



Всероссийская олимпиада по физике  
имени Дж. К. Максвелла

Заключительный этап  
Экспериментальный тур

Комплект задач подготовлен Центральной предметно-методической комиссией по физике Всероссийской олимпиады школьников

## Авторы задач

### 7 класс

1. Кармазин С.В.
2. Иоголевич И.А.

### 8 класс

1. Иоголевич И.А.
2. Слободянин В.П.,  
Иоголевич И.А.

Общая редакция — Замятнин М.Ю., Мартемьянова Т.Ю.,  
Иоголевич И.А., Слободянин В.П..

Иллюстрации и верстка — Клешиков М.С.

**7 класс****Задача 1. Сколько весит рубль?**

**Оборудование:** деревянный брусок, белый стаканчик, короткая линейка, коричневый стакан с водой, шприц без делений, 10 монет достоинством 1 рубль.

1. Запишите номер деревянного бруска. (0,1 балл)
2. Определите:
  - (а) Плотность  $\rho_d$  и массу  $m_d$  деревянного бруска.
  - (б) Плотность  $\rho_m$  и массу  $m_m$  монеты достоинством 1 рубль.

Плотность воды  $\rho_0 = 1,0 \text{ г/см}^3$ . Площадь круга радиуса  $R$  равна  $S = \pi R^2$ .

**Внимание!** Запрещается делать пометки на деревянном бруске.

## Задача 2. Весомое отклонение

**Оборудование:** алюминиевый уголок с приклеенной к нему мерной лентой; груз (большая гайка) массой  $M = 10$  г; груз (малая гайка) массой  $m$ ; длинная нить; короткая нить; лист бумаги с линиями, проведенными через 1 см; 2 полоски скотча; миллиметровая бумага формата А4 (для построения графика).

Если отклонить и отпустить без начальной скорости груз массой  $m$ , подвешенный на натянутой нити, то при прохождении им нижнего положения сила натяжения нити превысит силу тяжести  $mg$  на величину  $\Delta F$ . Значение  $\Delta F$  зависит от высоты  $h$ , на которую был поднят груз относительно нижней точки.

### Задание:

1. Измерьте массу  $m$  груза (малой гайки).
2. Соберите установку: подвесьте легкую гайку, прикрепите выданный лист линованной бумаги к уголку скотчем так, как показано на фотографии, предварительно согнув его по линии сгиба.

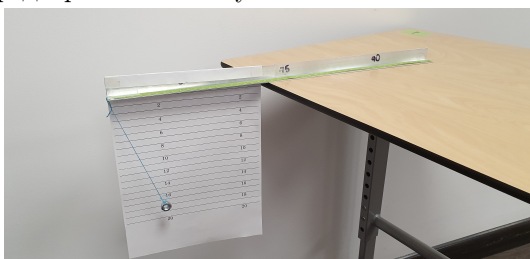


Рис. 1

3. Схематически изобразите вашу установку с обозначением всех используемых в решении величин (длин и масс).
4. Исследуйте зависимость  $\Delta F$  от  $h$  (не менее 7 точек) при постоянной длине нити  $R$ . Результаты измерений занесите в таблицу.
5. Постройте график полученной зависимости.
6. Согласно теории, зависимость должна иметь вид:

$$\Delta F = \left( \beta \frac{mg}{R} \right) h + B,$$

где  $\beta$  — безразмерный коэффициент,  $B$  — постоянная величина. Определите коэффициент  $\beta$ .

Ускорение свободного падения  $g = 10$  Н/кг.

*Примечание:* короткая нить может использоваться как оттяжка для упрощения запуска груза с заданной высоты.

**7 класс. Возможные решения****7.1 Сколько весит рубль?**

Все бруски имеют различные массы. Приведенные в решении данные относятся к конкретному бруску и могут отличаться в разных комплектах. Определим размеры деревянного бруска:

толщина  $a = 10$  мм, ширина  $b = 19,5$  мм, длина  $c = 60$  мм.  $V = 11,7$  см<sup>3</sup>.

Массу бруска  $m$  найдем по высоте  $h$  уровня воды в стакане, при которой всплывает вертикально стоящий брусок,  $h = 32$  мм. Тогда

$$m = hab\rho_0 = 6,2 \text{ г},$$

где  $\rho_0 = 1,0$  г/см<sup>3</sup> плотность воды. Плотность бруска

$$\rho = \frac{m}{V} = 0,53 \text{ г/см}^3.$$

Массу монеты  $M$  определим по высоте  $H = 48$  мм уровня воды в стакане, при котором всплывает деревянный брусок с лежащей на нем монетой.

$$M = (H - h)ab\rho_0 = 3,1 \text{ г}.$$

Диаметр монеты  $D$  измеряем методом рядов. На длине линейки умещается три монеты.  $3D = 62$  мм,  $D = 20,7$  мм. Толщину монеты  $d$  определяем так же методом рядов, сложив в стопку 10 монет. Толщина стопки  $10d = 15$  мм,  $d = 1,50$  мм.

Объем монеты  $V_M = \frac{\pi D^2}{4}d = 0,50$  см<sup>3</sup>.

Плотность монеты  $\rho_M = \frac{M}{V_M} = 6,2$  г/см<sup>3</sup>.

## 7.2 Весомое отклонение

Определим массу  $m$  маленькой гайки, используя уголок в качестве рычага, а край стола как ось вращения. Большая гайка служит эталонной массой. Проще, если центр масс уголка находится на краю стола. Измеряя плечи и обрабатывая результаты, получим:  $m = 4,6$  г.

Прикрепим линованный лист бумаги к уголку. Привяжем гайку массой  $m$  к краю уголка таким образом, чтобы длина нити оказалась  $R = 20$  см. Привяжем к гайке короткую нить. На рис.1 приведены используемые далее обозначения.

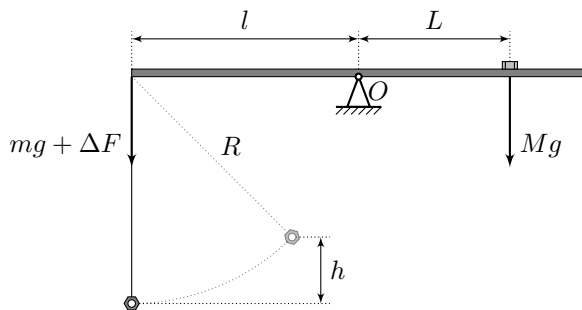


Рис. 2

Определим положение центра масс (точка  $O$ ) уголка с прикрепленным к нему листом линованной бумаги. При всех дальнейших измерениях эта точка располагается на краю стола для того, чтобы в расчетах не учитывалась масса уголка. Расстояние от свисающего края уголка до точки  $O$  равно  $l = 24$  см.

Расположим большую гайку на расстоянии  $L$  от оси вращения. Поднимем малую гайку за короткую нитьку на высоту  $h$ , обеспечив натяжение длинной нитки. Отпустим гайку и будем наблюдать за концом уголка, лежащим на столе. Если в момент прохождения гайкой нижней точки траектории произойдет отрыв уголка от стола, уменьшим начальную высоту подъема. Если, отрыв не происходит, увеличим начальную высоту подъема гайки. Таким образом, можно определить граничное значение  $h$ , для данного  $L$ . Снимем зависимость  $h(L)$  (Табл.1)

№	$L$ , мм	$h$ , см	$\Delta F$ , Н
1	130	1,5	0,006
2	140	2,5	0,010
3	150	4,0	0,014
4	160	4,5	0,018
5	170	5,5	0,022
6	180	6,0	0,026
7	190	7,0	0,031
8	200	8,0	0,035
9	210	9,0	0,039
10	220	10,5	0,043

Согласно правилу моментов, отрыв уголка от стола происходит при

$$(mg + \Delta F)l = MgL,$$

откуда следует, что

$$\Delta F = \frac{MgL}{l} - mg \quad (1)$$

Занесем в таблицу значения  $\Delta F$ , вычисленные по формуле (1), и построим график полученной зависимости  $\Delta F(h)$  (рис. 3).

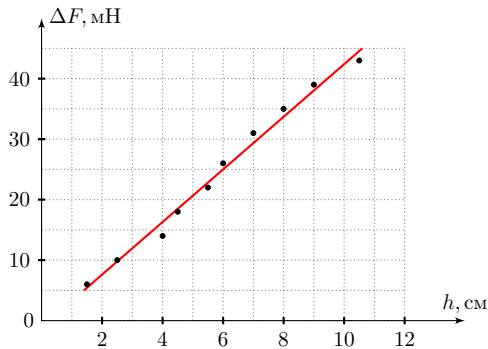


Рис. 3

Согласно условию  $\Delta F = \left(\beta \frac{mg}{R}\right) h + B$ . Отсюда

$$\beta = \frac{\frac{\Delta F}{\Delta h} R}{mg},$$

где  $\frac{\Delta F}{\Delta h}$  — угловой коэффициент приведенного выше графика. Подставляя значения величин, получаем  $\beta = 1,9$ . Теоретическое значение  $\beta = 2$ .

## 8 класс

### Задача 1. Пикнометр

**Оборудование:** пикнометр; весы электронные (погрешность 0,03 г); секундомер; шприц объемом 20 мл; шприц объемом 5 мл; пластиковый стакан с водой (комнатной температуры); пустой пластиковый стакан, термометр; штатив деревянный; две банковские резинки для крепления термометра, полоска миллиметровой бумаги; полоска скотча; три листа миллиметровой бумаги формата А5 для построения графиков, лупа, горячая вода по требованию.

#### Часть 1. Плотность воды при комнатной температуре.

1. Измерьте плотность воды при комнатной температуре. Повторите измерения ещё 2 раза. Усредните полученные результаты. Запишите полученные данные в лист ответов, указав измеренное значение комнатной температуры.
2. Кратко опишите методику измерений.

#### Часть 2. Зависимость плотности воды от температуры.

В этой части задания вам предлагается исследовать температурную зависимость плотности  $\rho$  воды, а также зависимость показаний термометра  $t$  от времени  $\tau$ . Придумайте и опишите способ повышения точности измерений плотности  $\rho$  воды.

В целях экономии времени пункты 1 и 2 выполняйте одновременно.

Для остывающей воды снимите:

1. Зависимость показаний  $\tau$  секундомера от температуры воды  $t$  при ее изменении на  $1^\circ\text{C}$ ;
2. Зависимость показаний  $t$  термометра от высоты  $h$  столба воды (над риской пикнометра) через каждый миллиметр.
3. Полученные результаты занесите в таблицы на листе ответов. Постройте графики зависимости  $t(\tau)$  и  $\rho(t)$ .

Горячая вода (примерно полстакана с температурой около  $70^\circ\text{C}$ ), выдается по требованию. Достаточно провести измерения при остывании воды от  $65^\circ\text{C}$  до  $40^\circ\text{C}$ .

*Примечание:* тепловым расширением стекла можно пренебречь.



### Часть 3. Температурный коэффициент объемного расширения.

Температурным коэффициентом объемного расширения называется величина

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\Delta V}{\Delta t} \right),$$

где  $\Delta V$  — изменение объема  $V$  воды при изменении температуры на  $\Delta t$ . Определите температурный коэффициент объемного расширения  $\alpha$  воды, соответствующий температуре воды  $55^\circ\text{C}$ .

### Часть 4. Скорость роста температуры.

Определите при помощи графика зависимости  $t(\tau)$  скорости изменения температуры воды  $v = \frac{\Delta t}{\Delta \tau}$  при температурах воды  $60^\circ\text{C}$  и  $45^\circ\text{C}$ . **Примечание:**

1. Пикнометр — стеклянный сосуд специальной формы и определённой вместимости, применяемый для измерения плотности веществ (фото слева).  
Вам выдан пикнометр вместимостью  $V = 50$  мл. Этому объёму соответствует риска на горловине прибора.
2. Способ крепления термометра к штативу показан на фото справа (см. рис. 4).

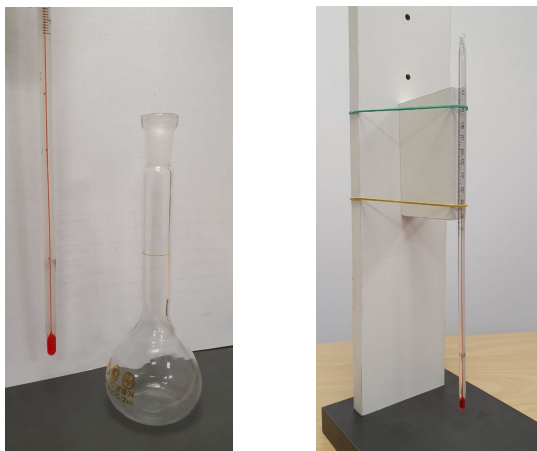


Рис. 4

## Задача 2. Исследование транзистора

Транзистор — это полупроводниковый элемент с тремя выводами (база, эмиттер, коллектор), который в этом задании используется для усиления тока. На рисунке слева показаны обозначения этих выводов на электрических схемах. На рисунке справа показано, как определить выводы выданного вам транзистора.

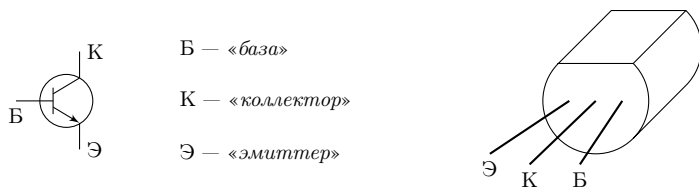


Рис. 5

**Оборудование:** круглая батарейка АА с проводами; батарейка типа «Крона» с проводами; мультиметр с отключенным режимом амперметра (погрешность 1% + 2 ед. последнего разряда) с проводами; макетная плата; потенциометр (переменный резистор с тремя выводами); транзистор; два резистора; 4 провода для коммутации; лист миллиметровой бумаги формата А5 (для построения графика).

*Примечание:* Макетная плата (рис. 6) используется для сборки электрической цепи, подключения к ней источников питания и измерительных приборов. Каждые пять соседних гнезд макетной платы, расположенные в одном ряду, внутри платы соединены между собой. Например, соединены выводы, отмеченные на рисунке справа серым цветом.

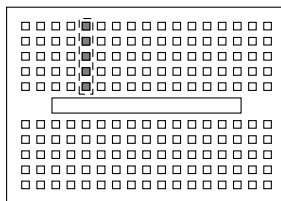
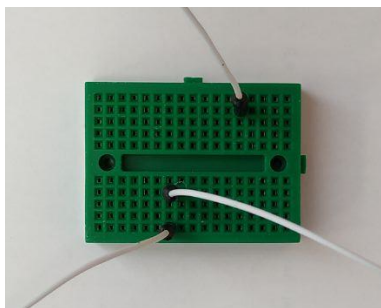


Рис. 6

**Задание:**

1. Измерьте сопротивления выданных вам постоянных резисторов. Запишите полученные значения в лист ответов ( $R_1 > R_2$ ).
2. Соберите цепь (см. рис. 7) с источником питания и потенциометром. Убедитесь, что при вращении ручки потенциометра показания вольтметра изменяются в диапазоне от 0 до 1 В.

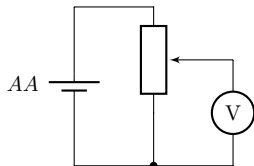


Рис. 7

3. Соберите электрическую цепь согласно схеме, изображенной на рисунке 8. Изменяя потенциометром напряжение между базой и эмиттером, снимите зависимость силы тока  $I_K$  в цепи коллектора (ток, текущий через резистор  $R_2$ ) от силы тока  $I_B$  в цепи базы (ток, текущий через резистор  $R_1$ ).

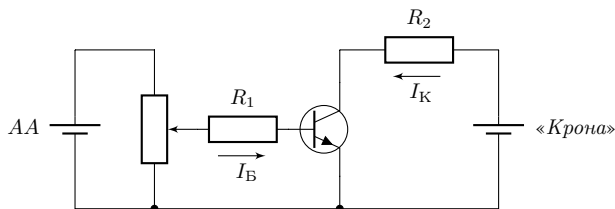


Рис. 8

Выполните 20 измерений тока коллектора  $I_K$  в диапазоне значений от 0 до максимального значения. Результаты измерений занесите в таблицу в листе ответов. Постройте на миллиметровой бумаге график зависимости  $I_K$  от тока базы  $I_B$ .

4. Определите коэффициент усиления по току  $\beta = \frac{I_K}{I_B}$  при  $I_K = 4$  мА.
5. Током насыщения называется максимальная сила тока в цепи коллектора. Определите ток насыщения  $I_{\text{нас}}$ .

## 8 класс. Возможные решения

### 8.1 Пикнометр

**Часть 1.** Краткое описание измерений.

Взвесим на весах пустой пикнометр ( $m_{\text{п}} = 25,90$  г). Аккуратно с помощью шприца наполним пикнометр до риски водой с комнатной температурой ( $t_{\text{к}} = 22^{\circ}\text{C}$ ). Первые 40 мл можно налить большим шприцем, а потом лучше использовать маленький. Взвесим пикнометр с водой ( $m_i$ ). Объем воды нам известен, так как в пикнометр до риски помещается  $V = 50$  мл. Масса воды равна разности масс полного и пустого сосуда. Плотность — это отношение массы воды к её объёму. Выльем воду из пикнометра и повторим измерения ещё 2 раза. Отметим, что измерять массу пустого сосуда можно только до первого заполнения водой, так как остатки воды удалить полностью из сосуда невозможно.

Расчётная формула:

$$\rho = \frac{m_i - m_{\text{п}}}{V}.$$

Таблица измерений (1)

№	1	2	3	Среднее
$m_i$ , г	75,78	75,83	75,80	75,80
$V$ , см <sup>3</sup>	50,0	50,0	50,0	50,0
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	0,9976	0,9986	0,9980	0,9978

**Часть 2.** Описание способа измерений, повышающего их точность.

Наклеим на пикнометр кусочек миллиметровой бумаги в качестве шкалы для измерения высоты столба воды. Чтобы связать объём жидкости с высотой столба необходимо знать площадь сечения трубки пикнометра  $S_{\text{п}}$ . Ее мы можем рассчитать по изменению уровня воды в трубке при добавлении известного объёма воды из маленького шприца. Отметим, что наличие термометра в трубке уменьшит площадь сечения, что увеличит чувствительность установки к изменению объема. Однако придется измерить описанным выше методов и новую площадь сечения  $S$ . Нальем горячую воду чуть выше риски пикнометра, измерим начальный объём жидкости ( $V_0$ ). Опустим в воду термометр и закрепим конструкцию на штативе. При этом, шкала термометра от  $70^{\circ}\text{C}$  до  $30^{\circ}\text{C}$  должна быть доступна для считывания показаний. Подождем пока столбик термометра перестанет расти — это будет начало отсчета времени. Будем снимать показания секундомера при снижении температуры на 1 градус, и при понижении уровня воды

на 1 мм (примерно через 3 градуса). После достижения водой температуры 30 °С измерим массу пикнометра с водой ( $m$ ). Проведем расчеты и построим графики зависимости температуры от времени и плотности от температуры.

Расчетная формула

$$\rho = \frac{m - m_{\text{п}}}{V_0 - S(h_0 - h)}$$

Таблица измерений (2а)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$h$ , мм	24	23	20	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
$t$ , °С	72	69	66	63	61	57	54	51	49	44	42	41	38
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	0.977	0.978	0.981	0.982	0.983	0.984	0.985	0.986	0.987	0.988	0.989	0.990	0.990

Таблица измерений (2б)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\tau$ , с	0	33	62	98	135	170	210	255	295	355	400	440	500
$t$ , °С	72	71	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61	60
№	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$\tau$ , с	540	610	665	715	780	845	970	1050	1120	1200	1285	1550	1660
$t$ , °С	59	58	57	56	55	54	52	51	50	49	48	45	44

Здесь нужно привести измеренные физические величины, которые не вошли в таблицы 2, но необходимы для дальнейших вычислений.

$V_0 = 50$  мл,  $h_0 = 24$  мм,  $m_{\text{п}} = 25,90$  г,  $m = 74,8$  г,  $S = 0,71$  см<sup>2</sup>,  $S_{\text{п}} = 1,0$  см<sup>2</sup>

### Часть 3.

Краткое описание способа нахождения коэффициента объемного расширения воды.

По данным измерений построим зависимость объема воды от температуры и по угловому коэффициенту наклона при  $t = 55$  °С определим

$$\alpha = 4,6 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

### Часть 4.

Скорость изменения температуры при 60 °С и 45 °С найдём из графика зависимости температуры от времени. Проведём касательные к графику в интересующих нас точках. Скорость остывания будет угловым коэффициентом данных касательных. По результатам измерений:

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau}(t = 60 \text{ } ^\circ\text{C}) \approx 0,02 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}, \quad \frac{\Delta t}{\Delta \tau}(t = 45 \text{ } ^\circ\text{C}) \approx 0,01 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}.$$

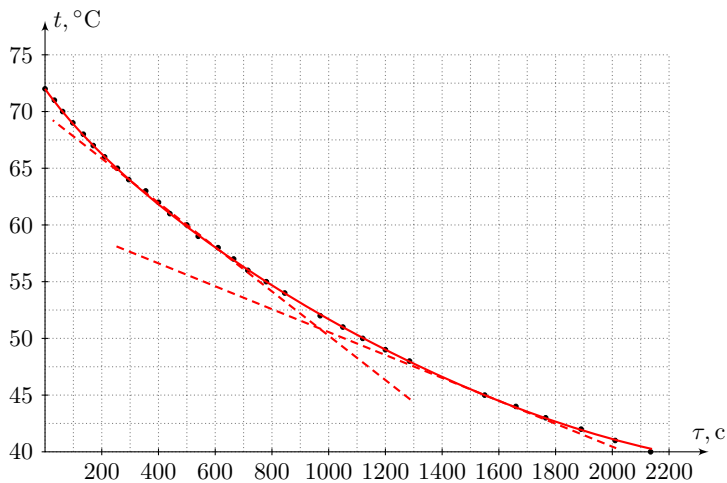


Рис. 9

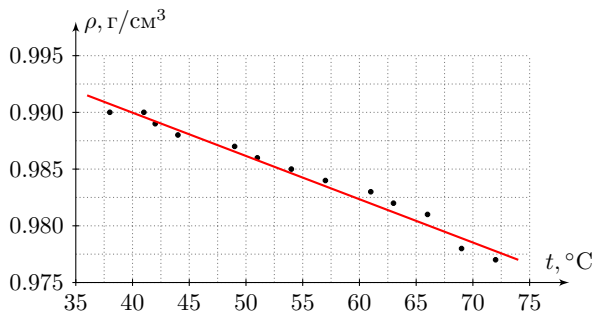


Рис. 10

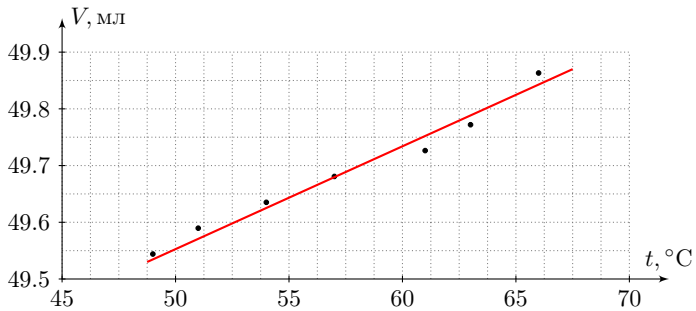


Рис. 11

## 8.2 Исследование транзистора

1.  $R_1 = 4,7 \text{ кОм}$ ,  $R_2 = 1,0 \text{ кОм}$ .

2. Таблица измерений

№	$U_1, \text{мВ}$	$I_B, \text{мкА}$	$U_2, \text{мВ}$	$I_K, \text{мА}$
1	0	0,0	0	0
2	31	6,6	840	0,84
3	54	11,5	1460	1,46
4	72	15,3	1970	1,97
5	92	19,6	2510	2,51
6	109	23,2	2990	2,99
7	127	27,0	3480	3,48
8	147	31,3	4050	4,05
9	165	35,1	4550	4,55
10	179	38,1	4950	4,95
11	200	42,6	5530	5,53
12	216	46,0	5950	5,95
13	235	50,0	6470	6,47
14	257	54,7	7070	7,07
15	290	61,7	7930	7,93
16	310	66,0	8430	8,43
17	325	69,1	8720	8,72
18	351	74,7	8800	8,80
19	432	91,9	8850	8,85
20	588	125,2	8880	8,90
21	745	158,5	8910	8,91

График зависимости  $I_K(I_B)$ :

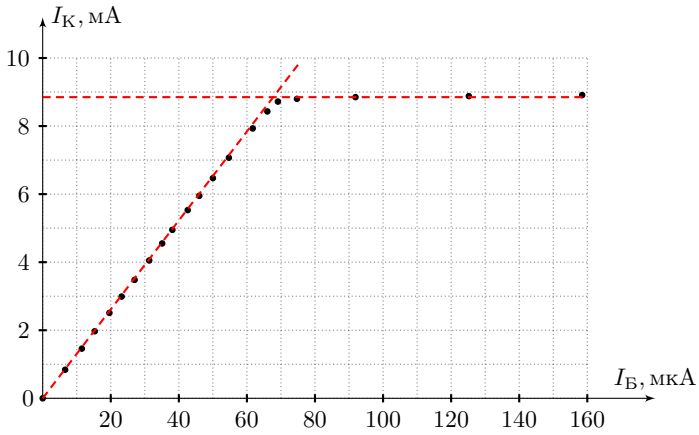


Рис. 12

3.  $\beta = \frac{I_K}{I_B} \approx 130$ .

4. Сила тока насыщения  $I_{\text{нас}} = 8,8$  мА.