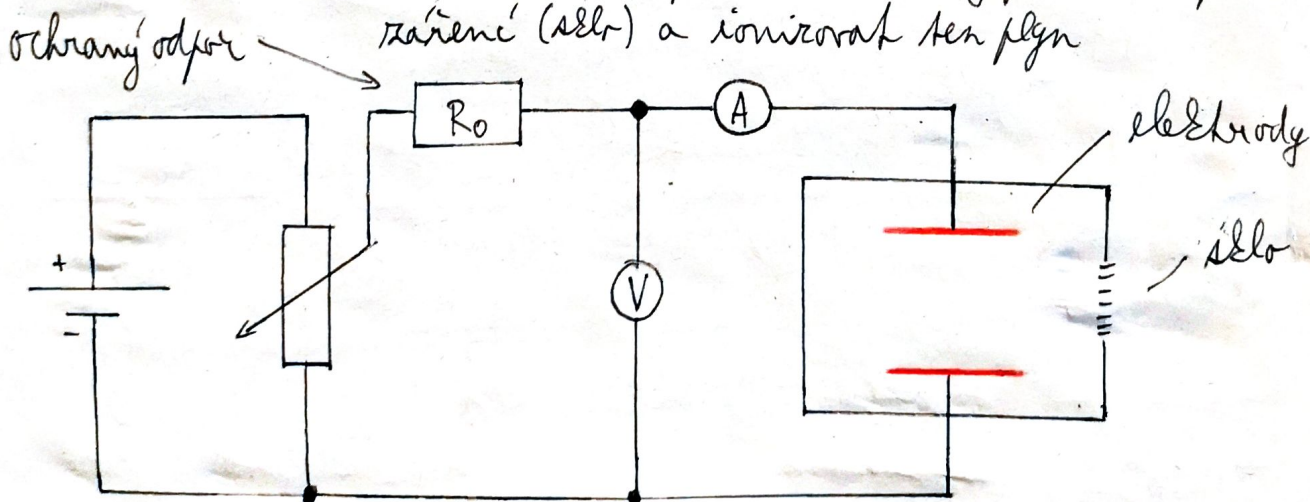


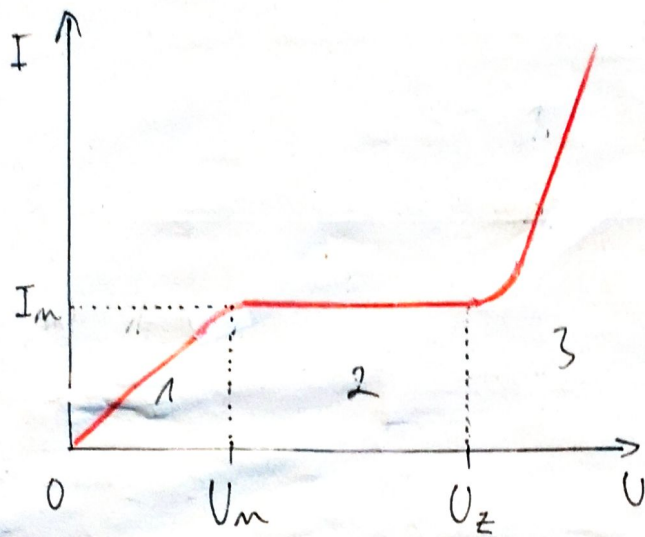
- Elektrický proud v plynech

- plyn je za normálních podmínek izolant
- bude-li v plynu přítomný ionizátor (plamen svíčky), který dodá plynu ionizační energii, pak plyn ionizuje
 - z plynu se uvolní elektron a vznikne kladný ion
 - může dojít ke spojení uvolněného e^- a neutrální částice a vznikne záporný ion \rightarrow (ion = iont)
- \rightarrow ionizace = vytrávení volných nosičů náboje v plynu
- \rightarrow rekombinace = spojení e^- s kladným ionem
- \rightarrow plyn v elektrickém poli - (meri elektrodami)
 - částice s nábojem se pohybují uspořádaným pohybem
 - \Rightarrow plynem probíhá proud
 - \rightarrow říkáme, že v plynu nastal výboj
- nesamostatný výboj = výboj probíhá za přítomnosti ionizátoru
- samostatný výboj = výboj probíhá bez ionizátoru

\rightarrow Voltampérová charakteristika ionizační komory

- ionizační komora = nádoba ve které je uzavřen plyn
- \rightarrow 1. stěna má upravenou část, aby jí mohlo procházet záření (sdr) a ionizovat ten plyn





- 1 → přímá úměra
- 2 → téměř konstantní
- 3 → prudký nárůst proudu

nesamostatný výboj samostatný výboj

1) $I \sim U \Rightarrow$ platí ohmův zákon

$$I = \frac{U}{R}$$

2) při hodnotě napětí U_m prochází plynem proud I_m
 → $I_m =$ nasycený proud

- už téměř nepřibývá volných nosičů náboje
 → rekombinace probíhá téměř stejně rychle jako ionizace

- takhle probíhá až do napětí $U_z =$ zápalné napětí

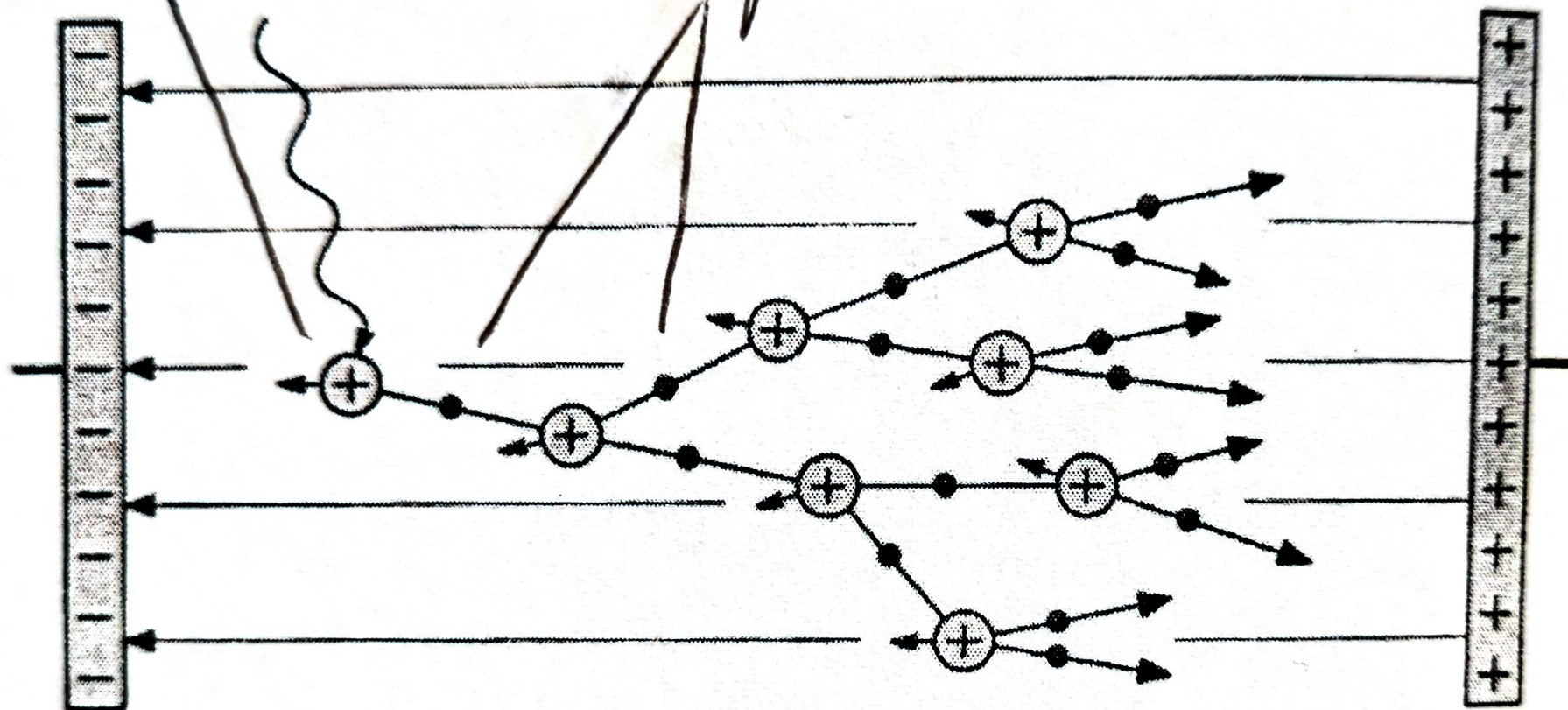
3) při zápalném napětí nastává ionizace nárůstem

- elektrickým polem jsou volné částice urychleny
- nasobí, že s elektrickým dovozem přestídný bez srážky
- ⇒ méně částí srážky
- ⇒ prodloužila se průměrná dráha volného pohybu
- ⇒ částice mají větší kinetickou energii

ionizace nárůstem { → při srážce nedochází k vzniku zápalného ionu
 - předaná kinetická ϵ stačí k ionizaci
 ⇒ ionizace převládá nad rekombinací ⇒ nárůst proudu

původně neutrální částice

původní elektron



6-4 Lavinovitá ionizace nárazem

• Ionizační energie - E_i

= energie potřebná k odštěpení e^- z valenční vrstvy

\Rightarrow při ionizaci nárůst je E_k elektronů $\geq E_i$ atomů plynu

\rightarrow volná dráha elektronů - λ

$$E_i = W = F_e \cdot \lambda$$

chci F_e : $W = F_e \cdot d$ } $F_e \cdot d = e \cdot U$
 $W = Q \cdot U$

\rightarrow baríme se o $e^- \rightarrow Q = e$

$$\Rightarrow E_i = \frac{e \cdot U}{\lambda} \cdot \lambda$$

$$\Rightarrow \underline{E_i = e \cdot U}$$

$$[E_i] = e \cdot V \rightarrow \underline{\text{elektron volt}}$$

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

↓

→ k ionizaci už není potřeba ionizátor
⇒ samostatný výboj

→ Samostatný výboj za atmosférického tlaku - $p_a = 100 \text{ kPa}$

• obloukový výboj

→ je potřeba velké napětí + standard jsou C elektrody

→ uhlíkové elektrody se přitisknou k sobě, čímž se rozřezají a pak se vzdalí na několik milimetrů

→ vzduch mezi elektrodami se zahřeje a začne ionizovat a začne být vodivý

→ mezi elektrodami prochází proud a doprovází ho světelný efekt

→ využití

- zdroj intenzivního světla

- obloukové svařování

- využít toho, že výboj probíhá za vysoké teploty a že plynem prochází velký proud

• jistrový výboj

→ obloukový výboj krátkého trvání

→ protože nejde udržet stále napětí mezi „elektrodami“

→ například blesk → elektrody = mraky

• koróna

→ výboj v nehomogenním elektrickém poli

⇒ v okolí hrotů, hran, drátů...

→ srážení + jiskření

→ Samostatný výboj za smíšeného tlaku

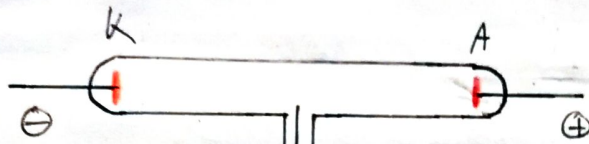
- výboj probíhá ve výbojové trubici

- výbojová trubice

→ větší výboje

→ zelená trubice, ze které lze odsávat plyn

⇒ smíšením jeho tlaku v té trubici



- menší tlak ⇒ méně částic ⇒ méně částí srážek

⇒ delší průměrná dráha volného pohybu

⇒ větší kinetická energie částic s nábojem

⇒ s ionizací nárůstem dojde už při nižším U
(samostatný výboj nastane dříve)

• $p = 10 \text{ kPa}$

→ vlní se světelný proud mezi elektrodami

• $p = 100 \text{ Pa}$

→ anodový sloupec - narůžovělá „mlha“

→ katodové doutnavé světlo - modré světélkování

- mezi elektrodami není všude stejná intenzita

⇒ intenzita největší u katody

• $p = 1 \text{ Pa}$

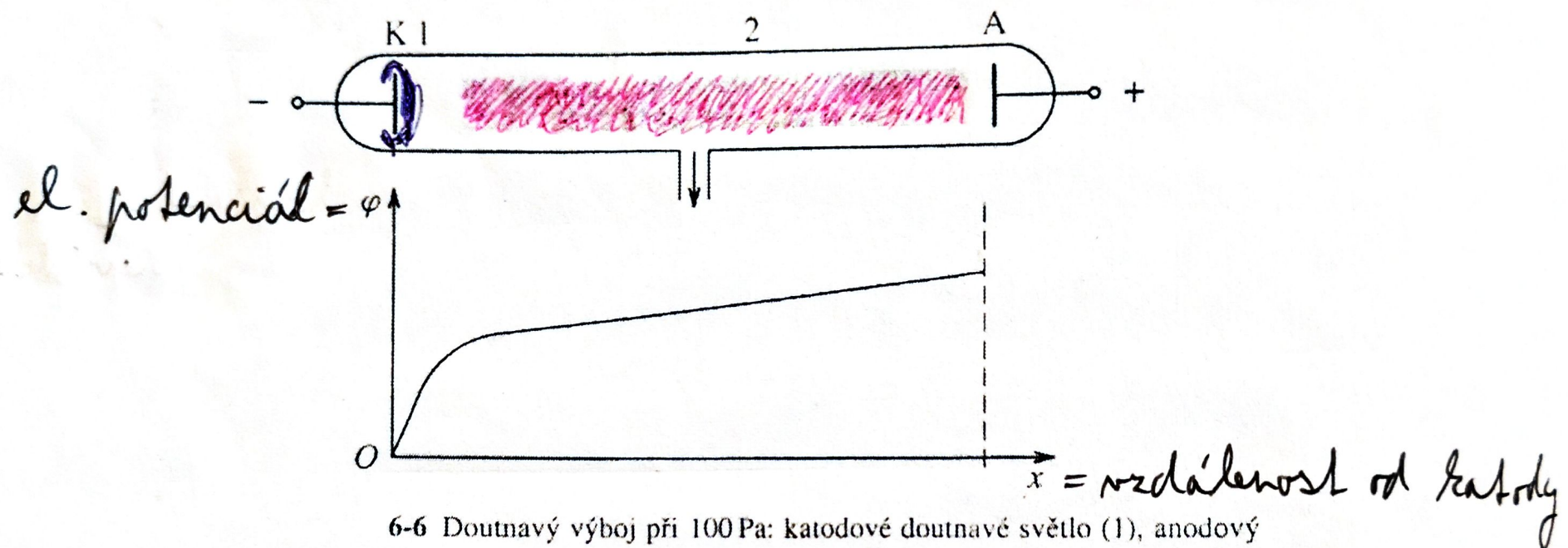
→ proud jsou v elektrodách obrovní

• za K → anodové záření - proud kladných ionů

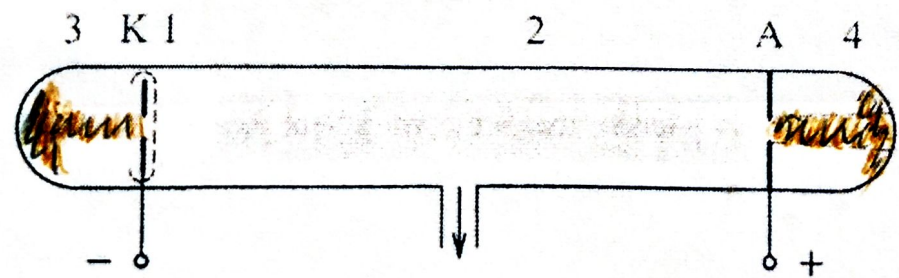
• za A → katodové záření - proud záporných ionů

→ světélkování výbojové trubice - zelenožluté

→ katodové záření = proud e^- urychlených el. proudem mezi elektrodami - (velká kin. E elektronů)



6-6 Doutnavý výboj při 100 Pa: katodové doutnavé světlo (1), anodový sloupec (2)



6-8 Oddělení kanálového a katodového záření při doutnavém výboji: kanálové záření (3), katodové záření (4)

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- 1) Jiskrový výboj v kyslíku probíhá mezi elektrodami vzdálenými od sebe 6 cm. Napětí mezi elektrodami je 23,7 kV. Ionizační energie kyslíku je 15,8 eV.

Vypočítejte:

- a) minimální rychlost, kterou musí mít elektron, aby ionizoval molekulu kyslíku,
b) minimální volnou dráhu pohybu elektronu mezi elektrodami potřebnou k ionizaci kyslíku.

(hmotnost elektronu je $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, elementární náboj $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C)

$$(a) v = \sqrt{\frac{2E_i}{m_e}} \doteq 2,36 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; \quad b) \lambda = \frac{E_i \cdot d}{e \cdot U} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m} (= 40 \mu\text{m})$$

- 2) Mezi anodou a katodou ve vakuu je vzdálenost 75 mm a napětí 150 V. Za předpokladu, že mezi elektrodami je homogenní elektrické pole, vypočítejte zrychlení elektronů emitovaných katodou, dobu jejich pohybu od katody k anodě a jejich rychlost při dopadu na anodu.

(hmotnost elektronu je $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, elementární náboj $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C)

$$(a = \frac{e \cdot U}{m_e \cdot d} \doteq 3,52 \cdot 10^{14} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}; \quad t = d \cdot \sqrt{\frac{2m_e}{e \cdot U}} \doteq 2,1 \cdot 10^{-8} \text{ s} (= 21 \text{ ns}); \quad v = \sqrt{\frac{2e \cdot U}{m_e}} \doteq 7,3 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})$$

- 3) Za bouřky došlo k jiskrovému výboji ve formě blesku mezi dvěma mraky. Při výboji, který trval 0,5 ms, byl přenesen náboj 17 C. Výboj vyrovnal původní rozdíl potenciálů (napětí) 25 MV mezi oběma mraky. Vypočítejte energii blesku a střední hodnotu elektrického proudu výboje.

$$(W = \frac{1}{2} U \cdot Q = 2,125 \cdot 10^8 \text{ J} (= 212,5 \text{ MJ}); \quad I = \frac{Q}{t} = 3,4 \cdot 10^4 \text{ A} (= 34 \text{ kA}))$$

- 4) Samostatný výboj v neznámém plynu nastal, když napětí mezi elektrodami bylo 120 kV. Vzdálenost mezi elektrodami byla 20 mm a volná dráha elektronů emitovaných katodou 3 μm . Vypočítejte ionizační energii plynu v eV.

$$(E_i = \frac{e \cdot U \cdot \lambda}{d} = 18 \text{ eV})$$

$$U = 12 \cdot 10^4 \text{ V}$$

$$d = 20 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\lambda = 3 \mu\text{m} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$E_i = ?$$

$$E_i = U e \cdot \frac{\lambda}{d}$$

$$E_i = 12 \cdot 10^4 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot \frac{3 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-2}} \text{ J}$$

$$E_i = 18 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_i = 18 \text{ eV}$$

ELEKTRICKÝ PŘOD V PLYNECH

① $d = 6 \text{ cm}$ $E_i = F_e \cdot \lambda$ $W = F_e \cdot d = Q \cdot U \Rightarrow F_e = \frac{QU}{d}$
 $U = 23,7 \text{ kV}$ $E_i = \frac{eU\lambda}{d} \Rightarrow \lambda = \frac{E_i d}{eU}$
 $E_i = 15,8 \text{ eV}$
 $\lambda, \nu = ?$ $\lambda = \frac{15,8 \cdot 6 \cdot 10^{-2}}{e \cdot 23,7 \cdot 10^3} \text{ m} = \frac{15,8 \cdot 6 \cdot 10^{-5}}{23,7} \text{ m} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m} = \underline{\underline{40 \mu\text{m}}}$

$E_i = E_k = \frac{1}{2} m_e \cdot \nu^2 \Rightarrow \nu = \sqrt{\frac{2}{m_e} E_i}$
 $\Rightarrow \nu = \sqrt{\frac{2 \cdot 15,8 \cdot e}{m_e}} \text{ m/s} = \sqrt{\frac{31,6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \text{ m/s} = \underline{\underline{2,36 \cdot 10^6 \text{ m/s}^{-1}}}$

② $d = 45 \text{ mm}$ \rightarrow při elektronu vychlazuje

$U = 150 \text{ V}$
 $a, \lambda, \nu = ?$

$F_e = m_e a$ $W = F_e \cdot d = Q \cdot U \Rightarrow F_e = \frac{e \cdot U}{d}$
 $\Rightarrow a = \frac{e \cdot U}{d \cdot m_e} = \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 150}{45 \cdot 10^{-3} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} \text{ m/s}^{-2}$

$d = \frac{1}{2} a t^2$

$t = \sqrt{\frac{2d}{a}}$

$a = \frac{1,602 \cdot 2 \cdot 10^{-15}}{9,1} \text{ m/s}^{-2} = \underline{\underline{3,52 \cdot 10^{14} \text{ m/s}^{-2}}}$

$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 45 \cdot 10^{-3}}{3,52 \cdot 10^{14}}} \text{ s} = \sqrt{\frac{15 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-14}}{3,52}} \text{ s} = 10^{-8} \sqrt{\frac{15}{3,52}} \text{ s} = \underline{\underline{2,1 \cdot 10^{-8} \text{ s} = 21 \text{ ns}}}$

$\nu = a \cdot t = 3,52 \cdot 10^{14} \cdot 2,1 \cdot 10^{-8} = \underline{\underline{7,3 \cdot 10^6 \text{ m/s}^{-1}}}$

③ $t = 0,5 \text{ ms} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ s}$

$I = \frac{Q}{t} = \frac{17}{5 \cdot 10^{-4}} \text{ A} = \underline{\underline{3,4 \cdot 10^4 \text{ A} = 34 \text{ kA}}}$

$Q = 17 \text{ C}$

$U = 25 \text{ MV}$

$E, I = ?$

molý ~ elektrody

blesk ~ kondenzátor

\Rightarrow energie blesku ~ energie kondenzátora

\Rightarrow energie ~ střední hodnota práce při vybití

$\Rightarrow E = \frac{1}{2} U \cdot Q = \frac{1}{2} \cdot 25 \cdot 10^6 \cdot 17 \text{ J} = \underline{\underline{212,5 \text{ MJ}}}$