## Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity

### PRAKTIKUM Z FYZIKY PLAZMATU

## Měření prvního Townsendova koeficientu

**Zpracovali:** Radek Horňák, Lukáš Vrána Naměřeno: 1. 3. 2022

#### 1 Teorie

Teorie lavin popsaná Townsendem vysvětluje základní ionizační mechanismus elektrického výboje. Mějme dvě paralelní kovové desky a mezi nimi homogenní elektrické pole E. Elektrony jsou v poli urychlovány a sráží se s neutrálními částicemi, přičemž může docházet k nepružným srážkám vedoucím k excitaci nebo ionizaci neutrálů. Pokud počet elektronů v místě x označíme n, pak podél dráhy dx vznikne ionizačními srážkami dn nových elektronů a platí

$$dn = n\alpha \, dx \tag{1}$$

kde  $\alpha$  je označení pro první Townsendův, někdy nazývaný i ionizační koeficient. Ten vyjadřuje počet ionizačních srážek jednoho elektronu na jednotkové délce. Integrací získáme

$$ln n = \alpha x + konst$$
(2)

a následnou úpravou dostáváme vztah

$$n = n_0 e^{\alpha x} \tag{3}$$

kde  $n_0$  je počet elektronů v počátečním bodě x=0. Ionizační koeficient závisí na intenzitě elektrického pole E a na tlaku plynu v aparatuře p. Je-li dán podíl E/p, můžeme psát

$$\alpha = p f\left(\frac{E}{p}\right) \tag{4}$$

tedy ionizační koeficient je úměrný počtu srážek na jednotku délky. Experimentální výsledky ukazují, že konkrétní závislost  $\alpha$  na E/p je ve tvaru

$$\frac{\alpha}{p} = A e^{-\frac{Bp}{E}} \tag{5}$$

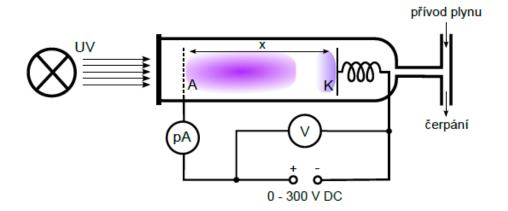
kde A a B jsou konstanty, pro které platí

$$U_i = \frac{B}{A} \tag{6}$$

kde  $U_i$  je ionizační potenciál plynu v aparatuře. Hodnotu konstant A a B lze určit experimentálně.

## 2 Měření a výsledky

Aparatura použitá v tomto praktiku je schematicky znázorněna na obr. 1. Jejími hlavními komponenty jsou zdroj napětí, rotační olejová vývěva, výbojka, jehlový ventil, Piraniho manometr, ampérmetr a voltmetr. Je založena na principu fotoelektrického jevu. Pomocí rtuťové výbojky osvětlujeme hliníkovou rovinnou katodu UV zářením a produkujeme tak fotoelektrony. Ty jsou urychlovány homogenním elektrickým polem na mřížkovou anodu. Katodu můžeme posouvat a tím měnit dráhu, po níž dochází k ionizaci neutrálů. Do výbojky, kterou čerpáme vakuovou vývěvou, je vpuštěný argon. Tlak se nastavuje jehlovým ventilem a měří Piraniho manometrem. Jedná se o nepřímý manometr, pro argon je tedy odečítaný tlak potřebné vynásobit faktorem 1,59.



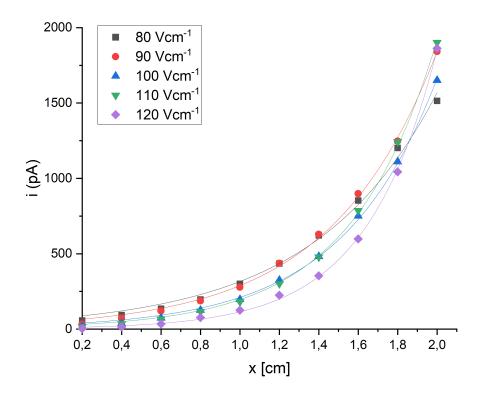
Obrázek 1: Schéma použité aparatury

Při měření musíme dbát na to, aby ve výbojce nevznikl samostatný výboj, tedy měříme pro hodnoty intenzity elektrického pole  $80\text{-}120\,\mathrm{V/cm}$ . To v praxi udržujeme nastavením napětí na zdroji a přizpůsobením vzájemné vzdálenost katody a UV výbojky. Výstupem z měření je poloha katody x, hodnota napětí U a proud i pro několik hodnot konstantní intenzity elektrického pole E. Pro každou změnu intenzity pole naladíme irisovou clonu UV výbojky tak, abychom měli maximální proud okolo  $1800\,\mathrm{pA}$  z důvodu rozsahu na přístroji do  $1999\,\mathrm{pA}$ . Proud je tedy řádově pA až nA, pro zlepšení přesnosti měření z ampérmetru odečítáme vždy 3 hodnoty a dále budeme pracovat s jejich průměrem. Tlak je konstantní o hodnotě  $p=79,5\,\mathrm{Pa}$ .

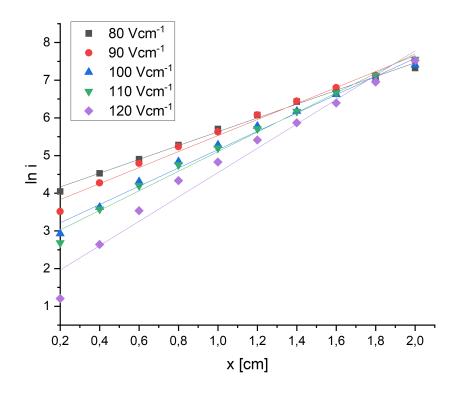
V rovnicích (2) a (3) lze nahradit počet elektronů proudem. Z naměřených dat můžeme sestavit graf závislosti  $i = i_0 f(x)$ , viz obr. 2. Body jsou proložené exponenciální funkcí  $i = i_0 e^{\alpha x}$ , z toho získané  $i_0$  a  $\alpha$  jsou uvedené v levé části tabulky 1.

Dále můžeme vytvořit graf závislosti  $\ln i = \ln i_0 + \alpha x$ , viz obr. 3. Závislost je proložená lineární funkcí  $i = i_0 + \alpha x$ , získané  $i_0$  a  $\alpha$  jsou uvedené v pravé části tabulky 1.

V obou případech je vidět, že s rostoucí intenzitou elektrického pole E proud  $i_0$  klesá a ionizační koeficient  $\alpha$  roste.



Obrázek 2: Graf závislosti i na x.

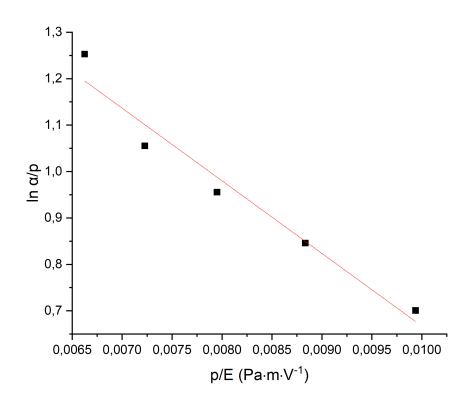


Obrázek 3: Graf závislosti  $\ln i$  na x.

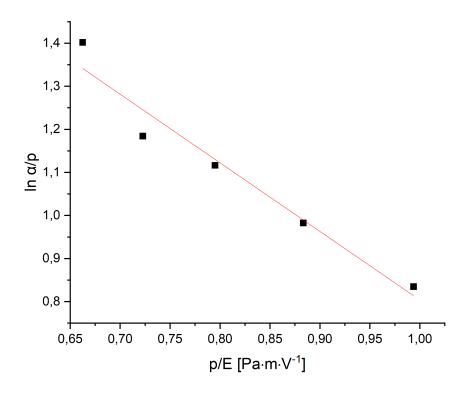
Tabulka 1: Hodnoty proudů  $i_0$  a ionizačních koeficientů  $\alpha$  pro různé hodnoty E.

	i = i	$i_0 e^{\alpha x}$	$i = i_0 + \alpha x$		
$E \left[ V \text{cm}^{-1} \right]$	$i_0$ [pA]	$\alpha  [\mathrm{cm}^{-1}]$	$i_0$ [pA]	$\alpha  [\mathrm{cm}^{-1}]$	
80	$63,7 \pm 6,6$	$1,60 \pm 0,06$	$44.7 \pm 1.1$	$1,83 \pm 0,04$	
90	$45,3 \pm 2,8$	$1,85 \pm 0,03$	$30,2 \pm 1,1$	$2,12 \pm 0,08$	
100	$26,7 \pm 1,7$	$2,07 \pm 0,03$	$15,3 \pm 1,1$	$2,43 \pm 0,09$	
110	$19,9 \pm 1,2$	$2,23 \pm 0,03$	$12,3 \pm 1,1$	$2,60 \pm 0,09$	
120	$7,09 \pm 0,48$	$2,80 \pm 0,03$	$3,7 \pm 1,3$	$3,23 \pm 0,20$	

Jelikož jsme provedli měření pro několik hodnot E/p, můžeme sestavit grafy závislosti  $\ln \alpha/p = f(p/E)$  a proložit jej lineární funkcí  $\ln \alpha/p = \ln A - \frac{Bp}{E}$ , která vychází z úpravy rovnice (5). To provedeme jak pro  $\alpha$  získané z exponenciálního fitu v grafu 2, viz obr. 4, tak i pro  $\alpha$  z lineárního fitu v grafu 3, viz obr. 5. Následně pomocí rovnice (6) určíme ionizační potenciál argonu  $U_i$ , viz tab. 2. Tabulková hodnota pro argon je  $U_i = 15,76\,\mathrm{eV}$ . Té se více přiblížil potenciál  $U_i = (14.5 \pm 2.4)\,\mathrm{eV}$  získaný po dosazení  $\alpha$  z lineárního fitu.



Obrázek 4: Graf závislosti l<br/>n $\alpha/p$  na p/E pro  $\alpha$  z exponenciálního fitu.



Obrázek 5: Graf závislosti l<br/>n $\alpha/p$  na p/E pro $\alpha$ z lineárního fitu.

Tabulka 2: Hodnoty konstant A, B a ionizačních potenciálů  $U_i$  argonu z  $\ln \alpha/p = \ln A - \frac{Bp}{E}$ .

Dosazení $\alpha$ z exponenciálního fitu			Dosazení $\alpha$ z lineárního fitu		
A	B	$U_i$ [eV]	A	B	$U_i [eV]$
$9,3 \pm 1,2$	$156 \pm 18$	$16.8 \pm 2.9$	$11,0 \pm 1,2$	$159 \pm 20$	$14,5 \pm 2,4$

# 3 Závěr

Cílem této úlohy bylo seznámit se s Townsendovou teorií lavin. Z měření jsme ověřili exponenciální růst proudu s rostoucí vzdáleností elektrod. Také jsme určili první Townsendův koeficient pro různé hodnoty intenzity elektrického pole, který roste s rostoucí E. Nakonec jsme získali ionizační potenciál argonu ze závislostí i=f(x) a  $\ln i=f(x)$ , který nám vyšel přesněji z lineárního proložení  $\ln i=f(x)$  jako  $U_i=(14.5\pm 2.4)\,\mathrm{eV}$ , tabulková hodnota je  $U_i=15,76\,\mathrm{eV}$ .