11 значений l . Шаг изменения параметра l может быть постоянным, однако при малых значениях l угол изменяется незначительно, и шаг в этом случае можно выбрать больше. При $l > 60$ см угол изменяется быстрее, и лучше промерить данный участок более детально.

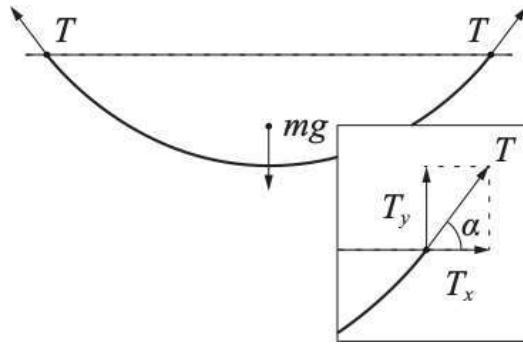
Результаты заносим в таблицу:

l , см; α , °: 0; 90 10; 88 20; 86 30; 84 40; 81 50; 76 55; 73 60; 70 65; 67 70; 64 75; 60 80; 55 85; 48 90; 37

3^{4.00} Постройте график (формат А5) зависимости горизонтальной составляющей T_x силы натяжения цепочки в точке крепления от l .

В точке подвеса вертикальная составляющая силы натяжения равна $T_y = \frac{mg}{2}$, что следует из симметрии задачи и условия равновесия всей цепочки. Тогда, с учётом того, что сила натяжения направлена по касательной к цепочке, получим:

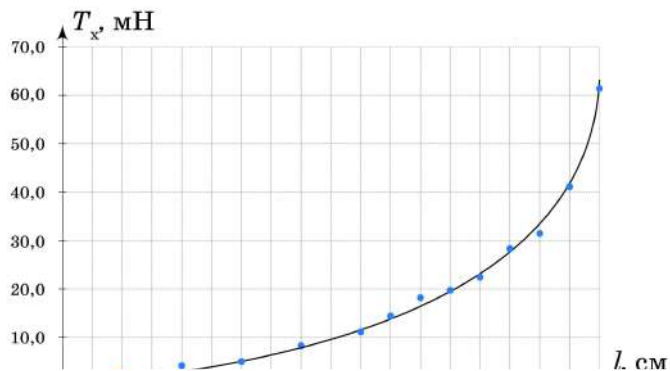
$$T_x = \frac{mg}{2} \text{ctg}(\alpha)$$



Дополняем таблицу измерений:

l , см; α , °; $\text{ctg}(\alpha)$; T_x , мН
 0; 0,00; 0,0 10; 88; 0,03; 1,6 20; 86; 0,07; 3,3 30; 84; 0,11; 4,9 40; 81; 0,16; 7,4 50; 76; 0,25; 12,0 55; 73; 0,31; 14,0 60; 70; 0,36; 17,0 65; 67; 0,42; 20,0 70; 64; 0,49; 23,0 75; 60; 0,58; 27,0 80; 55; 0,70; 33,0 85; 48; 0,90; 42,0 90; 37; 1,30; 62,0

По данным таблицы построим график $T_x(l)$:

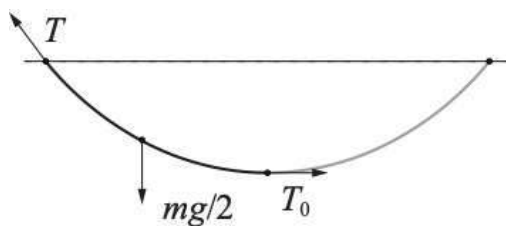


4^{3.00} Определите какую минимальную работу A нужно совершить, чтобы увеличить расстояние между точками подвеса цепочки от 0 до 50 см.

Работа A по увеличению расстояния между точками подвеса пропорциональна площади под графиком $T_x(l)$ в диапазоне от $l = 0$ см до $l = 50$ см.

Ответ: $A \approx 2,3$ мДж

5^{2.00} Силу натяжения цепочки в нижней точке.



Зафиксируем расстояние между точками подвеса $l = 85$ см. Рассмотрим условие равновесия половины цепочки (см. рис). Из равенства нулю суммы проекций сил на горизонтальное направление, следует, что сила натяжения в нижней точке $T_0 = T_x$.

Ответ: $T_0 \approx 42$ мН

6^{4.00} Расстояние $h_{ц}$ по высоте от центра тяжести цепочки до уровня точек подвеса.

Найдём положение центра тяжести цепочки. Заметим, что если один из концов цепочки закрепить, а другой равномерно перемещать в горизонтальном направлении, то работа внешней силы пойдёт на увеличение потенциальной энергии цепочки, то есть $A_{\text{внеш}} = mg\Delta h$, где Δh – изменение высоты центра тяжести цепочки.

- Легко найти положение центра тяжести при $\alpha = 90^\circ$ ($l = 0$): он будет находиться на расстоянии $L/4 = 25$ см ниже точки подвеса.
- Работа внешней силы пропорциональна площади под графиком $T_x(l)$ на участке от $l = 0$ см до $l = 85$ см. Площадь можно посчитать по клеточкам: $A_{\text{внеш}} \approx 10$ мДж.
- Расстояние от уровня точек подвеса до центра тяжести оказывается равным:

$$\text{Ответ: } h_{ц} = \frac{L}{4} - \frac{A_{\text{внеш}}}{mg} \approx 14\text{см}$$

⁷1.00 Расстояние h по высоте от центра тяжести цепочки до уровня точек подвеса, если цепочку натянуть, потянув вниз за середину как показано на рисунке.

Если потянуть середину цепочки вниз, то она примет форму двух боковых сторон равнобедренного треугольника. Центр тяжести будет располагаться на середине высоты данного треугольника. Её можно измерить непосредственно (хотя это и не очень удобно), или посчитать по теореме Пифагора:

$$\text{Ответ: } h = \frac{1}{2} \sqrt{(L/2)^2 - (l/2)^2} \approx 13\text{см}$$

Разбалловка

I Условие

II Решение

III Разбалловка

1^{3.00} Определите массу m цепочки.

Масса листа	
Длина листа (29,5-29,9 см)	0.20
Ширина листа (20,8-21,2 см)	0.20
Результат для массы (с ед. измерения) узкие ворота (4,9-5,1 г) — 0,6 широкие ворота (4,8 – 5,2 г) — 0,3	2 × 0.30
Масса цепочки	
Правило моментов (формула)	0.50
Результаты измерений плеч (с единицами измерений)	0.50
Масса (с ед. измерения) узкие ворота (9,5-10,5 г) — 1 широкие ворота (9,0-11,0 г) — 0,5	2 × 0.50

2^{3.00} Подвесьте цепочку на двух зубочистках, закрепленных на крышке стола, так, чтобы точки подвеса находились на одном уровне. Снимите зависимость угла α между цепочкой у точек крепления и горизонтом от расстояния l между точками подвеса (см. рисунок). Измерения проведите для диапазона значений l от 0 до 90 см.

Таблица прямых измерений угла от расстояния между точками крепления цепочки (точка соответствующая $l = 100$ см не засчитывается)	
указаны единицы измерения	0.50
M1 3-6 точек	0.50
M2 7-11 точек (охват всего интервала расстояний l от 0 см до 90 см с шагом не более чем 15 см)	1.50
M3 12 и более точек (охват всего интервала расстояний l от 0 см до 90 см с шагом не более чем 15 см)	2.50

3^{4.00} Постройте график (формат A5) зависимости горизонтальной составляющей T_x силы натяжения цепочки в точке крепления от l .

Формула для $T_x(\alpha)$	
Формула	0.50
Обоснование (вывод)	0.50
График $T_x(l)$. Примечание: оценивается только при правильном методе определения углов и горизонтальных составляющих сил натяжения нити.	
В таблице сделана колонка для горизонтальной проекции силы, вычислены силы $T_x(l)$ (с указанием единиц измерения)	0.50
оси подписаны и оцифрованы, указаны единицы измерения	0.50
разумный масштаб	0.50
верно нанесены точки на график	0.50

проведена гладкая кривая	1.00
--------------------------	------

4^{3.00} Определите какую минимальную работу A нужно совершить, чтобы увеличить расстояние между точками подвеса цепочки от 0 до 50 см.

Работа по увеличению расстояния между точками крепления	
Описание метода нахождения работы как площади под графиком $T_x(l)$	2.00
результат (с ед. измерения) ворота узкие (2,1-2,5 мДж) — 1,0 ворота широкие (1,6 – 3,0 мДж) — 0,5	2 × 0.50

5^{2.00} Силу натяжения цепочки в нижней точке.

Нахождение T_0 ($l = 85$см)	
указано, что $T_0 = T_x(l)$	1.00
результат (с ед. измерения) ворота узкие (40 - 44 мН) — 1,0 ворота широкие (36 - 48 мН) — 0,5	2 × 0.50

6^{4.00} Расстояние $h_{ц}$ по высоте от центра тяжести цепочки до уровня точек подвеса.

Нахождение центра тяжести висящей цепочки при $l = 85$см	
M1 идея использования закона сохранения энергии	1.00
M1 нахождение положение центра тяжести сложенной цепочки	0.50
M1 формула, связывающая работу с увеличением потенциальной энергии цепочки	0.50
M1 Значение работы (с ед. измерения) ворота узкие (9,0 -11,0 мДж) — 1 ворота широкие (8,0 -12,0 мДж) — 0.5	2 × 0.50
M1 положение центра тяжести (с ед. измерения) ворота узкие (14,0 - 15,0 см) ворота широкие (13,5-15,5 см)	2 × 0.50
Нахождение центра тяжести висящей цепочки при $l = 85$см (альтернативный метод)	
M2 идея использования определения центра тяжести (с формулой)	0.50
M2 измерение вертикальных координат середин участков цепочки (каждый участок — не более 20 звеньев)	1.50
M2 положение центра тяжести (с ед. измерения) ворота узкие (14,0 - 15,0 см) — 2,0 ворота широкие (13,5-15,5 см) — 1,0	2 × 1.00

7^{1.00} Расстояние h по высоте от центра тяжести цепочки до уровня точек подвеса, если цепочку натянуть, потянув вниз за середину как показано на рисунке.

Нахождение центра тяжести натянутой цепочки при $l = 85$ см (либо формула - теорема Пифагора, либо прямое измерение) (с ед. измерения) ворота (12,5 см - 14,0 см)	1.00
--	------

zuzu - we are what they grow beyond.

Решение

I Условие

§ Решение

M Разбалловка

¹ 15.00 Снимите и изобразите на одном графике (формат A5) участки ВАХ диода для 4-х температур из диапазона 20°C – 60°C (для каждой ВАХ достаточно получить 5 точек в интервале токов от 5мА до 15мА).

Сопrotивления резисторов магазина измеряются омметром. $R_{BC} = 5,00\text{Ом}$, $R_{CD} = 100\text{Ом}$, $R_{DE} = 200\text{Ом}$, $R_{EF} = 400\text{Ом}$, $R_{FG} = 800\text{Ом}$ (в разных установках величины сопротивлений могут отличаться от указанных в пределах 10 %).

Для снятия ВАХ необходимо подключить диод в прямом направлении к контакту А и контактам С, D, E, F или G магазина сопротивлений. Дополнительные точки ВАХ в интересующем диапазоне могут быть получены при соединении проводом различных контактов магазина.

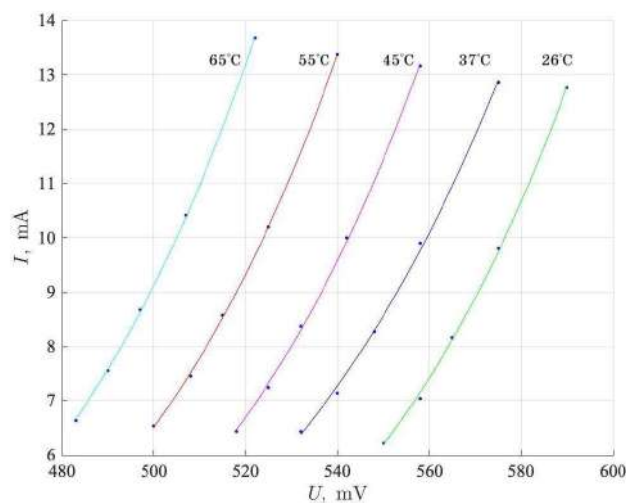
Снять 5 точек ВАХ в пределах от 5 до 15мА, можно, например, при величинах сопротивлений магазина: 750м, 950м, 1150м, 1350м, 1550м. Напряжение измеряется вольтметром непосредственно на контактах, к которым подключен диод. Сила тока рассчитывается через напряжение на одном из последовательно включенных резисторов. В данном решении измерялось напряжение на резисторе $R_{CD} = 9,80\text{Ом}$.

За время измерения одной ВАХ температура в термостате изменяется не более чем на 1°C, и этим можно пренебречь. Для увеличения скорости остывания системы в интервале между измерениями пластиковый стакан можно вливать из пенопластового стакана, но на время снятия ВАХ первоначальную конструкцию термостата необходимо восстанавливать.

В данном решении ВАХ снимались при 65, 55, 45, 37 и 26 °C. В таблице представлены полученные результаты. Условные обозначения: U – напряжение на диоде, I – сила тока через диод.

$T = 26\text{ }^\circ\text{C}$	U_d , мВ	550	590	565	575	558
	U_r , мВ	61	125	80	96	69
	I , мА	6,22	12,76	8,16	9,80	7,04
$T = 37\text{ }^\circ\text{C}$	U_d , мВ	530	575	548	558	540
	U_r , мВ	62	126	81	97	70
	I , мА	6,33	12,86	8,27	9,90	7,14
$T = 45\text{ }^\circ\text{C}$	U_d , мВ	518	558	532	542	525
	U_r , мВ	63	129	82	98	71
	I , мА	6,43	13,16	8,37	10,00	7,24
$T = 55\text{ }^\circ\text{C}$	U_d , мВ	500	540	515	525	508
	U_r , мВ	64	131	84	100	73
	I , мА	6,53	13,37	8,57	10,20	7,45
$T = 65\text{ }^\circ\text{C}$	U_d , мВ	483	522	497	507	490
	U_r , мВ	65	134	85	102	74
	I , мА	6,63	13,67	8,67	10,41	7,55

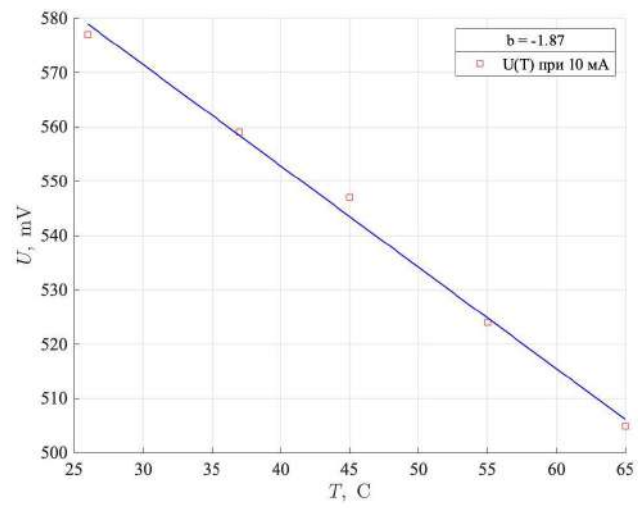
На рисунке представлены фрагменты пяти ВАХ при разных температурах (слева-направо уменьшение температуры).



² 3.50 По результатам измерений постройте график (формат A5) зависимости напряжения на диоде U_x от температуры T при силе тока $I_x = 10\text{мА}$.

Из графиков находим напряжение на диоде при токе $I = 10\text{мА}$.

T , °C	26	37	45	55	65
U_{10} , мВ	577	559	547	524	505



3^{1.50} По графику зависимости $U_x(T)$ определите ТКН диода.

По графику зависимости $U_x(T)$ находим $\eta = -1,87 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$, что согласуется со справочными данными для кремниевых полупроводниковых диодов.

Ответ: $\eta = -1,87 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$

Разбалловка

I Условие

§ Решение

M Разбалловка

¹ 15.00 Снимите и изобразите на одном графике (формат А5) участки ВАХ диода для 4-х температур из диапазона 20°C – 60°C (для каждой ВАХ достаточно получить 5 точек в интервале токов от 5мА до 15мА).

Измерено хотя бы одно сопротивление из магазина сопротивлений	0.50
Предложен способ (есть электрическая схема или описание) включения диода и вольтметра	0.50
Описан способ (есть электрическая схема или описание) изменения напряжения на диоде для снятия ВАХ	1.00
Отмечено, что во время измерений диод, термометр и окружающая среда находятся в тепловом равновесии (температура перестает изменяться)	0.20
Таблица 1 пункты ниже:	
Указана температура в диапазоне от 20 до 65 С, при которой производятся измерения в следующих двух пунктах. Примечание: баллы за следующие 2 пункта ставятся, если указано значение температуры.	0.10
Таблица измерений напряжений на диоде и соответствующего напряжения на добавочном сопротивлении при данной температуре. Примечание: без указания номинала сопротивления или его порядкового номера, точек подключения вольтметра, закороченных точек за пункт ставится половина баллов. не меньше 5 — 0,6 3 или 4 — 0,3 меньше 3 — 0	2 × 0.30
Из таблицы измерений напряжения получены значения силы тока через диод в интервале от 5 до 15 мА при измеренных напряжениях на диоде для данной температуры. Примечание: учитываются только те значения силы тока, интервал между которыми не меньше 1 мА. Количество "хороших" точек: не меньше 5 — 1,5 3 или 4 — 1,0 1 или 2 — 0,5	3 × 0.50
Таблица 2 пункты ниже:	
Указана температура в диапазоне от 20 до 65 С, при которой производятся измерения в следующих двух пунктах. Примечание: баллы за следующие 2 пункта ставятся, если указано значение температуры.	0.10
Таблица измерений напряжений на диоде и соответствующего напряжения на добавочном сопротивлении при данной температуре. Примечание: без указания номинала сопротивления или его порядкового номера, точек подключения вольтметра, закороченных точек за пункт ставится половина баллов. не меньше 5 — 0,6 3 или 4 — 0,3 меньше 3 — 0	2 × 0.30
Из таблицы измерений напряжения получены значения силы тока через диод в интервале от 5 до 15 мА при измеренных напряжениях на диоде для данной температуры. Примечание: учитываются только те значения силы тока, интервал между которыми не меньше 1 мА. Количество "хороших" точек: не меньше 5 — 1,5 3 или 4 — 1,0 1 или 2 — 0,5	3 × 0.50
Таблица 3 пункты ниже:	
Указана температура в диапазоне от 20 до 65 С, при которой производятся измерения в следующих двух пунктах. Примечание: баллы за следующие 2 пункта ставятся, если указано значение температуры.	0.10
Таблица измерений напряжений на диоде и соответствующего напряжения на добавочном сопротивлении при данной температуре. Примечание: без указания номинала сопротивления или его порядкового номера, точек подключения вольтметра, закороченных точек за пункт ставится половина баллов. не меньше 5 — 0,6 3 или 4 — 0,3 меньше 3 — 0	2 × 0.30

Из таблицы измерений напряжения получены значения силы тока через диод в интервале от 5 до 15 мА при измеренных напряжениях на диоде для данной температуры. Примечание: учитываются только те значения силы тока, интервал между которыми не меньше 1 мА. Количество "хороших" точек: не меньше 5 — 1,5 3 или 4 — 1,0 1 или 2 — 0,5	3 × 0,50
Таблица 4 пункты ниже:	
Указана температура в диапазоне от 20 до 65 С, при которой производятся измерения в следующих двух пунктах. Примечание: баллы за следующие 2 пункта ставятся, если указано значение температуры.	0,10
Таблица измерений напряжений на диоде и соответствующего напряжения на добавочном сопротивлении при данной температуре. Примечание: без указания номинала сопротивления или его порядкового номера, точек подключения вольтметра, закороченных точек за пункт ставится половина баллов. не меньше 5 — 0,6 3 или 4 — 0,3 меньше 3 — 0	2 × 0,30
Из таблицы измерений напряжения получены значения силы тока через диод в интервале от 5 до 15 мА при измеренных напряжениях на диоде для данной температуры. Примечание: учитываются только те значения силы тока, интервал между которыми не меньше 1 мА. Количество "хороших" точек: не меньше 5 — 1,5 3 или 4 — 1,0 1 или 2 — 0,5	3 × 0,50
График. Примечание: если построен один график или построено несколько графиков в разных осях, то оцениваются только 1.22, 1.24, 1.26.	
Выбран разумный масштаб, оси подписаны и оцифрованы Примечание: без графика этот пункт оценивается 0,0	0,50
Верное указание соответствия между графиками и температурами.	0,20
Не менее 80% точек перенесено верно (по 0,2 для каждой зависимости)	4 × 0,20
Проведены сглаживающие линии (без предыдущего пункта не оценивается)	2,00
Кривые имеют характерный вид	0,50

2^{3,50} По результатам измерений постройте график (формат А5) зависимости напряжения на диоде U_x от температуры T при силе тока $I_x = 10\text{ мА}$.

Определены значения напряжений на диоде при силе тока $I_0 = 10\text{ мА}$ (есть таблица или выноски на графике).	1,00
График зависимости напряжения на диоде U_0 от температуры T при силе тока $I_0 = 10\text{ мА}$	
Выбран разумный масштаб, оси подписаны и оцифрованы Примечание: без графика этот пункт оценивается 0,0	0,50
Верно нанесены все экспериментальные точки из таблицы измерений или из графиков ВАХ	1,00
Проведена прямая (без предыдущих пунктов не оценивается)	1,00

3^{1,50} По графику зависимости $U_x(T)$ определите ТКН диода.

Произведены вычисления углового коэффициента k наклона прямой (есть пояснения на основании каких данных произведён расчёт)	0,50
Коэффициент наклона (без предыдущего пункта не оценивается): $K = -(1,8 - 2,0)\text{ мВ/С} — 1,0\text{ балл}$ $K = -(1,7 - 2,1)\text{ мВ/С} — 0,3\text{ балла}$ $K = -(1,6 - 2,2)\text{ мВ/С} — 0,1\text{ балл}$ $K = +(1,8 - 2,0)\text{ мВ/С} — 0,2\text{ балла}$ $K = +(1,7 - 2,1)\text{ мВ/С} — 0,1\text{ балла}$ $K = +(1,6 - 2,2)\text{ мВ/С} — 0,0\text{ баллов}$	10 × 0,10