

$$R_1 = 1 \Omega; \quad \mathcal{E}_1 = 1 \text{ V};$$

$$R_2 = 2 \Omega; \quad \mathcal{E}_2 = 2 \text{ V}; \quad R_3 = \underline{3 \Omega};$$

$$I_1 + I_3 - I_2 = 0$$

$$I_1 - 3I_3 = 1$$

$$2I_2 + 3I_3 = -2$$

$$\left(\begin{array}{ccc|c} 1 & -1 & +1 & 0 \\ 1 & 0 & -3 & 1 \\ 0 & 2 & 3 & -2 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{ccc|c} 1 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & +1 & -4 & 1 \\ 0 & 2 & 3 & -2 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{ccc|c} 1 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -4 & 1 \\ 0 & 0 & 11 & -4 \end{array} \right) \leftarrow$$

$$\left(\begin{array}{ccc|c} 1 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -4 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -\frac{4}{11} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{ccc|c} 1 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -\frac{5}{11} \\ 0 & 0 & 1 & -\frac{4}{11} \end{array} \right) = \quad 1 - \frac{4 \cdot 4}{11} = \frac{11-16}{11} = -\frac{5}{11}$$

$$= \left(\begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & -\frac{5}{11} + \frac{4}{11} \\ 0 & 1 & 0 & -\frac{5}{11} \\ 0 & 0 & 1 & -\frac{4}{11} \end{array} \right); \quad \begin{aligned} I_1 &= -\frac{1}{11} A; \\ I_2 &= -\frac{5}{11} A; \\ I_3 &= -\frac{4}{11} A; \end{aligned}$$

§.2. Переходные процессы.

Законы юсти. тока можно применить для изм. тока $\left(\frac{dI}{dt} \neq 0\right)$.

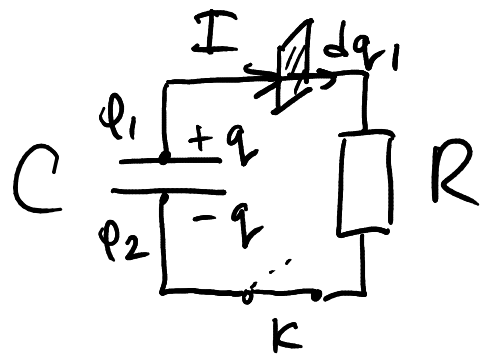
Условие: в сечении цепи значение силы тока одинаково (примерно)
т.е. изм. I не очень быстрое \Rightarrow Квасистационарные токи и поля.

Переходные процессы - процессы перехода системы из одного стационарного режима в другой.

Их часто можно считать квазистау.

Пример: зарядка/разрядка к-та

Д. 3. Разрядка конденсатора



Сила тока $I = \frac{U}{R}$ / Зах. Дур.

$U = \varphi_1 - \varphi_2$; $C = \frac{q}{\varphi} \Rightarrow I = \frac{q}{RC}$

Связь I и q : $I = \frac{dq_1}{dt}$; $dq = -dq_1$

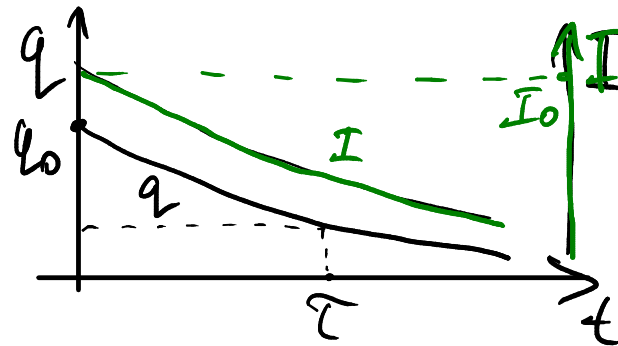
$\Rightarrow I = -\frac{dq}{dt} \Rightarrow -\frac{dq}{dt} = \frac{q}{RC}$ |

Решая дг: $\frac{dq}{q} = -\frac{dt}{RC} \Rightarrow \ln q = -\frac{t}{RC} + K$

Нач. уст. $q|_{t=0} = q_0 \Rightarrow \ln q_0 = K$

Т.о. $\ln q - \ln q_0 = -\frac{t}{RC} \Rightarrow \boxed{q = q_0 e^{-t/\tau}}$, где $\boxed{\tau = RC}$

$[RC] = \text{Dim } \Phi =$
 $= \frac{B}{A} \cdot \frac{K_1}{B} = \frac{C \cdot K_1}{K_1} = C$

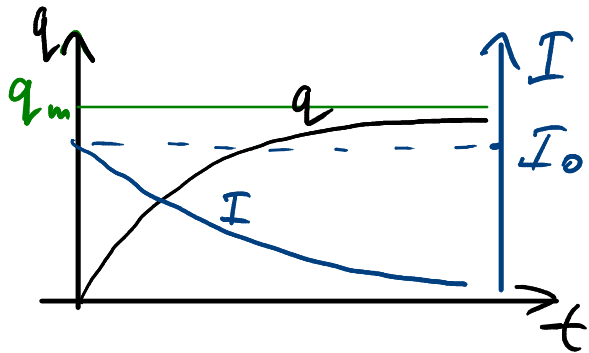
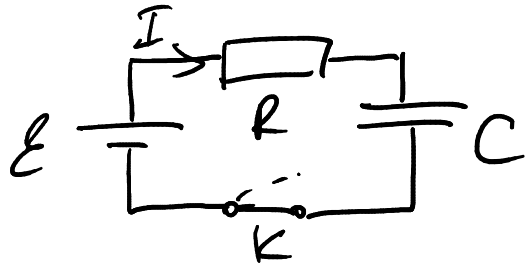


Время
релаксации

Следствие: $I = -\frac{dq}{dt} = -q_0 \frac{(-1)}{\tau} e^{-t/\tau} = \frac{q_0}{\tau} e^{-t/\tau} = \underline{I_0 e^{-t/\tau}}$

§. 4. Зарядка конденсатора

Вывод самоустоячиво ;



$$q = q_m(1 - e^{-t/\tau}); \quad \tau = RC -$$

- время релаксации

$$\underline{q_m = \varepsilon C} \quad | - \text{ макс. заряд.}$$

$$I = I_0 e^{-t/\tau}; \quad I_0 = \underline{\underline{\frac{\varepsilon}{R}}}$$

Глава 9. Электрический ток в металлах и полупроводниках

9.1. Природа носителей заряда в металлах

1897. Дж. Дж. Томсон открыл электрон как частицу $\Leftrightarrow \left(\frac{e}{m} \right)$

1901 г. Рикке



$t = 120$

$Q = 35 \cdot 10^6 \text{ Кл}$

Взвеса: $m = \text{const}$

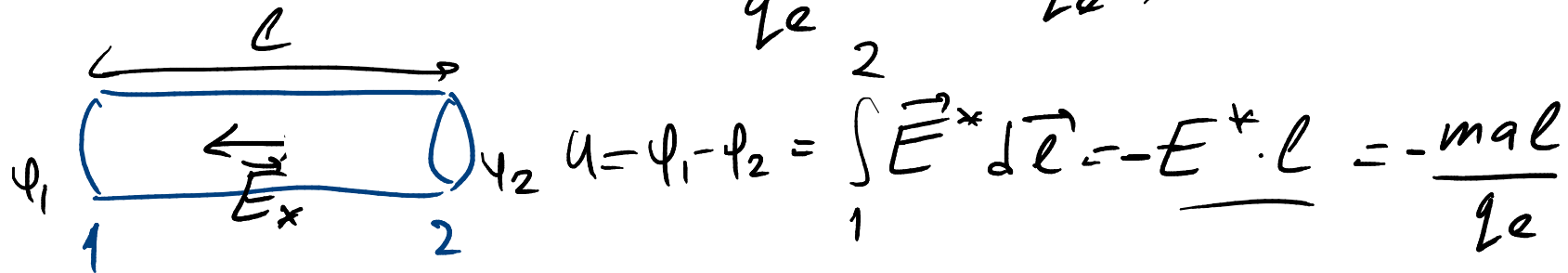
микровесы

Микроscopy: нет проникновения.

Уте; Разберем проводник во $v = v_0$ и рассмотрим с $\vec{a} \neq 0$.

С ИУСО проводника возникнет $\vec{F}_{\text{ин}} = -m\vec{a}$. ($v_0 \neq 0$)

Ен соотв. $\vec{E}^* = \frac{\vec{F}_{\text{ин}}}{q_e} = -\frac{m\vec{a}}{q_e}$;



По зак. Ома: $I = \frac{dq}{dt} = \frac{U}{R} = -\frac{mal}{Rq_e}$

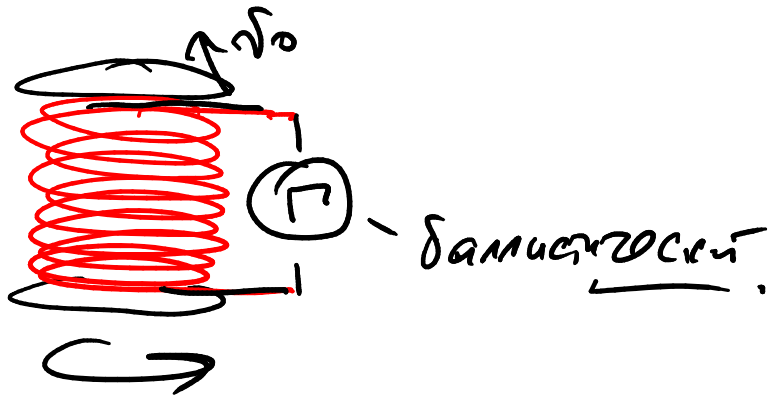
$$\Rightarrow dq = -\frac{mal}{Rq_e} dt = -\frac{ml}{Rq_e} dv$$

(dv?)

$$Q = \int_0^Q dq = - \frac{m \ell}{q_e R} \int_{v_0}^0 dv = \frac{m v_0 \ell}{q_e R} \Rightarrow \boxed{\frac{q_e}{m} = \frac{v_0 \ell}{R Q}}$$

удельный заряд,

В 1916г Толмен и Стюарт



$$\ell = 500 \text{ м}$$

$$v_0 = 300 \text{ м/с}$$

Резко тормозим.

Получим

$$\boxed{\frac{q_e}{m} \approx \frac{e}{m}}$$

9.2. Элементарная классическая теория металлов

Дрейф. (Лоренц.)

Предположение: 1) e^- в металле ведут себя как ИГ

2) Столкновение происходит в осн. с ионами решетки.

$\Rightarrow e^-$ и ионы в тепл. равновесии $\Rightarrow \underline{T_e = T_i = T}$.

3) После столк-я с ионом, e^- теряет всю кин. эн. и $U = 0$.

4) У всех e^- одинаковая скорость

(своб. с кин. эн.)

Ср. скор. хаотич. движ. $\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ $T = 300\text{K}; \bar{v} \approx 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

При $\vec{E} \neq 0$; Плотность тока $\vec{j} = -en\vec{u}$ → Скорость упорядоченно движется | Скорость дрейфа.

По тех нормам $j_{\text{max}} \sim 10 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} = 10^7 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$

$n \approx 10^{23} \text{см}^{-3}$

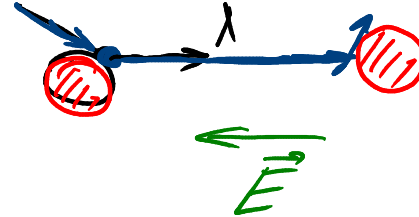
$u = \frac{j}{ne} \approx 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{с}}$

С т.з модуля: $|\vec{v} + \vec{u}| \approx \bar{v}$

т.к. $\bar{v} \gg u$

После столкновения с ионами $u = 0$.

В поле \vec{E} он ускоряется до



$$\begin{array}{l} F = ma \\ \parallel \\ eE \end{array} \quad \begin{array}{l} = \\ \parallel \\ \frac{m \lambda}{\tau} \end{array}$$

$$\rightarrow u_{\max} = \frac{eE}{m} \tau, \text{ где } \tau = \frac{\lambda}{v} - \text{время между столкновениями}$$

где λ — длина свободной пробега,

v — скорость. Так $u \ll v \Rightarrow \tau = \frac{\lambda}{v}$.

$$\Rightarrow u_{\max} = \frac{eE}{m} \frac{\lambda}{v}$$

Так u изменяется от 0 до u_{\max} обратно, то $\bar{u} = \frac{1}{2} u_{\max} = \frac{eE\lambda}{2m\bar{v}}$

Т.д. плотность тока $j = en \cdot \frac{eE\lambda}{2m\bar{v}} \Rightarrow j = \left(\frac{e^2 n \lambda}{2m\bar{v}} \right) \cdot E$

Т.е. j зависит от E линейно: $j = \sigma E$, где $\sigma = \frac{e^2 n \lambda}{2m\bar{v}}$
 Закон Ома в дифференциальной форме. проводимость

$\sigma = \frac{1}{\rho_z}$; $\rho_z = \frac{2m\bar{v}}{e^2 n \lambda}$

Т растет, $\bar{v} \sim \sqrt{T} \Rightarrow \rho_z \sim \sqrt{T}$ - растет.

Но из эксп. $\rho_z \sim T$, \Rightarrow одна из предпосылок Т. Друде.

Для объяснения величины ρ_z эксп. набл. медбх, тогда

$\lambda \gg a$, где a — межатомн. р-е, что можно объяснить с кл. Т.З —

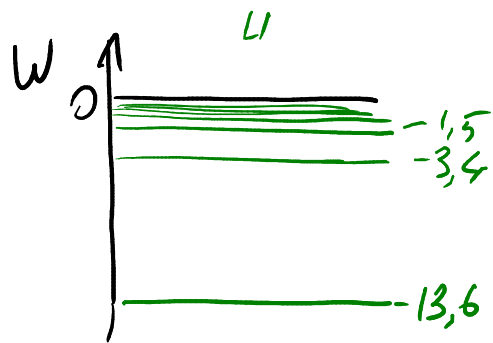
Температура металла по Т. Друде получилась сильно завышенной.

9.3. Элементы кв. теории тв. тела.

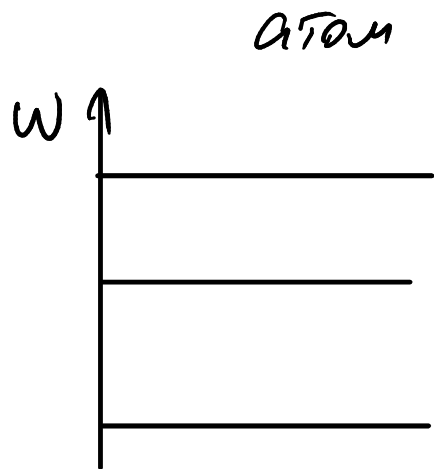
Согласно кв. теории, энергия e^- в атоме может принимать

Только опр. знач-я — квантуется —

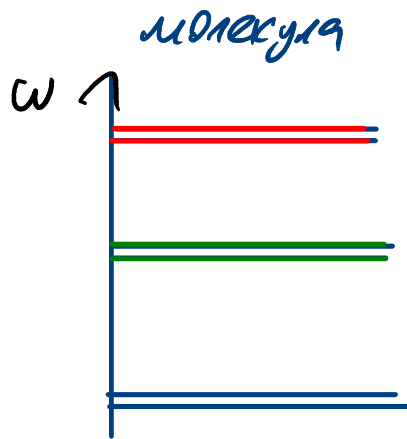
Атом H, $W_n = -\frac{W_0}{n^2}$; $W_0 = \underline{13,6 \text{ эВ}}$; $n = \underline{1, 2, 3, \dots}$
 $n \in \mathbb{N}$



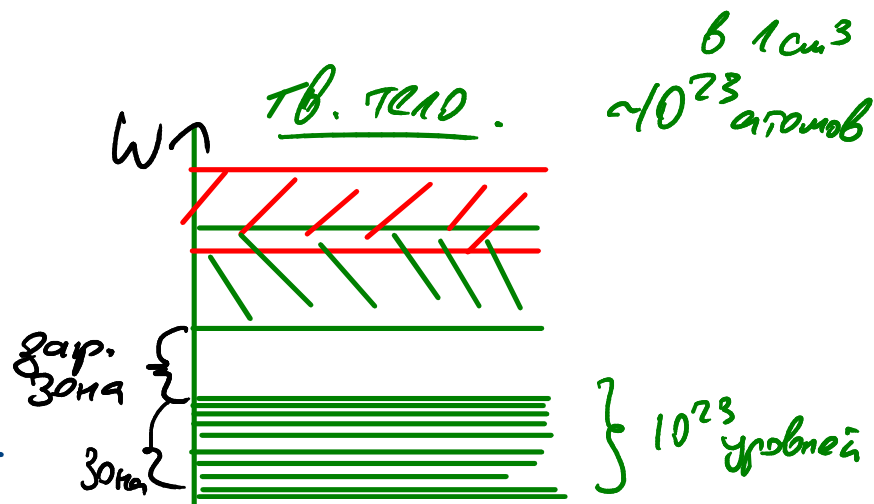
В ² атом
 В молекуле, в атом в-е, уровень
 энергии расщепится на 2.



атом



молекула



тв. тело.

в 1 см³
 ~ 10²³ атомов

10²³ уровней

Зона - совокупность (очень) близко расположенных уровней

Число уровней в зоне равно числу атомов в кристалле.

$g(W)$ - плотность состояний.
 Описывает, насколько поразно
 количество уровней