

## 4.4.5 Nesamostatný výboj v plynu

**Předpoklady:** 4101, 4201

**Př. 1:** Najdi ve třídě látky, u kterých můžeš snadno dokázat, že patří mezi nevodiče.

Umělé hmoty (používají se jako izolace drátů, je z nich vyrobena tyč, se kterou jsme prováděli elektrostatické pokusy)

Mezi nevodiče patří za normálních podmínek vzduch. Jinak by nebylo možné používat prakticky žádné elektrické přístroje. Nemohla by se používat ani obyčejná zásuvka, protože vodivý vzduch by ji ihned zkratoval.

**Pedagogická poznámka:** Studenti určitě budou jmenovat různé umělé hmoty. Na vzduch však většinou zapomenou, i když je ho ve třídě daleko víc a jeho nevodivost je ještě zřejmější. Vždycky při diskusi o řešení, které většinou vzduch neobsahuje, trvám na tom, že ještě něco chybí.

Je vzduch nevodivý vždy?

### Pokus 1:

Nabijeme elektroskop tyčí, zůstává nabitý  $\Rightarrow$  za normálních okolností vzduch elektrický proud nevede (velmi dobře ověřené i existencí zásuvek)  $\Rightarrow$  vzduch neobsahuje dostatečné množství nabitých částic (pohyblivé jsou všechny částice ve vzduchu)

Jak mohu elektroskop vybit?

- Dotykem  $\Rightarrow$  elektrony poběží po mém těle
- Když do dám do blízkosti elektroskopu hořící svíčku  $\Rightarrow$  svíčka musí vyrobít nabitě částice

Jak?

Plamen = rozžhavené částice plynů = částice, které mají velkou energii a při nárazech se u nich může oddělit některý z elektronů od zbytku atomu:

Vzniknou nabitě částice:

- záporný elektron (je lehký)
  - kladný iont (ten je vzhledem k hmotnosti elektronu velmi těžký)
- $\Rightarrow$  objeví se nabitě částice  $\Rightarrow$  proud může procházet  $\Rightarrow$  vzduch začne vést

Pojmenování:

Oddělení elektronu od zbytku atomu = **ionizace**.

Příčina ionizace (plamen) = **ionizátor** (dodává elektronům energii nutnou k jejich odtržení).

Po chvíli už vydrží elektroskop nabitý  $\Rightarrow$  ionty i elektrony ze vzduchu zmizely  $\Rightarrow$  probíhá proces opačný k ionizaci = **rekombinace** (z nabitého plynu se stává rekombinací nenabitý, tím že kladné zbytky atomů si přitáhnou volné elektrony a chytí si je)

**Pokus 2:** Na elektrody připojím zdroj vysokého napětí (+ 20000V a -20000V)

Ačkoliv je mezi elektrodami napětí 40 000 V neprochází žádný měřitelný proud.

Vložím mezi elektrody zapálenou svíčku. Začne procházet proud a plamínek se vychýlí k desce se

záporným napětím.

Proč?

Plamínek obsahuje velké množství kladných iontů a ty jsou přitahovány k záporné elektrodě.

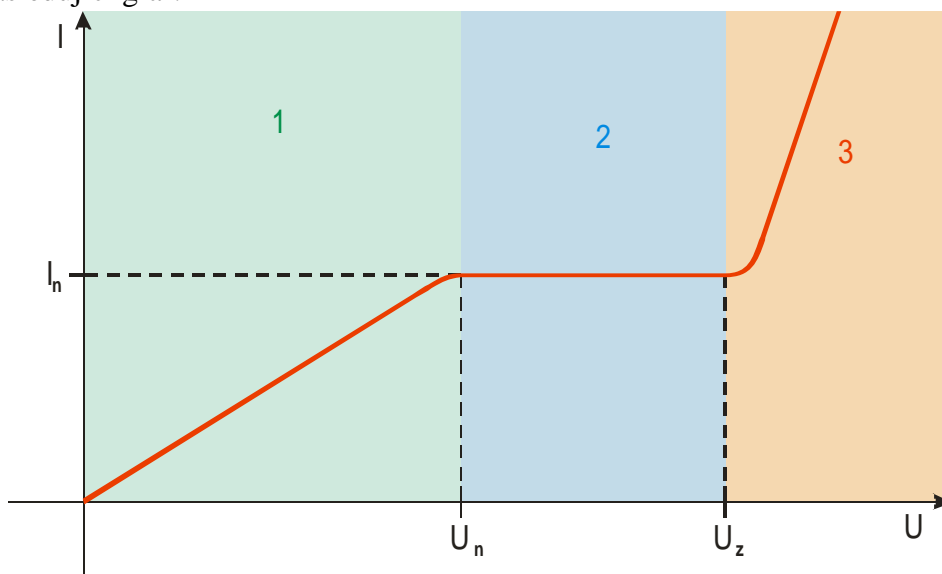
⇒ Podobně jako v kapalinách i pevných látkách = proud v plynu existuje pouze v případě, že se v něm nachází nabitě částice.

Chci změřit VA charakteristiku výboje v plynu

Uspořádání pokusu (ionizační komora):

- dvě kovové elektrody, na které přivádíme napětí
- vzduch uzavřu do kovové baňky
- okénkem ozařuji, abych ionizoval vzduch a ten vedl proud

Získáme následující graf:



VA charakteristika má tři části:

**část 1: Když se zvětšuje napětí, zvětšuje se i proud**

Proč?

Ionty a elektrony vzniklé ionizací mohou :

- dojít k deskám ⇒ přenesou náboj a já změřím, že mezi deskami projde proud.
- navzájem se potkat ⇒ vytvoří neutrální atom a žádný náboj nepřenesou

Větší napětí ⇒ elektrony a ionty získávají větší rychlost ⇒ menší dobu letí mezi deskami ⇒ s menší pravděpodobností potkají protějšek a zrekombinují na neutrální atom ⇒ více jich dojde ke své elektrodě a více jich přenesou náboj ⇒ proteče větší proud

V této části platí Ohmův zákon:

**část 2: proud má hodnotu  $I_n$  a nezávisí na velikosti napětí (které je větší než  $U_n$ )**

Proč proud přestane růst?

Při napětí  $U_n$  téměř všechny ionty i elektrony dojdou ke své elektrodě ⇒ proud nemůže dál růst, protože není možné přenést víc náboje

Velikost proudu určuje míra ionizace (kolik iontů se za sekundu vytvoří, tolik jich může přenášet proud, na napětí už nezáleží)

$U_n$  - nasycené napětí,  $I_n$  - nasycený proud

**část 3: hodnota proud přesáhne hodnotu  $I_n$  a strmě roste se zvyšování napětí (které je větší než  $U_z$ )**

Elektrony i ionty se během cesty srážejí s neutrálními částicemi. Při napětí  $U_z$  je elektrické pole tak silné, že urychlí nabitě částice mezi srážkami na takovou energii, že neutrální částice rozbíjí na iont a elektron  $\Rightarrow$  nárazem vzniknou další nosiče  $\Rightarrow$  jejich počet se lavinovitě zvyšuje = spustí se **lavinová ionizace** nárazem.

$U_z$  - zápalné napětí

V části tři může výboj probíhat i bez působení ionizátoru = **samostatný výboj**

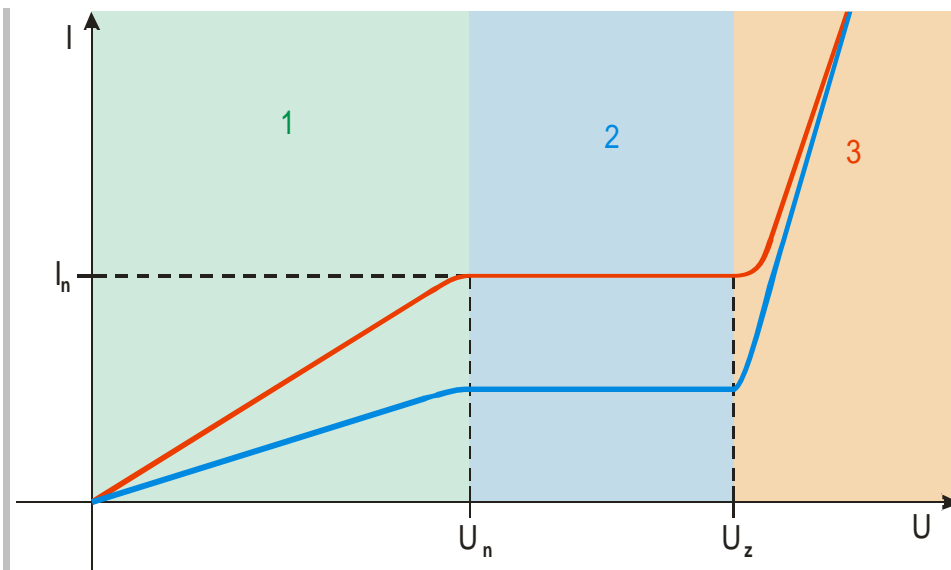
Výboj v části 1 a 2 vyžaduje ionizátor = **nesamostatný výboj**

Ionizovaný plyn v samostatném výboji se nazývá **plazma**.

Na ionizaci plynu se mohou podílet:

- elektrony vzniklé dopadem iontů na katodu = sekundární emise
- elektrony uvolněné z katody jejím rozžhavením = tepelná emise
- elektrony vytržené z katody elektrickým polem = tunelový jev
- elektrony uvolněné z katody UV zářením = fotoemise

**Př. 2:** Dokresli do obrázku s VA charakteristikou charakteristiku výboje, který by probíhal za působení ionizátoru s polovičním výkonem.



V částech 1 a 2 by nová charakteristika měla dosahovat polovičních hodnot než charakteristika původní. V části 3, kde hrají větší roli nabitě částice vzniklé lavinovou ionizací a role ionizátoru se zmenšuje, by se obě křivky měly přibližovat a postupně zcela splynout.

**Př. 3:** Mezi deskami nabitými vysokým napětím vytváří plamen svíčky  $3 \cdot 10^{11}$  párů elektron kladný iont za  $1 \text{ s}$ . Urči hodnotu nasyceného proudu, který může mezi deskami procházet.

$$I = \frac{Q}{t} \quad t = 1 \text{ s}$$

$$Q = (n_{\text{elektronů}} + n_{\text{iontů}}) \cdot e = 2 \cdot n_e \cdot e$$

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{n \cdot e \cdot 2}{t} = \frac{3 \cdot 10^{11} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2}{1} = 9,6 \cdot 10^{-8} \text{ A}$$

Mezi deskami může procházet nasycený proud  $9,6 \cdot 10^{-8} \text{ A}$  .

**Shrnutí:** Vzduch za normálních okolností nevede (obsahuje velmi málo nabitých částic). Pokud ionizací nabitě částice vyrobíme, stane se vodičem.