

A1^{0.20}

Установите ток через источник 1.4 А. Подуйте на проволоку и выберите в листах ответов верный вариант. Объясните почему так произошло.

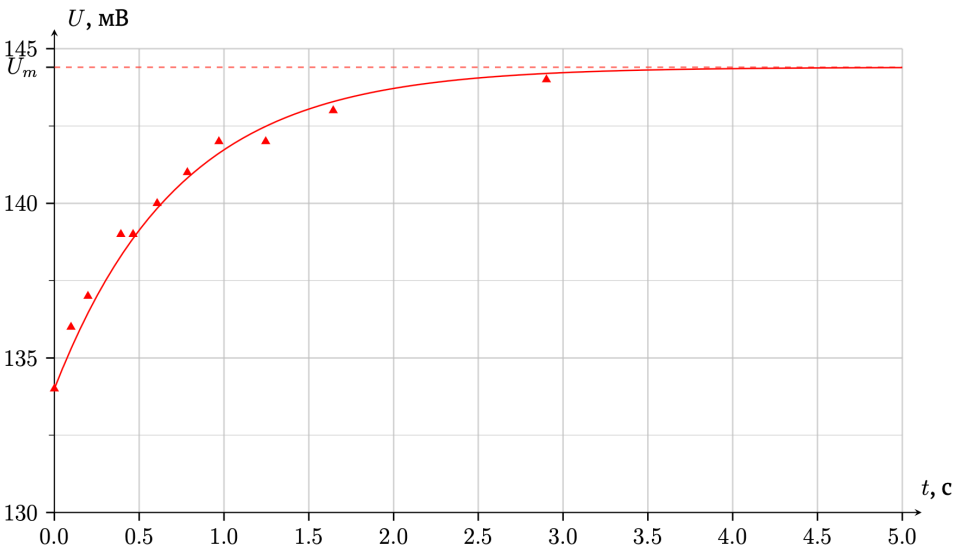
Ответ: Если подуть на проволоку, напряжение на ней уменьшится. Объясняется тем, что удельное сопротивление падает, когда температура уменьшается

A2^{1.00}

Снимите зависимость напряжения на проволоке от времени в диапазоне 0-5 с после подключения к источнику при силе тока через него $I = 1.0$ А. Укажите характерное время, за которое напряжение на проволоке устанавливается.

$t, \text{ мс}$	0.00	0.10	0.20	0.39	0.46	0.61	0.78	0.97	1.25	1.64
$U_{avg}, \text{ мВ}$	134	136	137	139	139	140	141	142	142	143
$\ln \frac{U_m - U}{1 \text{ мВ}}$	2.30	02.08	1.95	1.61	1.61	1.39	1.10	0.69	0.69	0.00

Ответ:



Ответ:

$$\tau \approx 3 \text{ с}$$

A3^{0.60}

Снимите зависимость установившегося напряжения U_m через проволоку от силы тока $I < 1.5$ А через проволоку. Сделайте не менее 15 измерений.

$I, \text{ А}$	0.25	0.29	0.37	0.40	0.48	0.56	0.64	0.70	0.77	0.90	0.99	1.06	1.15	1.29	1.46	1.47	1.49	1.31	1.36
$U_m, \text{ мВ}$	32.1	37.5	47.2	51.7	62.4	73.3	84.7	92.6	102.7	123.3	137.7	150.3	166.8	193.1	228	233	236	196	207
$U_m I, \text{ мВт}$	8.0	10.9	17.5	20.7	30.0	41.0	54.2	64.8	79.1	111.0	136.3	159.3	191.8	249.1	332.9	342.5	351.6	256.8	281.5
$U_m / I, \text{ МОм}$	128.4	129.3	127.6	129.3	130.0	130.9	132.3	132.3	133.4	137.0	139.1	141.8	145.0	149.7	156.2	158.5	158.4	149.6	152.2

A4^{0.20}

Теоретически получите зависимость $T(U)$. Ответ выразите через α, I, L, r_0, T, U .

Сопротивление проволоки при температуре T равно:

$$R(T) = \frac{\alpha T L}{\pi r_0^2} = \frac{U}{I}$$

Ответ:

$$T(U) = \frac{\pi r_0^2}{\alpha I L} \cdot U$$

A5^{0.30}

Запишите уравнение теплового баланса для проволоки. Ответ выразите через $U, I, c_{\text{м}}, L, r_0, \rho_{\text{м}}, \beta, T, T_0, \frac{dT}{dt}$.

$$UI dt = \rho_{\text{м}} \pi r_0^2 L c_{\text{м}} dT + \beta \cdot 2 \pi r_0 L (T - T_0) dt$$

Ответ:

$$UI = \rho_{\text{м}} \pi r_0^2 L c_{\text{м}} \frac{dT}{dt} + \beta \cdot 2 \pi r_0 L (T - T_0)$$

А6^{0.30} Теоретически свяжите установившееся напряжение U_m и силу тока I через проволоку. Ответ запишите через $\alpha, T_0, r_0, L, \beta, U_m, I$.

Когда $U = U_m$: $T = T(U_m) = \text{const}$, значит:

$$U_m I = \beta \cdot 2 \pi r_0 L (T(U_m) - T_0)$$

Из пункта А4 выразим $T(U_m)$ и подставим:

$$U_m I = \beta \cdot 2 \pi r_0 L \left(\frac{\pi r_0^2}{\alpha L} \cdot \frac{U_m}{I} - T_0 \right)$$

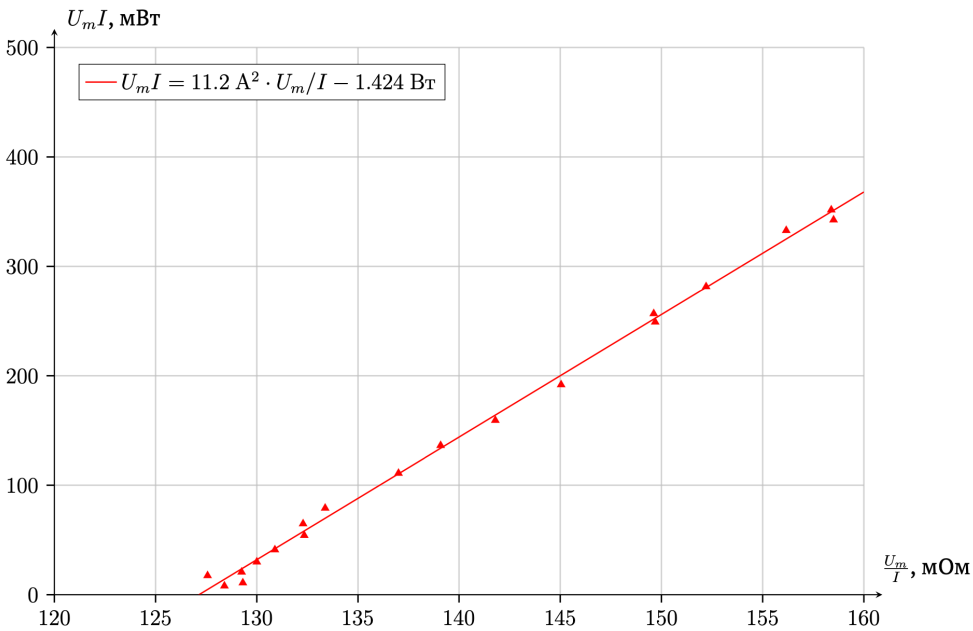
Ответ:

$$U_m I = \beta \cdot 2 \pi r_0 L \left(\frac{\pi r_0^2}{\alpha L} \cdot \frac{U_m}{I} - T_0 \right)$$

А7^{1.20} Постройте график зависимости U_m и I в таких осях, в которых он будет линейным. Из графика получите значение коэффициента теплоотдачи β .

Построим график в осях $U_m I$ и $\frac{U_m}{I}$, $\beta = \frac{\alpha k_{\text{угл}}}{2 \pi^2 r_0^3}$

Ответ:



Ответ:

$$\beta = 263.3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

А8^{0.60} Используя результаты пунктов А4 и А5, получите теоретическую зависимость напряжения на проволоке U от времени t . Ответ выразите через $U_0, \alpha, \beta, I, r_0, L, T_0, \rho_{\text{м}}, c_{\text{м}}, U, t$.

$$UI = \rho_{\text{м}} \pi r_0^2 L c_{\text{м}} \cdot \frac{\pi r_0^2}{\alpha I L} \cdot \frac{dU}{dt} + \beta \cdot 2 \pi r_0 L \left(\frac{\pi r_0^2}{\alpha I L} \cdot U - T_0 \right)$$

$$U \left(I - \frac{2 \beta \pi^2 r_0^3}{\alpha I} \right) + 2 \beta \pi r_0 L T_0 = \rho_{\text{м}} c_{\text{м}} \cdot \frac{\pi^2 r_0^4}{\alpha I} \cdot \frac{dU}{dt}$$

$$\int_0^t dt = \rho_{\text{м}} c_{\text{м}} \cdot \frac{\pi^2 r_0^4}{\alpha I} \cdot \int_{U_0}^{U(t)} \frac{dU}{U \left(I - \frac{2\beta\pi^2 r_0^3}{\alpha I} \right) + 2\beta\pi r_0 L T_0}$$

$$t = \frac{\rho_{\text{м}} c_{\text{м}} \pi^2 r_0^4}{\alpha I^2 - 2\beta\pi^2 r_0^3} \cdot \ln \frac{U \left(I - \frac{2\beta\pi^2 r_0^3}{\alpha I} \right) + 2\beta\pi r_0 L T_0}{U_0 \left(I - \frac{2\beta\pi^2 r_0^3}{\alpha I} \right) + 2\beta\pi r_0 L T_0}$$

$$U \left(I - \frac{2\beta\pi^2 r_0^3}{\alpha I} \right) + 2\beta\pi r_0 L T_0 = \left(U_0 \left(I - \frac{2\beta\pi^2 r_0^3}{\alpha I} \right) + 2\beta\pi r_0 L T_0 \right) \cdot \exp \left(\frac{\alpha I^2 - 2\beta\pi^2 r_0^3}{\rho_{\text{м}} c_{\text{м}} \pi^2 r_0^4} \cdot t \right)$$

$$U(t) = \left(U_0 + \frac{2\beta\pi r_0 L T_0}{I - \frac{2\beta\pi^2 r_0^3}{\alpha I}} \right) \cdot \exp \left(\frac{\alpha I^2 - 2\beta\pi^2 r_0^3}{\rho_{\text{м}} c_{\text{м}} \pi^2 r_0^4} \cdot t \right) - \frac{2\beta\pi r_0 L T_0}{I - \frac{2\beta\pi^2 r_0^3}{\alpha I}}$$

$$U(t) = U_0 - \left(U_0 + \frac{2\beta\pi r_0 L T_0}{I - \frac{2\beta\pi^2 r_0^3}{\alpha I}} \right) \cdot \left(1 - \exp \left(\frac{\alpha I^2 - 2\beta\pi^2 r_0^3}{\rho_{\text{м}} c_{\text{м}} \pi^2 r_0^4} \cdot t \right) \right)$$

Ответ:

$$U(t) = U_0 + \left(\frac{2\alpha I \beta \pi r_0 L T_0}{2\beta\pi^2 r_0^3 - \alpha I^2} - U_0 \right) \cdot \left(1 - \exp \left(- \frac{2\beta\pi^2 r_0^3 - \alpha I^2}{\rho_{\text{м}} c_{\text{м}} \pi^2 r_0^4} \cdot t \right) \right)$$

А9^{0.50}

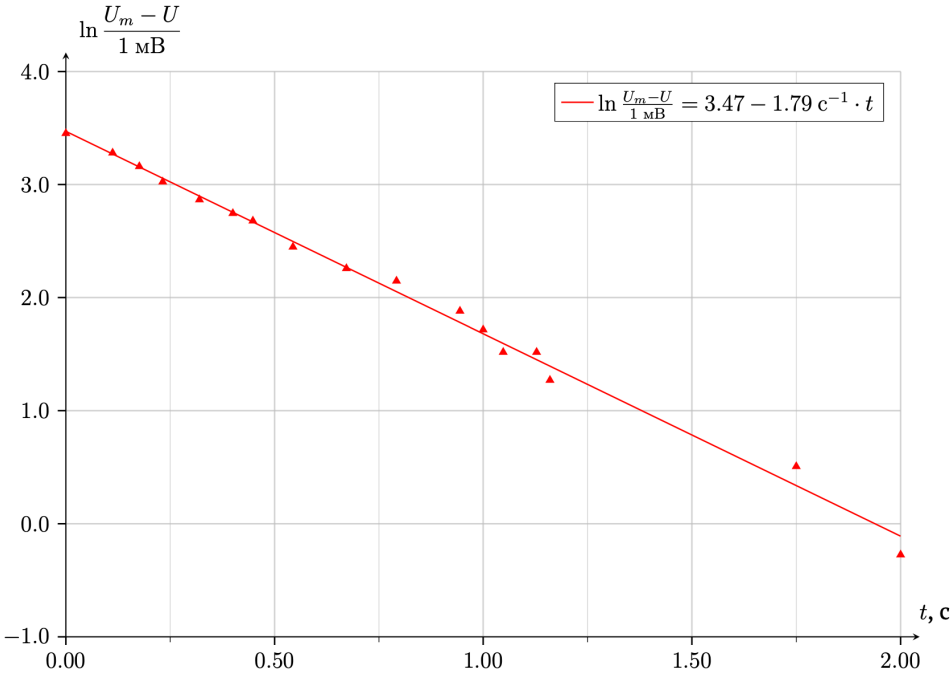
Постройте линеаризованный график зависимости U от t , измеренной в пункте **А2**. Из графика определите удельную теплоемкость меди $c_{\text{м}}$.

$$U(t) = U_0 + (U_m - U_0) \cdot \left(1 - \exp \left(- \frac{2\beta\pi^2 r_0^3 - \alpha I^2}{\rho_{\text{м}} c_{\text{м}} \pi^2 r_0^4} \cdot t \right) \right)$$

$$1 - \frac{U(t) - U_0}{U_m - U_0} = \exp \left(- \frac{2\beta\pi^2 r_0^3 - \alpha I^2}{\rho_{\text{м}} c_{\text{м}} \pi^2 r_0^4} \cdot t \right)$$

$$\ln \frac{U_m - U(t)}{U_m - U_0} = - \frac{2\beta\pi^2 r_0^3 - \alpha I^2}{\rho_{\text{м}} c_{\text{м}} \pi^2 r_0^4} \cdot t$$

Ответ:



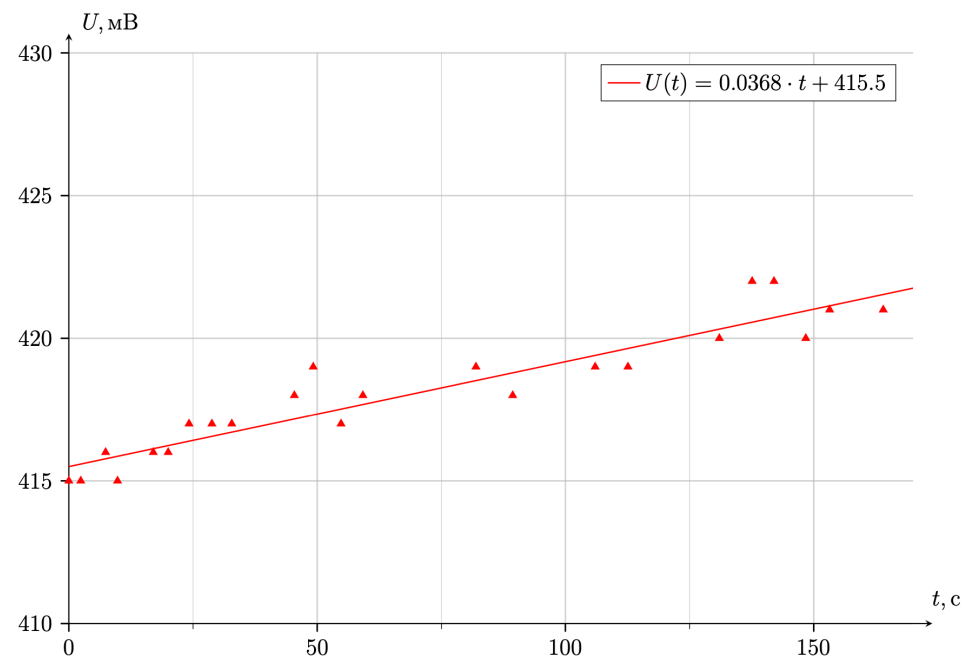
Ответ:

$$c_{\text{м}} = - \frac{2\beta\pi^2 r_0^3 - \alpha I^2}{\rho_{\text{м}} k_{\text{угл}} \pi^2 r_0^4} = 600.7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

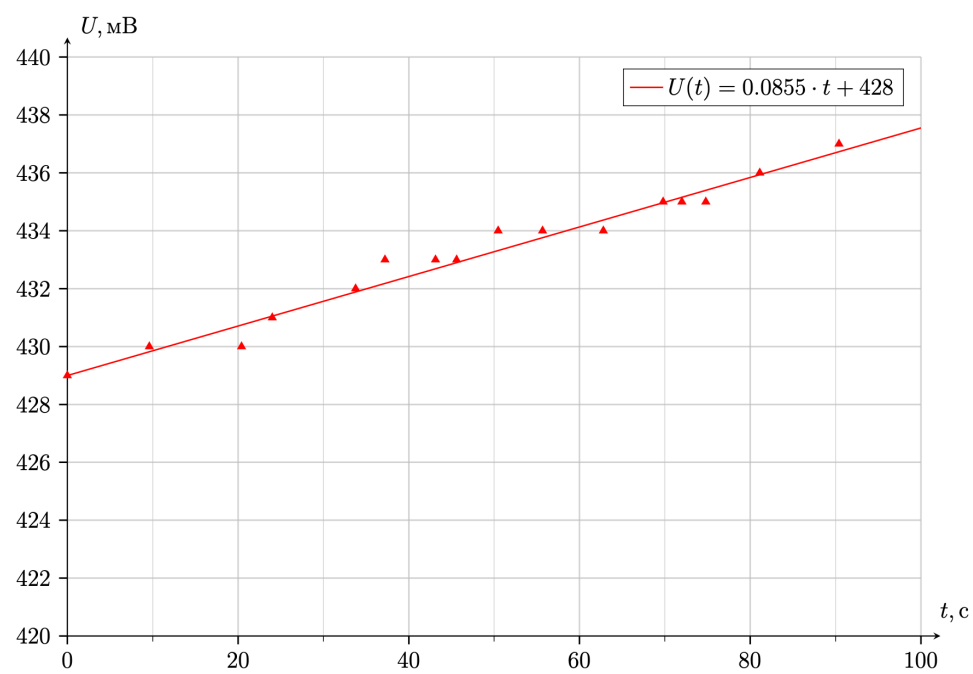
A10^{0.10} Современная теория теплоемкости твердых тел утверждает, что молярная теплоемкость твёрдых тел примерно равна $3R$. Оцените удельную теплоемкость c_M^{th} исходя из этой теории.

$$c_M^{th} = \frac{3R}{\mu} = 392.6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

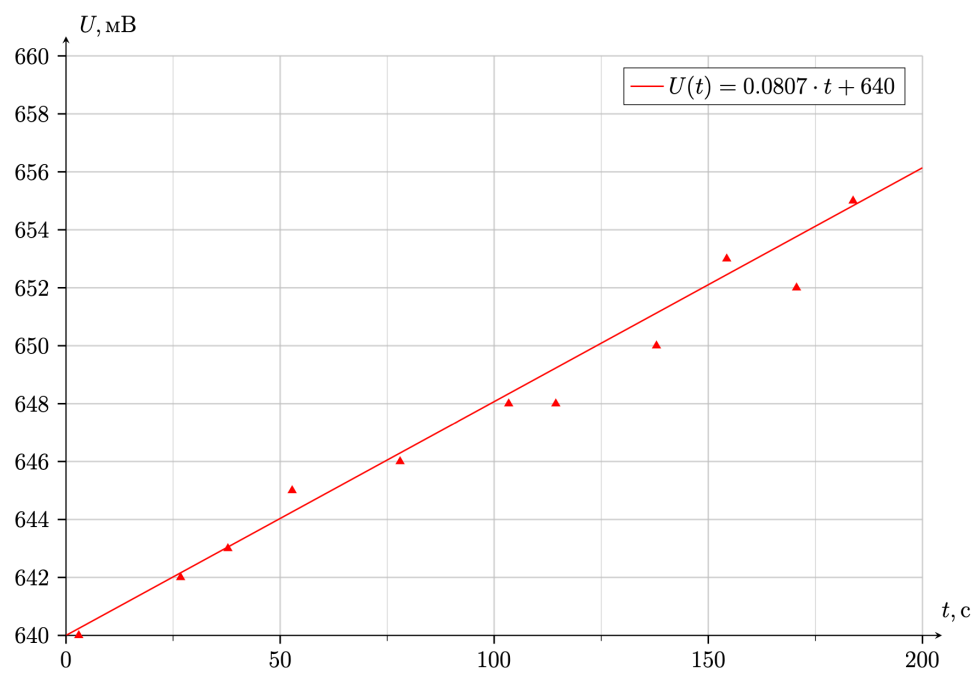
B1^{4.00} Проведите измерения, согласно алгоритму выше, для 5-ти различных значений I из указанного диапазона.



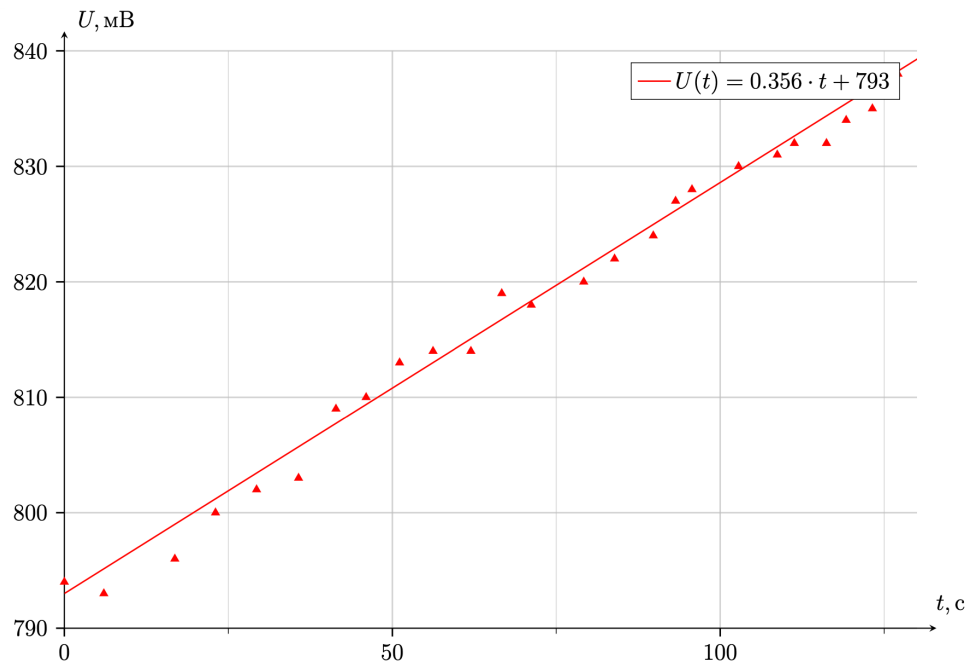
$I = 2.00$ A



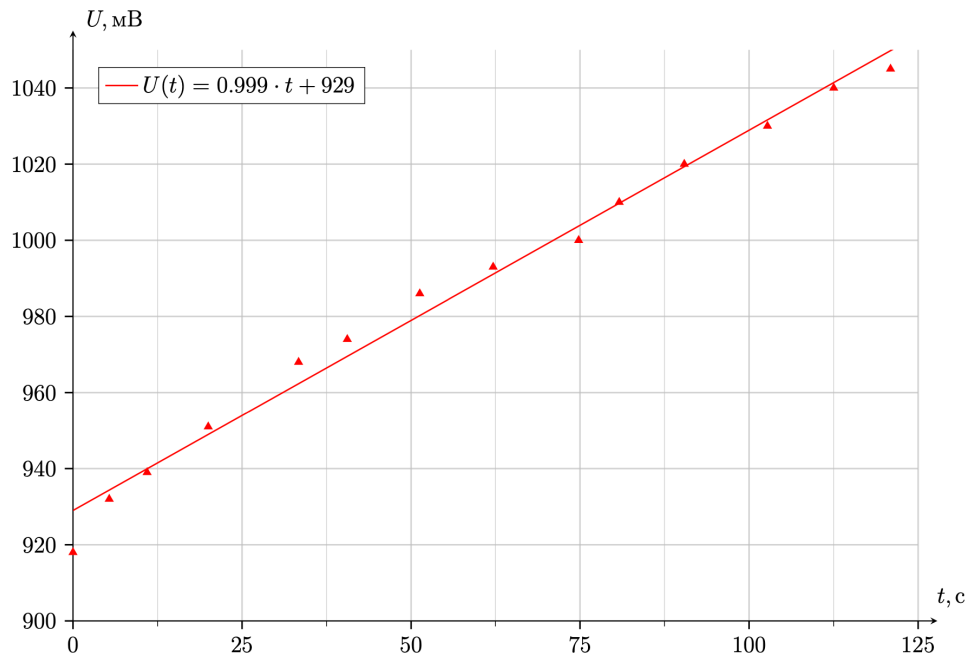
$I = 2.15$ A



$I = 2.30$ A



I = 2.45 A



I = 2.60 A

<i>n</i>	<i>I</i> , A	<i>R_n</i> , Ω	<i>U</i> ₀ , В	γ(<i>I</i>), мВ/с	<i>L</i> , м	δ, м/с	<i>T_m</i> , К	ln δ	1/ <i>RT_m</i> , $\frac{\text{моль}}{\text{Дж}}$
1	2.00	0.105	0.416	0.037	0.0482	1.12· 10 ⁻⁰⁹	458.9	-20.61	2.62· 10 ⁻⁰⁴
2	2.15	0.105	0.428	0.086	0.0482	2.63· 10 ⁻⁰⁹	502.3	-19.75	2.40· 10 ⁻⁰⁴
3	2.30	0.110	0.640	0.081	0.0505	1.25· 10 ⁻⁰⁹	559.0	-20.50	2.15· 10 ⁻⁰⁴
4	2.45	0.265	0.766	0.356	0.0405	9.85· 10 ⁻⁰⁹	635.6	-18.44	1.89· 10 ⁻⁰⁴
5	2.60	0.136	0.919	0.999	0.0624	1.05· 10 ⁻⁰⁹	744.0	-18.38	1.62· 10 ⁻⁰⁴

В2^{0.10} Выразите длину L_n образца проволоки с номером n через α, T_0, r_0, R_n . По полученным ранее данным пересчитайте L_n .

$$R_n = \frac{\alpha T_0 L_n}{\pi r_0^2}$$

Ответ:

$$L_n = \frac{\pi r_0^2 R_n}{\alpha T_0}$$

В3^{0.10} Выразите температуру проволоки T через I, β, L, U, r_0, T_0 .

$$UI = 2\beta\pi r_0 L(T - T_0)$$

Ответ:

$$T = T_0 + \frac{UI}{2\beta\pi r_0 L}$$

B4^{0.10}

Выразите напряжение на проволоке U через $I, \alpha, L, T(U)$ и радиус проводящей части проволоки $r(t)$.

Ответ:

$$U = \frac{\alpha T(U) \cdot IL}{\pi r(t)^2}$$

B5^{0.70}

Используя результаты пунктов **B3** и **B4**, получите теоретическую зависимость $r(t)$. Ответ выразите через $I, L, \alpha, \beta, T_0, r_0, t, \gamma(I), U_0$.

$$U_0 + \gamma(I)t = \frac{\alpha IL}{\pi r(t)^2} \cdot \left(T_0 + \frac{(U_0 + \gamma(I)t)I}{2\beta\pi r_0 L} \right)$$

Ответ:

$$r(t) = \sqrt{\frac{\alpha IL}{\pi(U_0 + \gamma(I)t)} \cdot \left(T_0 + \frac{(U_0 + \gamma(I)t)I}{2\beta\pi r_0 L} \right)}$$

B6^{0.50}

Разложите полученное $r(t)$ в ряд Тейлора по степеням t до линейного члена: $r(t) = r_0 - \delta t$. Выразите δ через $r_0, \gamma(I), \alpha, T_0, L, I, U_0$.

$$r^2(t) \approx \frac{\alpha IL}{\pi} \left(\frac{I}{2\beta\pi r_0 L} + \frac{T_0}{U_0 + \gamma t} \right) \approx \frac{\alpha IL}{\pi} \left(\frac{I}{2\beta\pi r_0 L} + \frac{T_0}{U_0} - \frac{\gamma T_0}{U_0^2} t \right)$$

$$r(t) = \sqrt{\frac{\alpha IL}{\pi} \left(\frac{I}{2\beta\pi r_0 L} + \frac{T_0}{U_0} \right) \cdot \left(1 - \frac{\gamma T_0 t}{\frac{IU_0^2}{2\beta\pi r_0 L} + U_0 T_0} \right)}$$

$$r(t) = \sqrt{\frac{\alpha IL}{\pi} \left(\frac{I}{2\beta\pi r_0 L} + \frac{T_0}{U_0} \right) \cdot \left(1 - \frac{\gamma T_0 t}{\frac{IU_0^2}{\beta\pi r_0 L} + 2U_0 T_0} \right)}$$

$$r(t) = r_0 \cdot \left(1 - \frac{\gamma T_0 t}{\frac{IU_0^2}{\beta\pi r_0 L} + 2U_0 T_0} \right)$$

$$\delta = \frac{\alpha IL r_0 \gamma T_0}{2U_0^2 \pi r_0^2}$$

Ответ:

$$\delta = \frac{\alpha IL \gamma T_0}{2U_0^2 \pi r_0}$$

B8^{0.20}

Укажите размерность E_A .

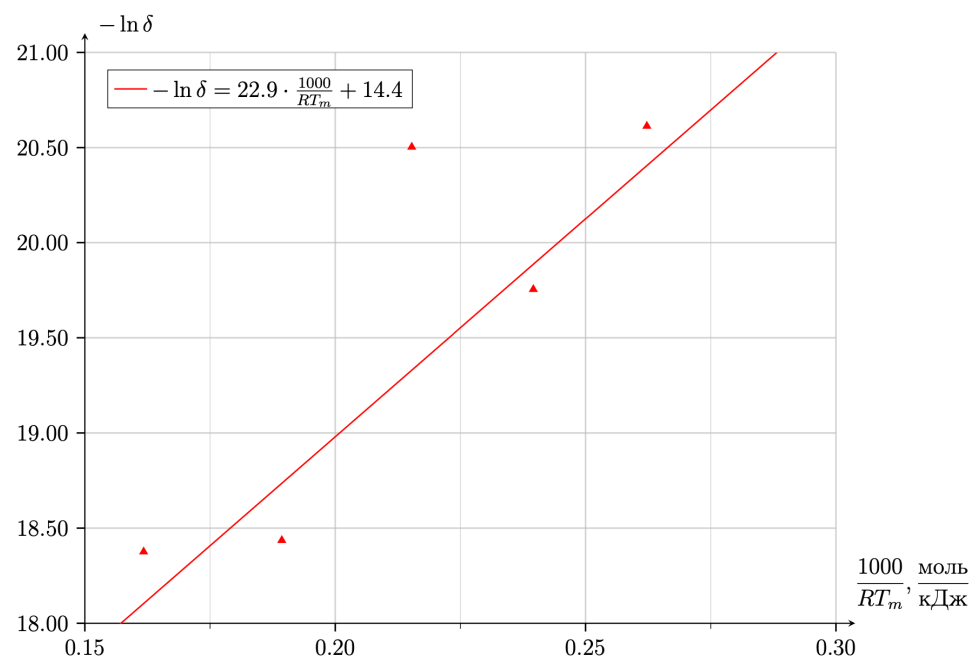
Ответ:

$$[E_A] = \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

В9^{1.30} Найдите E_A .

$$T_m = T(U_m) = \frac{\pi r_0^2}{\alpha I L} \cdot U_m = \frac{2\pi^2 r_0^3 \beta T_0}{-\alpha I^2 + 2\beta \pi^2 r_0^3}$$

$$\ln \delta = \ln \delta_0 - \frac{E_A}{RT_m}$$



Ответ:

$$E_A = 22.9 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$