ELEKTROS SROVĖS NEŠĖJŲ METALUOSE PRIGIMTIS

Pirmasis jau 1901 m. elektros srovės nešėjų metaluose prigimtį bandė eksperimentiškai nustatyti Rikke. Jis sujungė strypus, taip kaip parodyta 1pav. ir leido jais tekėti visus metus nuolatinę srovę.

Cu	Al	Cu

1 pav.

Per šį laiką pratekėjo $3.5 \cdot 10^6$C krūvis, tačiau nei svoris strypų, nei sąlyčio taškai nepakito.

Rikke padarė išvadą, kad medžiagos atomai metaluose srovės pernešimo procesuose nedalyvauja, o gali būti čia elektronai, kuriuose pirmą kartą jau 1897 m. atrado Tomsonas. Norint tuo įsitikinti, reikėjo išmatuoti elektronų ženklą bei savitąjį krūvį.

Buvo sumanyta eksperimentas,kurio idėja remėsi tuo, kad jeigu krūvio nešėjai metaluose yra elektronai, tai privertus judėti strypą tam tikru greičiu ir vėl jį stabdant turi atsirasti dėl neigiamo pagreičio strype srovės impulsas. Beje, tokį elektros krūvių pagreitį nejudančiame metalo cilindre galime sudaryti patalpinus laidininką į elektrinį lauką

$$E = -\frac{ma}{q},$$

tai yra prie jo galų prijungti įtampą

$$U = lE; \quad I = \frac{U}{R}$$

$$dq = Idt = -\frac{lma}{qR}dt = -\frac{ml}{qR}dV$$

per stabdymo laiką strypu prajudės krūvis

$$q = \int_0^t dq = -\int_v^0 \frac{ml}{qR}dV = \frac{ml}{q}\frac{V}{R}.$$

Pirmieji tokį bandymą atliko 1913 m. Mandelštanas ir Papaleksi, o vėliau 1916 m. su 500 m ritele ją įsukę 300 m/s linijiniu greičiu stabdė ir paskaičiavo savitąjį krūvį $\left(\frac{q}{m}\right)$ Tomsonas ir Stiurtas. Jie gavo šį santykį, eksperimento paklaidų leistinuose rėmuose, artimą elektrono savitąjam krūviui, t.y. $\left(\frac{1.6 \cdot 10^{-19} C}{9.109 \cdot 10^{-31} kg}\right) = 1.756 \cdot 10^{-11}\ C/kg$ Elektronų skaičių tūrio vienete skaičiuojame taip $\frac{\rho}{\mu}N_A$ (čia ρ - medžiagos tankis, μ - kilomolio masė, N_A - Avogadro sk.). Pvz., kalio

$\frac{\rho}{\mu} = 20\ kmol/m^3$, $N_A = 6.02\cdot10^{23}$ $\quad n = 2\cdot10^4\ 6.02\cdot10^{23} \approx 1.204\cdot10^{28}m^{-3}$. Klasikinė metalų laidumo teorija buvo pateikta Drudės, vėliau tikslinta Lorenco. Padal Drudę vidutinis elektronų greitis metaluose gali būti išreikštas lygtimi:

$\overline{V} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$, taigi T=300 K temperatūroje $\overline{V} = \sqrt{\frac{8\cdot1.38\cdot10^{-23}\cdot300}{3.14\cdot9.1\cdot10^{-31}}} \approx 10^5\ m/s.$ Jeigu talpiname metalą į elektrinį lauką, tai be chaotinio $\overline{V}$ judėjimo greičio atsiranda ir tvarkingas greitis <U>.

Kadangi elektronai metaluose yra nuolatiniame judėjime, tai jų laisvojo lėkio laikas

$$\tau = \frac{\lambda}{V}, \qquad \langle U\rangle = \frac{qE\lambda}{mV}$$ (λ - vidutinis laisvasis lėkis),

tai jo vidutinė kinetinė energija $\langle E_k\rangle = \frac{m\langle u\rangle^2}{2} = \frac{q^2\lambda^2}{2mV^2}E^2$.

Tokiu būdu, elektronai susidurdami su gardelės jonais, atiduoda E_k energiją gardelei. Kadangi kiekvienas elektronas per sekundę vidutiniškai turi E_k energiją, tai kiekvienu momentu atidavus E_k energiją gardelei yra šildoma medžiagą. Tokiu būdu tūrio vienete per laiko vienetą išsiskiria šiluma $\frac{dQ}{dt} = n\frac{1}{\tau}\langle E_k\rangle = \frac{nq^2\lambda}{2mV}E^2 = RI^2$

$$R = \gamma\frac{dl}{ds}: \quad \frac{dQ}{dt} = \gamma\frac{dl}{ds}(Ids)^2 = \gamma j^2 dv$$

$$Q\int_0^t dt \quad \int_v \gamma j^2 dv.$$

Pastarioji matematinė išreiška atitinka Džaulio-Lorenco dėsnį.

Metalai yra ne tik geri elektros, bet ir šilumos laidininkai. Jau 1853 m. Videmanas ir Francas nustatė Al šiluminio laidumo koeficientą æ:

æ$=\frac{1}{3}$nmvλC_v; $C_v = \frac{3}{2}\frac{R}{\mu} = \frac{3}{2}\frac{k}{m}$; tai æ$= \frac{1}{2}nkv\lambda$. Beje,

$\frac{æ}{\sigma} = \frac{kmV^2}{q^2}$; $\frac{mV^2}{2} = \frac{3}{2}kT$, tai $\frac{æ}{\sigma} = 3\left(\frac{k}{q}\right)^2 T$. Kadangi $\sigma = \frac{nq^2\lambda}{2mV}$, tai

įstatę reikšmes $\frac{æ}{\sigma} = 2.23\cdot10^{-8}T$. Metalų kiloatomo savitoji šiluma C_v=9R/2;

čia R=8,3143·10^3 J/kmol.·K (dujų pastovioji).

Laidininkai elektriniame lauke

Šiek tiek apie ekranavimą: $E = 0$ *viduje*, $\varphi = const$, $E = E_n = \dfrac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}$; σ - paviršinio krūvio tankis.

$$\langle V + u \rangle = \langle V \rangle + \langle u \rangle = \langle u \rangle$$

Srovės stipris $I = \dfrac{dq}{dt}$ (1) jeigu yra ir p ir n krūvininkai, tai $I = \dfrac{dq^+}{dt} + \dfrac{dq^-}{dt}$ (2) Srovės tankis

$j = \dfrac{dI}{dS}$ (3). $\vec{I} = \int_s \vec{j} d\vec{S}$ (4) $j = e^+ n^+ \vec{u}^+ + |e^-| n^- \vec{u}^-$ 5)

Pvz., j tankis Cu yra $j \approx 10^7 A \cdot m^{-2}$, tai $\langle \bar{u} \rangle \approx \dfrac{10^7}{1.6 \cdot 10^{-19}} \cdot 10^{-29}$ = 10^{-3}m/s. Įvedus $\rho^+ = n^+e^+$; $\rho^- = n^-e^-$; turėsime

$j = \rho^+ u^+ + \rho^- u^-$. SI sistemoje matuojama I[A] - Ampero apibrėžimas seka iš magnetizmo skyriaus. $\sigma = q^+ n^+ \mu^+ + q^- n^- \mu^- : \mu = \dfrac{u}{E}; u = \mu E; j = \sigma E$

Nenutrūkstamumo lygtis

Lygtis $\oint \vec{j} d\vec{S}$ rodo krūvių ištaką iš tūrio V, kuris ribotas plotu S, per laiko vienetą. Kita vertus, ši lygtis rodo krūvių mažėjimo greitį iš tūrio V:

$\oint_S \vec{j} d\vec{S} = -\dfrac{dq}{dt}$. Dydis $q=en$, tai

$q = \int_V \rho dV$ *ir* $\oint_S \vec{j} d\vec{S} = -\dfrac{d}{dt} \int_V \rho dV$. 1) Čia dalinė įvestinė, nes ρ priklauso nuo laiko ir koordinačių. $\int_s \vec{E} dS = \int_v \nabla \vec{E} dV$ Pagal Ostrogradskio-Gauso formulę

$\int_v \nabla \vec{j} dV = -\int_v \dfrac{\partial \rho}{\partial t} dV$ 2) arba $\nabla \vec{j} = -\dfrac{\partial \rho}{\partial t}$ (3) Ši lygtis yra vadinama nenutrūkstamumo lygtimi ir išreiškia krūvių tvermės dėsnį.