

B. Paszowski, J. Hennel

"Wzory i tablice do ćwiczeń z lamp elektronowych"
Politechnika Warszawska, 1950

1. Elektron

10. Dane ogólne

| | |
|---|---|
| Masa spoczynkowa elektronu | $m_e = 9,1035 \cdot 10^{-28} \text{ g}$ |
| Stosunek masy protonu do masy elektronu | $\frac{m_{H^+}}{m_e} = 1836,57$ |
| Ładunek elektronu | $e = 4,8024 \cdot 10^{-10} \text{ j.el.st.}$ $= 1,60199 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ |
| Ładunek właściwy elektronu | $\frac{e}{m_e} = 5,2741 \cdot 10^{17} \text{ j.el.st./g}$ $= 1,75936 \cdot 10^8 \text{ C/g}$ |
| Szybkość światła | $c = 2,99776 \cdot 10^{10} \text{ cm/sek}$ |
| Stała Boltzmana | $k = 1,38032 \cdot 10^{-16} \text{ erg/st}$ |
| Stała Plancka | $h = 6,6237 \cdot 10^{-27} \text{ erg sek}$ |
| Stała promieniowania | $\sigma = 5,6716 \cdot 10^{-12} \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4$ |

11. Ruch elektronu w polu elektrycznym

Szybkość elektronu swobodnego w polu elektrycznym:

$$v = \sqrt{2 \cdot 10^7 \frac{e}{m_e} U} = 5,93 \cdot 10^7 \sqrt{U} \quad [\text{cm/sek}] \dots \dots \dots (1)$$

e - ładunek elektronu [C]

m_e - masa elektronu [g]

U - napięcie [V]

Energia elektronu w polu elektrycznym

$$W = eU \quad [\text{J}] \dots \dots \dots (2)$$

Jednostką energii elektronu jest elektronowolt

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

12. Ruch elektronu w polu magnetycznym

Promień krzywizny toru elektronu w polu magnetycznym:

$$\rho = 10 \frac{m_e}{e} \frac{v}{H} = 3,37 \frac{\sqrt{U}}{H} \quad [\text{cm}] \dots \dots \dots (3)$$

- m_e - masa elektronu [g]
- e - ładunek elektronu [C]
- v - szybkość elektronu [cm/sek]
- H - natężenie pola magnetycznego [Oe]
- U - napięcie odpowiadające szybkości v [V]

Ruch elektronu w równomiernym polu magnetycznym skierowanym prostopadle do szybkości elektronu odbywa się po kole. Okres obiegu wynosi:

$$T = \pi 20 \frac{m_e}{e} \frac{L}{H} = 0,357 \cdot 10^{-6} \frac{1}{H} \quad [\text{sek}] \dots \dots \dots (4)$$

Natężenie krytyczne pola magnetycznego w magnetronie:

$$H_0 = \sqrt{8 \cdot 10^9 \frac{m_e}{e} \frac{\sqrt{U_a}}{r_a}} = 6,74 \frac{\sqrt{U_a}}{r_a} \quad [\text{Oe}] \dots \dots \dots (5)$$

- U_a - napięcie anody [V]
- r_a - promień anody [cm]

2. EMISJA ELEKTRONÓW

2.1. Emisja termoelektronowa.

Prąd emisyjny

$$J_e = F_k \cdot i_e \quad [\text{A}] \dots \dots \dots (6)$$

- F_k - powierzchnia katody [cm²]
- i_e - emisja elektronowa właściwa [A/cm²].

Wzór Richardsona-Dushmana:

$$i_e = a_1 \cdot T_k^2 \cdot e^{-\frac{b_0}{T_k}} \quad [\text{A/cm}^2] \dots \dots \dots (7)$$

- e - podstawa logarytmów naturalnych,
- T_k - temperatura katody [°K],
- a_1, b_0 - stałe charakterystyczne dla danego materiału.

Wzór teoretyczny na stałą a_1 :

$$a_1 = (1 - \eta_r) \cdot \frac{4\pi \cdot m_e \cdot e \cdot k^2}{h^3} \dots \dots \dots (8)$$

m_e - masa elektronu [g],

e - ładunek elektronu [C],

k - stała Boltzmann [erg/st.],

h - stała Plancka [erg sek],

η_r - tzw. współczynnik odbicia wskazujący na to, jaka część elektronów zdolnych do emisji w katodzie nie zostaje emitowana wskutek odbicia od powierzchni wewnątrz katody.

Dla szeregu metali $\eta_r = 0,5$, stąd wynika:

$$a_1 = 60,2 \text{ A/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^2$$

Wzór na stałą b_0 :

$$b_0 = \frac{A_0}{k} \cdot 10^7 = \frac{e \cdot \varphi_0}{k} \cdot 10^7 = 11.600 \varphi_0 \text{ [}^\circ\text{K]} \dots \dots \dots (9)$$

$A_0 = e \cdot \varphi_0$ - praca wyjścia elektronów z danego materiału [eV],

φ_0 - potencjał wyjścia [V].

Wpływ napięcia anody na prąd emisyjny omówiony jest w § 43.

Wzór Richardsona-Dushmana w postaci różniczkowej:

$$\frac{di_e}{i_e} = \left(2 + \frac{b_0}{T_k} \right) \cdot \frac{dT_k}{T_k} \dots \dots \dots (10)$$

Tablica I - Wartości stałych a_1 , b_0 i φ_0 dla katod jednorodnych.

| Materiał | T_t 1/ | a_1 | b_0 | φ_0 |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|-------------|
| | $^{\circ}K$ | $A/cm^2 \text{ } ^{\circ}K^2$ | $^{\circ}K$ | V |
| Wolfram /W/ | 3675 | 60 | 52 400 | 4,52 |
| Tantal /Ta/ | 3150 | 60 | 47 200 | 4,07 |
| Molibden /Mo/ | 2900 | 55-60 | 48 100 | 4,15 |
| Niob /Cb/ | 2800 | 57 | 45 900 | 3,96 |
| Tor /Th/ | 1980 | 60-70 | 38 900 | 3,35 |
| Nikiel /Ni/ | 1725 | 26,8 | 58 000 | 5,01 |
| Bar /Ba/ | 1120 | 60 | 24 500 | 2,11 |
| Wapń /Ca/ | 1080 | 60 | 26 000 | 2,24 |
| Cez /Cs/ | 300 | 162 | 21 000 | 1,81 |
| Tlenek wolframu /WO ₃ / | - | $5 \cdot 10^{11}$ | 107 000 | 9,22 |

1/ T_t - temperatura topliwości.

Tablica II - Wartości stałych a_1 , b_0 i φ_0 dla katod aktywowanych.

| Rodzaj katody | a_1 | b_0 | φ_0 |
|---|-------------------------------------|-------------|-------------|
| | $A/cm^2 \text{ } ^{\circ}K^2$ | $^{\circ}K$ | V |
| Tor na wolfrامية ($\theta=100\%$) ^{2/} | 3,0 | 30 500 | 2,63 |
| Tor na wolfrامية ($\theta=83\%$) | 2,8 | 34 100 | 2,94 |
| Tor na węgliku wolframu | $1,15 \cdot 10^{-2}$ | 17 400 | 1,50 |
| Tor na molibdenie | 1,5 | 29 600 | 2,55 |
| Bar na wolfrامية | 1,5 | 18 100 | 1,56 |
| Cez na wolfrامية | 0,1 | 8 700 | 0,75 |
| Tlenki baru na wolfrامية | $2 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-2}$ | 11 500 | 0,99 |
| Tlenki baru i strontu na niklu | $2,6 \cdot 10^{-3}$ | 9 400 | 0,81 |
| Tlenki toru na wolfrامية | 2,63 | 31 000 | 2,67 |

2/ θ - współczynnik pokrycia.

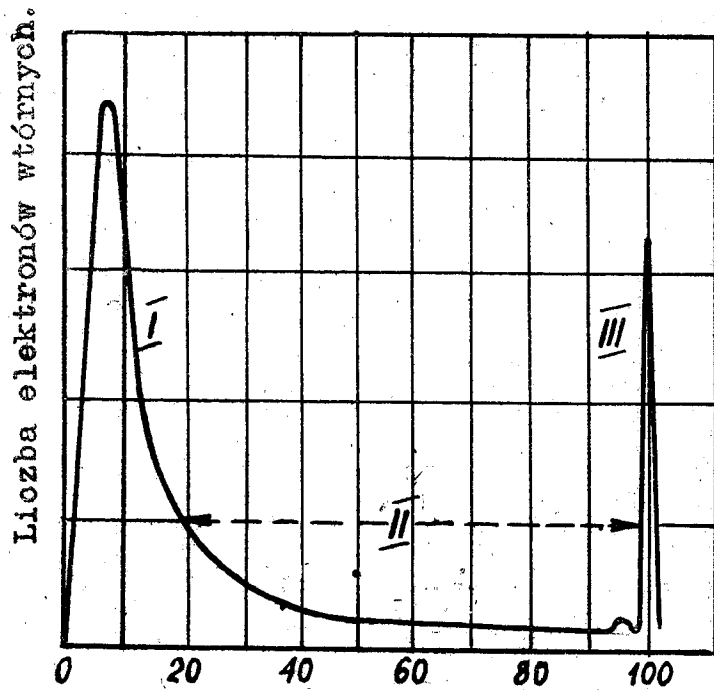
22. Emisja wtórna.

Współczynnik emisji wtórnej:

$$\eta_w = \frac{i_2}{i_1} \quad (11)$$

i_1 - gęstość prądu pierwotnego,

i_2 - gęstość prądu wtórnego.



Rys. 1. Energia elektronów wtórnych w % energii elektronów pierwotnych.

Zakres I - obejmuje ok. 90% elektronów wtórnych; są to elektrony wytracone z atomów przez elektrony pierwotne blisko powierzchni materiału. Energia ich jest ≤ 20 eV.

Zakres II - obejmuje ok. 7% elektronów wtórnych; są to elektrony wytracone z atomów oraz elektrony pierwotne, odbite od atomów w głębi materiału. Energia ich zawiera się w granicach między 20 eV a 98% energii elektronów pierwotnych.

Zakres III - obejmuje ok. 3% elektronów wtórnych; są to elektrony pierwotne, odbite od atomów wskutek zderzeń sprężystych /prawie bez zmiany energii/ blisko powierzchni materiału.

Tablica III - Współczynników emisji wtórnej.

| Materiał | η_w przy $U=150V$ | η_{wmax} | U_{opt} ¹⁾ | γ_0 |
|---------------------------|---------------------------|---------------|-------------------------|------------|
| | | | V | V |
| Srebro /Ag/ | 0,95 | 1,47 | 800 | 4,61 |
| Złoto /Au/ | 0,96 | 1,46 | 800 | 4,90 |
| Bar /Ba/ | 0,63 | 0,83 | 400 | 2,70 |
| Cez /Cs/ | 0,55 | 0,72 | 400 | 1,91 |
| Miedź /Cu/ | 0,85 | 1,27 | 600 | 4,26 |
| Molibden /Mo/ | 1,0 | 1,25 | 400 | 4,15 |
| Nikiel /Ni/ | 0,94-0,98 | 1,22-1,34 | 500 | 5,01 |
| Platyna /Pt/ | 1,0 | 1,78 | 750 | 5,29 |
| Tantal /Ta/ | 0,76 | 1,29 | 600 | 4,12 |
| Wolfram /W/ | 0,75 | 1,33 | 650 | 4,52 |
| Cyrkon /Zr/ | 0,96 | 1,09 | 350 | 4,1 |
| Chlorek cezu /CsCl/ | | 6,5 | | |
| Katoda tlenkowa /Ba, Sr/O | | 5-12 | 1400 | |
| Stop Ag/Mg /2-6% Mg/ | | 6 | 750 | |
| Grafit /C/ | 0,9 | 1,0 | 300 | |
| Szkło sodowe | | 2,1 | 300 | |
| Szkło boro-krzemowe | | 2,3 | 340 | |
| Kwarc /SiO ₂ / | | 2,9 | 440 | |
| Mika | | 2,4 | 380 | |

1/ U_{opt} - wartość napięcia przy której $\eta_w = \eta_{wmax}$

Tablica IV - Współczynniki emisji wtórnej katod aktywowanych.

| Rodzaj katody | η_{wmax} | U_{opt} [V] |
|----------------------------|---------------|---------------|
| BaO na Ba | 6,5 | 500 |
| Cs ₂ O na Ag | 7,2 | 350 |
| Cs ₂ O/Cs na Ag | 8,0 | 700 |
| Ag ₂ O na Cs | 9,0 | 800 |
| BeO na Ni | 12,0 | 750 |
| CsCl na Cs | 13,7 | 1700 |
| Cs na Ag/Mg | 14,0 | 900 |
| NaCl na Cs | 22,7 | 1400 |

23. Emisja fotoelektronowa.

Prąd emisyjny fotokatody:

$$J_e = c \cdot \Phi \quad [\mu A] \quad \dots \dots \dots (12)$$

Φ - strumień świetlny [lm],

c - stała /czułość fotokatody/ [$\mu A/lm$].

Czułość fotokatod zależy od procesów technologicznych i waha się dla typowych katod w granicach podanych w tab. V.

Tablica V - Czułość fotokatod aktywowanych.

| Rodzaj katody | c [$\mu A/lm$] |
|------------------|------------------|
| Ag - O - Cs | 10 - 60 |
| Sb - Cs | 30 - 100 |
| Bi - O - Ag - Cs | 10 - 60 |
| Ag - O - Sb | ~ 30 |
| Bi - O - Sb | 10 - 25 |

Bilans energetyczny fotokatody /równanie Einsteina/:

$$h \cdot \nu \cdot 10^{-7} = e \cdot \varphi_0 + \frac{1}{2} m_e \cdot v_0^2 \cdot 10^{-7} \quad [J] \quad \dots \dots \dots (13)$$

h - stała Plancka [erg sek]

$\nu = c/\lambda$ - częstotliwość fali świetlnej [sek⁻¹],

c - szybkość światła [cm/sek],

λ - długość fali świetlnej [cm],

e - ładunek elektronu [e],

φ_0 - potencjał wyjścia [V],

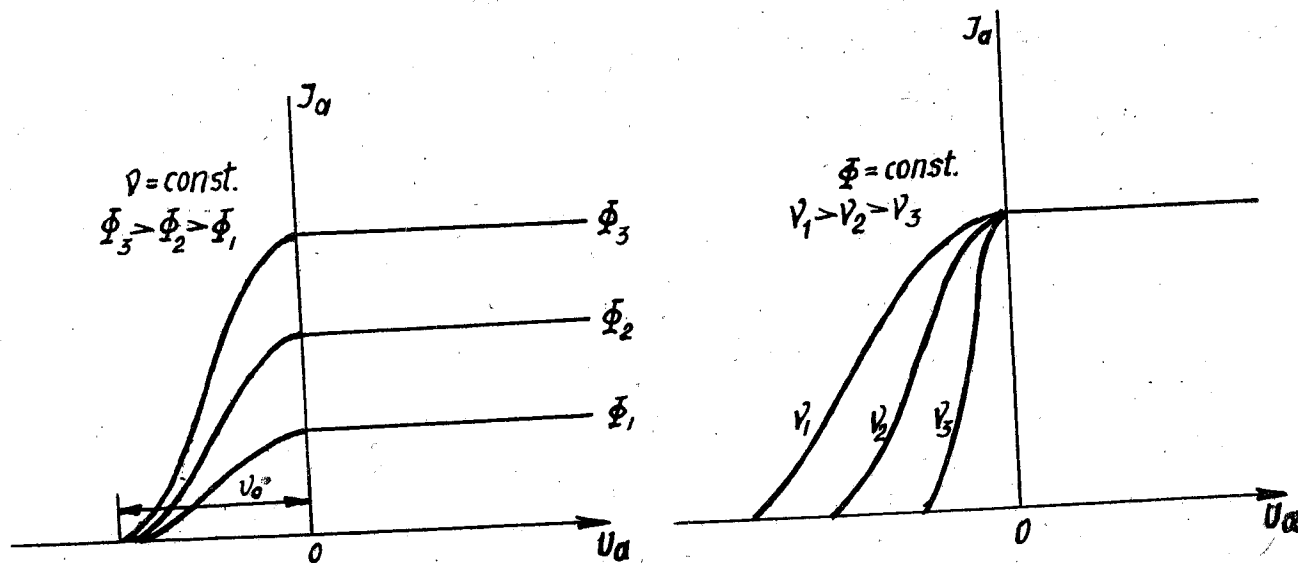
m_e - masa elektronu [g],

v_0 - szybkość początkowa elektronu [cm/sek].

Prawa emisji fotoelektronowej:

1. Prąd emisyjny fotokatody jest proporcjonalny do strumienia świetlnego /rys. 2./.

2. Szybkość początkowa elektronów emitowanych przez fotokatodę nie zależy od strumienia świetlnego, lecz od częstotliwości /długości fali świetlnej/. Szybkość ta wzrasta przy zwiększaniu częstotliwości /zmniejszaniu długości/ fali świetlnej /rys. 3./.



Rys. 2.

Rys. 3.

Z warunku $\nu_0 = 0$ w równaniu /13/ wynika wzór na graniczną częstotliwość fali świetlnej:

$$\nu_0 = \frac{e \cdot \varphi_0}{h} \quad [\text{sek}^{-1}] \dots \dots \dots (14)$$

lub graniczną długość fali:

$$\lambda_0 = 10^8 \frac{h \cdot c}{e \cdot \varphi_0} = \frac{12400}{\varphi_0} \quad [\text{\AA}] \dots \dots \dots (15)$$

Emisja fotoelektronowa nie zachodzi dla fal o częstotliwościach $\nu < \nu_0$ lub długościach $\lambda > \lambda_0$.

Tablica VI - Graniczna długość fali fotokatod.

| Materiał | φ_0 | λ_0 |
|-------------|-------------|-------------|
| | V | Å |
| Wapń /Ca/ | 2,40 | 5200 |
| Lit /Li/ | 2,36 | 5250 |
| Stront /Sr/ | 2,00 | 6200 |
| Sód /Na/ | 1,82 | 6810 |
| Bar /Ba/ | 1,70 | 7300 |
| Potas /K/ | 1,55 | 8000 |
| Rubid /Rb/ | 1,45 | 8550 |
| Cez /Cs/ | 1,36 | 9110 |
| Sb - Cs | 1,2 - 1,3 | 9550-10300 |
| Ag - O - Cs | 0,75 - 0,8 | 15500-16500 |

3. KATODA.

31. Parametry katody.

Bilans energetyczny katody:

$$P_z = P_r + P_w + P_\varphi + P_k \quad \dots \dots \dots (16)$$

- P_z - moc żarzenia katody,
- P_r - moc odpromieniowana przez katodę,
- P_w - moc odprowadzona przez wsporniki katody,
- P_φ - moc wynikająca z pracy wyjścia elektronów,
- P_k - moc wynikająca z początkowej energii kinetycznej elektronów.

Moc P_w, P_φ , i P_k można zwykle pominąć wobec P_r . Wzór /16/ upraszcza się wówczas następująco :

$$P_z \approx P_r = F_k \cdot p_r \quad [W] \quad \dots \dots \dots (17)$$

- F_k - powierzchnia katody [cm^2]
- p_r - promieniowanie właściwe [W/cm^2].

- ϵ_0 - współczynnik promieniowania
- σ - stała promieniowania $[W/cm^2 \cdot K^4]$,
- T_k - temperatura katody $[^\circ K]$,
- T_0 - temperatura otoczenia $[^\circ K]$.

Wydajność katody :

$$W_k = \frac{i_e}{\rho_z} = \frac{J_e}{\rho_z} \quad [mA/W] \quad \dots \dots \dots (19)$$

- i_e - emisja właściwa $[mA/cm^2]$,
- $\rho_z = \frac{P_z}{F_k}$ - moc zarzenia właściwa $[W/cm^2]$.

Niezmiennik napięciowy katody jednorodnej :

$$N_u = U_z \cdot \frac{\sqrt{d_k}}{l_k} \quad [V/cm^{1/2}] \quad \dots \dots \dots (20)$$

- U_z - napięcie zarzenia $[V]$,
- d_k - średnica katody $[cm]$,
- l_k - długość katody $[cm]$.

Niezmiennik prądowy katody jednorodnej :

$$N_i = \frac{J_z}{\sqrt{d_k^3}} \quad [A/cm^{3/2}] \quad \dots \dots \dots (21)$$

- J_z - prąd zarzenia $[A]$.

Trwałość katod jednorodnych zależy głównie od szybkości parowania katody oraz zmian strukturalnych zachodzących w materiale katody podczas pracy lampy.

Trwałość katod złożonych zależy ponadto od wielu innych czynników /np. zatrucia chemiczne warstwy czynnej, bombardowanie jonowe itp/. Dla katod jednorodnych trwałość można określić w przybliżeniu jako czas, w którym średnica katody zmniejszy się wskutek parowania o 10%.

Wynika stąd następujący wzór na trwałość katody :

$$\tau_k = \frac{\delta \cdot d_k}{7,2 \cdot 10^4 \cdot m_k} \quad [godz.] \quad \dots \dots \dots (22)$$

- δ - gęstość materiału katody $[g/cm^3]$,
- m_k - parowalność katody $[g/cm^2 \cdot sek]$.

dla wolframu $\delta = 19,2 \text{ g/cm}^3$, a zatem:

$$\tau_k = 2,64 \cdot 10^{-4} \frac{dk}{m_k} \quad [\text{godz}] \quad \dots \dots \dots (23)$$

32. Katoda wolframowa.

321. Dane charakterystyczne katody wolframowej./zob. tabl.VII/.

- ρ_T - opór właściwy w temp. $T \text{ } ^\circ\text{K}$ [$\mu\Omega \text{ cm}$],
- ρ_{293} - " " w temp. $20^\circ\text{C} = 293^\circ\text{K}$,
- Δl - wydłużenie [cm].

322. Wzory empiryczne dla katody wolframowej.^{x/} W zakresie temperatur $2300 - 2700^\circ\text{K}$ słuszne są z błędem $< 1\%$ wzory empiryczne :

$$N_u = 0,168 \left(\frac{T_k}{1000} \right) - 0,275 \quad [\text{V/cm}^{1/2}] \quad \dots \dots \dots (24)$$

$$N_i = T_k - 975 \quad [\text{A/cm}^{3/2}] \quad \dots \dots \dots (25)$$

a z większym nieco błędem następujące wzory:

$$i_e = 50 \cdot 2,4^\alpha \quad [\text{mA/cm}^2] \quad \dots \dots \dots (26)$$

$$p_z = 0,126 (T_k - 1950) = 47,5 \cdot 1,2^\alpha \quad [\text{W/cm}^2] \quad \dots \dots \dots (27)$$

$$W_k = 2,05^\alpha \quad [\text{mA/W}] \quad \dots \dots \dots (28)$$

$$\frac{\tau_k}{dk} = 2,5 \cdot 10^6 \cdot 4,2^{-\alpha} \quad [\text{godz/cm}] \quad \dots \dots \dots (29)$$

przy czym

$$\alpha = \frac{T_k - 2300}{100}$$

Z powyższych wzorów wynikają zależności :

$$T_k = 2300 + 320 \cdot \lg W_k \quad [^\circ\text{K}] \quad \dots \dots \dots (30)$$

$$\frac{\tau_k}{dk} = \frac{2,5 \cdot 10^6}{W_k^2} \quad [\text{godz/cm}] \quad \dots \dots \dots (31)$$

^{x/}Wg. J. Groszkowskiego - Kwart. Telekom. 1946, nr 2/4, s.39.

Dane charakterystyczne wolframu (wg H.A. Jonesa i J. Langmuira);

Tabl. VII.

| T_k | i_{ec} | w_k | P_r | N_u | N_i | ρ_T | $\frac{\rho_T}{\rho_{293}}$ | m_k | $\frac{\tau_k}{d_k}$ | $\frac{\Delta l}{l} \cdot 10^3$ |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------------|
| OK | mA/cm^2 | mA/W | W/cm^2 | $\text{V/cm}^{\frac{1}{2}}$ | A/cm^2 | $\mu\Omega\text{cm}$ | | $\text{g/cm}^2\text{sek}$ | godz/cm | |
| 293 | | | | 0 | | 5,48 | 1 | | | 3,2 |
| 1000 | $1,07 \cdot 10^{-12}$ | $1,77 \cdot 10^{-12}$ | 0,603 | 0,0078 | 244,1 | 24,9 | 4,54 | $0,87 \cdot 10^{-38}$ | | 3,6 |
| 1100 | $1,52 \cdot 10^{-10}$ | $1,48 \cdot 10^{-10}$ | 1,03 | 0,0107 | 301,0 | 28,0 | 5,08 | $2,17 \cdot 10^{-30}$ | | 4,1 |
| 1200 | $9,75 \cdot 10^{-9}$ | $5,88 \cdot 10^{-9}$ | 1,66 | 0,0143 | 363,4 | 31,0 | 5,65 | $0,32 \cdot 10^{-26}$ | | 4,6 |
| 1300 | $3,22 \cdot 10^{-7}$ | $1,24 \cdot 10^{-7}$ | 2,57 | 0,018 | 430,9 | 33,7 | 6,22 | $1,34 \cdot 10^{-24}$ | | 5,2 |
| 1400 | $6,62 \cdot 10^{-6}$ | $1,73 \cdot 10^{-6}$ | 3,82 | 0,0238 | 503,5 | 37,2 | 6,78 | $2,51 \cdot 10^{-22}$ | | 5,7 |
| 1500 | $9,15 \cdot 10^{-5}$ | $1,65 \cdot 10^{-5}$ | 5,52 | 0,0298 | 580,6 | 40,3 | 7,36 | $2,36 \cdot 10^{-20}$ | | 6,3 |
| 1600 | 0,00022 | 0,00022 | 7,73 | 0,0367 | 662 | 43,5 | 7,9 | $1,25 \cdot 10^{-18}$ | $2,14 \cdot 10^{14}$ | 6,9 |
| 1700 | 0,007 | 0,0007 | 10,6 | 0,0445 | 747 | 46,7 | 8,5 | $0,42 \cdot 10^{-16}$ | $6,38 \cdot 10^{12}$ | 7,5 |
| 1800 | 0,045 | 0,0032 | 14,2 | 0,0533 | 836 | 50,5 | 9,1 | $0,95 \cdot 10^{-15}$ | $2,82 \cdot 10^{11}$ | 8,1 |
| 1900 | 0,23 | 0,012 | 18,6 | 0,0630 | 927 | 53,3 | 9,7 | $1,47 \cdot 10^{-14}$ | $2,82 \cdot 10^{10}$ | 8,8 |
| 2000 | 1,00 | 0,042 | 24,0 | 0,0738 | 1020 | 56,7 | 10,3 | $1,75 \cdot 10^{-13}$ | $1,53 \cdot 10^9$ | 9,4 |
| 2100 | 3,92 | 0,128 | 30,5 | 0,0856 | 1120 | 60,1 | 10,9 | $1,58 \cdot 10^{-12}$ | $1,70 \cdot 10^8$ | 10,1 |
| 2200 | 13,3 | 0,348 | 38,2 | 0,0984 | 1215 | 63,5 | 11,6 | $1,25 \cdot 10^{-11}$ | $2,14 \cdot 10^7$ | 10,8 |
| 2300 | 40,7 | 0,875 | 47,2 | 0,1124 | 1320 | 66,9 | 12,2 | $0,78 \cdot 10^{-10}$ | $3,44 \cdot 10^6$ | 11,6 |
| 2400 | 116,0 | 2,01 | 57,7 | 0,1275 | 1420 | 70,4 | 12,8 | $0,44 \cdot 10^{-9}$ | $6,10 \cdot 10^5$ | 12,4 |
| 2500* | 298 | 4,26 | 69,7 | 0,1436 | 1525 | 74,0 | 13,5 | $2,02 \cdot 10^{-9}$ | $1,38 \cdot 10^5$ | 13,2 |
| 2600 | 717 | 8,55 | 83,7 | 0,1611 | 1630 | 77,5 | 14,1 | $0,88 \cdot 10^{-8}$ | $3,05 \cdot 10^4$ | 14,0 |
| 2700 | 1630 | 16,4 | 99,6 | 0,1797 | 1740 | 81,0 | 14,8 | $3,20 \cdot 10^{-8}$ | $0,84 \cdot 10^4$ | 14,9 |
| 2800 | 3540 | 30,1 | 118,0 | 0,1995 | 1850 | 84,7 | 15,4 | $1,14 \cdot 10^{-7}$ | $2,35 \cdot 10^3$ | 16,0 |
| 2900 | 7320 | 58,1 | 138,0 | 0,2206 | 1960 | 88,3 | 16,1 | $3,44 \cdot 10^{-7}$ | $0,78 \cdot 10^3$ | 17,0 |
| 3000 | 14150 | 88,2 | 160,0 | 0,2430 | 2070 | 92,1 | 16,8 | $9,68 \cdot 10^{-7}$ | $2,77 \cdot 10^2$ | |

323. Poprawki uwzględniające ostygnięcie końców katody.

$$l_{sk} = l_k - \Delta l \dots \dots \dots (32)$$

l_{sk} - skuteczna długość katody, tj. długość katody idealnej, która w temperaturze pracy katody rzeczywistej daje taką samą emisję elektronów jak katoda rzeczywista.

$$\Delta l = k \cdot \sqrt{d_k} \dots \dots \dots (33)$$

k - współczynnik zależny od temperatury pracy katody.

Tablica VIII - Wartości współczynnika k dla różnych temperatur T_k .

| T /°K/ | 2100 | 2200 | 2300 | 2400 | 2500 | 2600 | 2700 | 2800 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k | 17,8 | 16,6 | 15,4 | 14,5 | 13,6 | 12,9 | 12,2 | 11,6 |

$$U_z = U_z' - \Delta U \dots \dots \dots (34)$$

U_z - napięcie żarzenia katody rzeczywistej /napięcie robocze/,
 U_z' - napięcie żarzenia katody idealnej /napięcie obliczeniowe/.

Wg I. Langmuira

$$\Delta U = 2,6 \cdot 10^{-4} (T_k - 1,3T_0) [V] \dots \dots \dots (35)$$

T_0 - temperatura zamocowań katody [°K].

Przyjmując $T_k = 2550^\circ K$ oraz $T_0 = 400^\circ K$, otrzymujemy :

$$\Delta U = 0,5V$$

Dla katody w kształcie litery V należy poprawkę ΔU pomnożyć przez 1,25, a dla katody w kształcie litery W - przez 1,75.

33. Katoda torowa.

Katody torowe wykonywane są bądź w postaci wolframu torowanego /ok.2,5% Th/ i nazywane są wówczas torowanymi bądź jako katody tlenkowe, tj. zawierające na rdzeniu metalowym /zwykle Ta lub Mo/ tlenki toru nałożone nań najczęściej drogą kateforezy.

Tabl. VII.

Dane charakterystyczne wolframu (wg H.A. Jonesa i L. Langmuira)

Dane katody torowanej.

| Pz W/cm ² | Tk K | θ m / cm ² | ie mA/cm ² | Wk mA/W | Tk godz. | Redukcja | Dyfuzja | Parowanie | Aktywacja | Zakres pracy |
|-------------------------|---------|--------------------------|--------------------------|------------|-------------|----------|---------|-----------|-----------|-----------------|
| | | | | | | | | | | |
| 3,82 | 1400 | 0,9998 | 3,12 | 0,8 | | nie | nie | nie | nie | |
| 7,75 | 1600 | 0,9995 | 81 | 10,5 | | nie | nie | nie | nie | |
| 14,2 | 1800 | 0,96 | 772 | 54 | 720000 | nie | nie | nie | nie | |
| 18,6 | 1900 | 0,92 | 1590 | 85 | 94000 | nie | nie | nie | nie | |
| 24,0 | 2000 | 0,87 | 2890 | 120 | 15100 | nie | nie | nie | nie | |
| 30,5 | 2100 | 0,78 | 3430 | 110 | 2900 | nie | nie | nie | nie | |
| 38,2 | 2200 | 0,55 | 1240 | 32 | 650 | nie | nie | nie | nie | |
| 47,2 | 2300 | 0,14 | 114 | 2,5 | 165 | nie | nie | nie | nie | |
| 57,7 | 2400 | 0,06 | 168 | | 50 | nie | nie | nie | nie | |
| 69,7 | 2500 | 0,035 | 357 | | 15 | nie | nie | nie | nie | |
| 83,7 | 2600 | 0,021 | 774 | | 5 | nie | nie | nie | nie | |
| 118 | 2800 | 0,009 | 3480 | | 0,75 | nie | nie | nie | nie | |
| 160 | 3000 | 0,004 | 13500 | | 0,15 | nie | nie | nie | nie | |

Tablica X - Dane katody tlenkowej torowej na rdzeniu tantalowym.

/grubość warstwy ThO_2 - 20μ /

| T_k | i_e | ρ_z | W_k | τ_k |
|--------------------|-----------------|-----------------|---------------|----------|
| $^{\circ}\text{K}$ | A/cm^2 | W/cm^2 | mA/W | godz |
| 1900 | 2,1 | 30 | 70 | 11000 |
| 1930 | 2,5 | 31 | 80 | 5700 |
| 1960 | 3,0 | 34 | 90 | 3200 |
| 1988 | 3,7 | 37 | 100 | 2000 |
| 2017 | 4,3 | 39 | 110 | 1100 |
| 2046 | 5,6 | 43 | 130 | 650 |
| 2075 | 7,1 | 47 | 150 | 400 |
| 2104 | 8,5 | 50 | 170 | 250 |

34. Katody z metali ziem alkalicznych.

Katody te wykonywane były dawniej w postaci rdzenia metalowego /zwykle wolframowego/ pokrytego barem /stosowany był również cez/ drogą naporowania; obecnie są wykonywane wyłącznie jako katody tlenkowe tj. zawierające na rdzeniu metalowym /zwykle Pt, Ni lub stopy Ni/ tlenki metali ziem alkalicznych /Ba, Sr, Ca/ nałożone drogą natryskiwania, kataforezy lub tp.

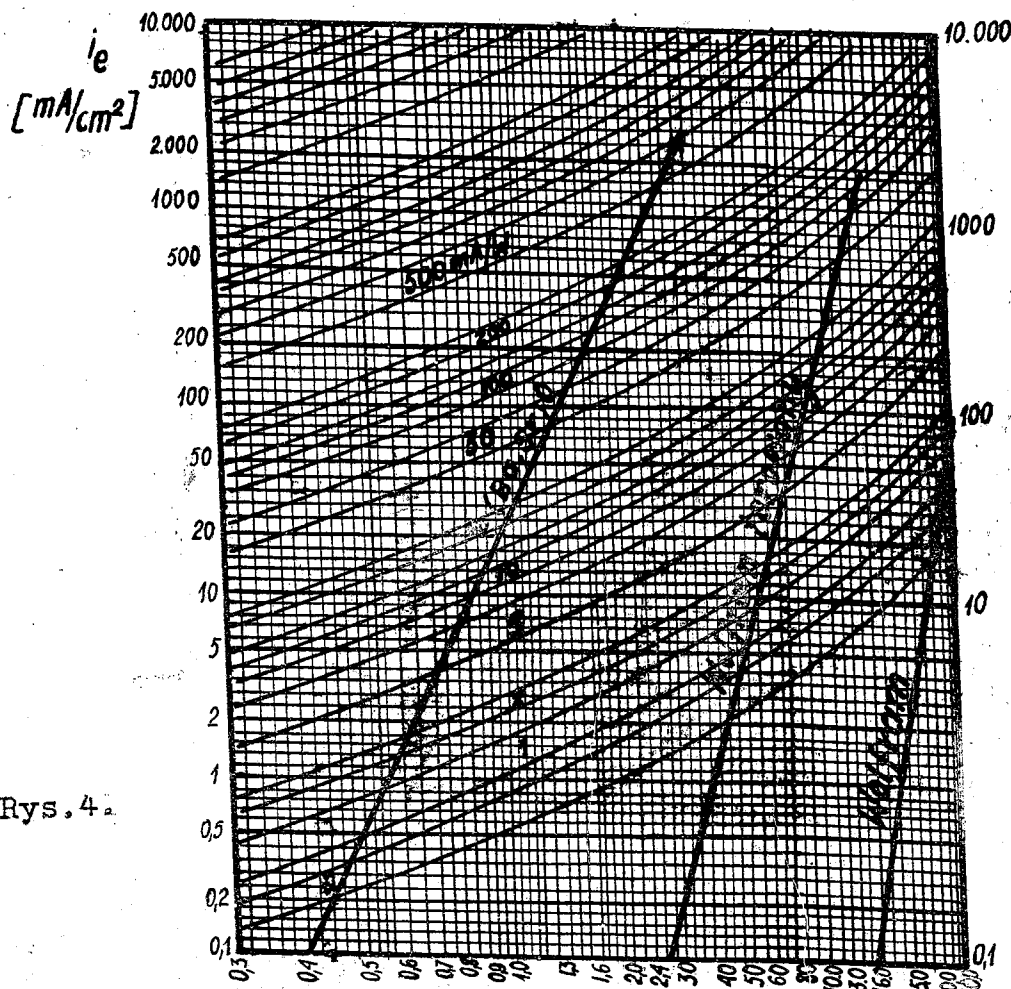
Tablica XI - Dane katody tlenkowej na rdzeniu z metalu konel /stop Fe, Ni i Co/.

| T_k | i_e | ρ_z | W_k |
|--------------------|------------------|-----------------|---------------|
| $^{\circ}\text{K}$ | mA/cm^2 | W/cm^2 | mA/W |
| 600 | 0,1 | 0,3 | 0,3 |
| 700 | 0,9 | 0,6 | 1,5 |
| 800 | 12 | 1,0 | 12 |
| 900 | 70 | 1,5 | 47 |
| 1000 | 430 | 2,2 | 175 |
| 1100 | 1800 | 3,5 | 515 |
| 1200 | 4000 | 4,9 | 818 |

35. Porównanie własności katod.

Tablica XII - Dane porównawcze katod

| Rodzaj katody | T_k K | i_e A/cm ² | ρ_i W/cm ² | W_k mA/W | k godz |
|----------------------------------|------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------|
| Wolframowa | 2500-2600 | 0,3-0,7 | 70-84 | 4-8 | 1000-4000 |
| Torowana | 1800-1900 | 0,3-0,8 | 11-18 | 30-50 | 1000-2000 |
| Torowana nawęglana | 1950-2000 | 0,7-1,5 | 14-22 | 50-70 | 1000-2000 |
| Tlenkowa torowa | 1800-1900 | 1 - 2 | 25-30 | 50-70 | 1000-2000 |
| Barowa | 750-900 | 0,3-0,9 | 4-6 | 70-120 | 1400-1500 |
| /Ba, Sr, Ca/O praca ciągła | 950-1150 | 0,15-0,5 | 2,8-5 | 60-100 | 1500-2000 |
| /Ba, Sr, Ca/O praca impulsowa | 950-1150 | 3 - 30 | 2,8-5 | 10 ³ -10 ⁴ | ----- |



Rys. 4.

4. LAMPA DWUELEKTRODOWA /DIODA/

4.1. Zakres początkowej szybkości elektronów

Dla diody płaskiej z ekwipotencjalną katodą w zakresie ujemnych napięć i przy małych gęstościach prądu /bez wpływu ładunku przestrzennego/ :

$$J_a = J_e \cdot e^{\delta U'_a} \quad [mA] \dots \dots \dots (36)$$

e - podstawa logarytmów naturalnych

J_e - prąd emisyjny [mA]

$$U'_a = U_a + U_{kt} = U_a + \varphi_k - \varphi_a \dots \dots \dots (37)$$

U_a - napięcie anody [V]

$U_{kt} = \varphi_k - \varphi_a$ - napięcie kontaktowe równe różnicy potencjałów wyjścia katody i anody

$$\delta = 10^7 \frac{e}{kT_k} = \frac{11600}{T_k} \dots \dots \dots (38)$$

e - ładunek elektronu [C]

k - stała Boltzmana [erg/st]

T_k - temperatura katoda [°K]

Dla katody wolframowej

$$T_k = 2550^\circ K, \quad \delta = 4,5,$$

Dla katody torowanej

$$T_k = 1950^\circ K, \quad \delta = 6,$$

Dla katod tlenkowych

$$T_k = 950-1150^\circ K, \quad \delta = 10-12.$$

Wzór /36/ może być przedstawiony następująco:

$$J_a = a_1 \cdot T_k^2 \cdot e^{\frac{11600}{T_k} (U_a - \varphi_a)} \dots \dots \dots (39)$$

a_1 - stała ze wzoru Richardsona - Dushmana.

Wynika stąd, że w tym zakresie prąd anody nie zależy od φ_k .

W układzie cylindrycznym elektrod przy tych samych założeniach co poprzednio:

$$J_a = H_0 \cdot J_e \cdot e^{\delta U'_a} \dots \dots \dots (40)$$

H_0 - współczynnik zależny od δU_a