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 α 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 α na E/p je ve tvaru

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

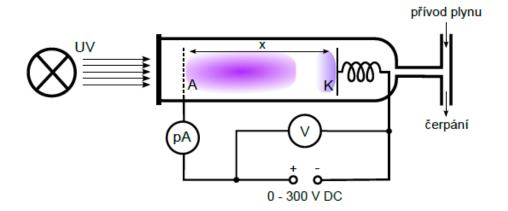
kde A a B jsou konstanty, pro které platí

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

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.



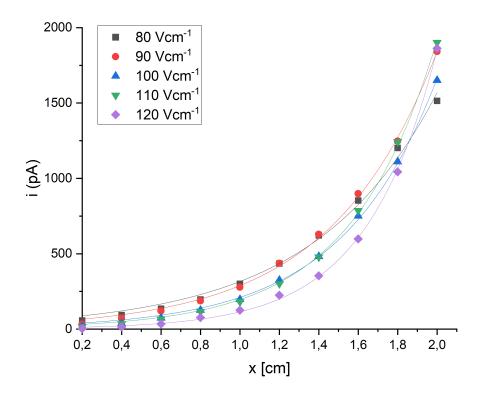
Obrázek 1: Schéma použité aparatury

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 $p=79,5\,\mathrm{Pa}$.

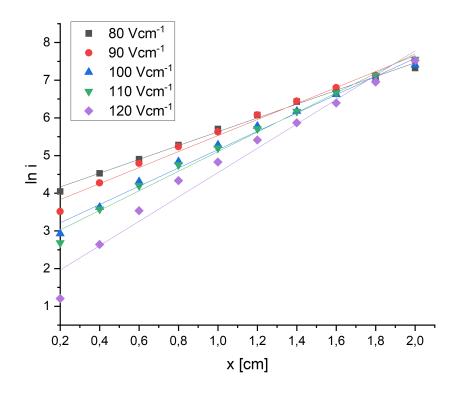
V rovnicích (2) a (3) lze nahradit počet elektronů proudem. Z naměřených dat můžeme sestavit graf závislosti $i = i_0 f(x)$, viz obr. 2. Body jsou proložené exponenciální funkcí $i = i_0 e^{\alpha x}$, z toho získané i_0 a α jsou uvedené v levé části tabulky 1.

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 α 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 α roste.



Obrázek 2: Graf závislosti i na x.

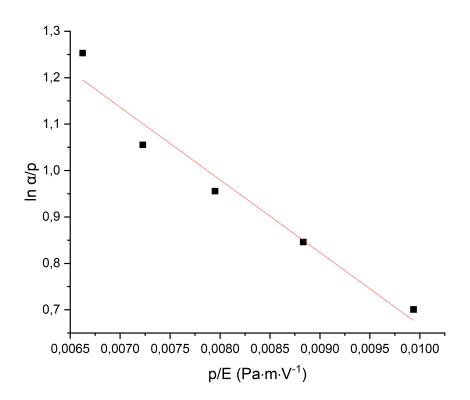


Obrázek 3: Graf závislosti $\ln i$ na x.

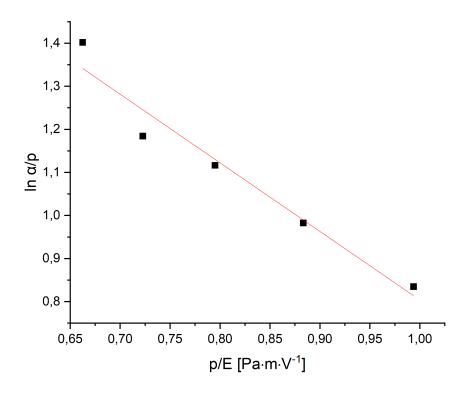
Tabulka 1: Hodnoty proudů i_0 a ionizačních koeficientů α pro různé hodnoty E.

	i = i	$_0\mathrm{e}^{\alpha x}$	$i = i_0 + \alpha x$		
$E \left[V \text{cm}^{-1} \right]$	i_0 [pA]	$\alpha [\mathrm{cm}^{-1}]$	i_0 [pA]	$\alpha \ [\mathrm{cm}^{-1}]$	
80	$63,65 \pm 6,62$	$1,60 \pm 0,06$	$44,65 \pm 1,06$	$1,83 \pm 0,04$	
90	$45,30 \pm 2,79$	$1,85 \pm 0,03$	$30,15 \pm 1,11$	$2,12 \pm 0,08$	
100	$26,65 \pm 1,70$	$2,07 \pm 0,03$	$15,32 \pm 1,12$	$2,43 \pm 0,09$	
110	$19,92 \pm 1,23$	$2,23 \pm 0,03$	$12,25 \pm 1,12$	$2,60 \pm 0,09$	
120	$7,09 \pm 0,48$	$2,80 \pm 0,03$	$3,73 \pm 1,28$	$3,23 \pm 0,20$	

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 α získané z exponenciálního fitu v grafu 2, viz obr. 4, tak i pro α 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 $U_i = (14,50 \pm 2,38)\,\mathrm{eV}$ získaný po dosazení α z lineárního fitu.



Obrázek 4: Graf závislosti l
n α/p na p/E pro α z exponenciálního fitu.



Obrázek 5: Graf závislosti l
n α/p na p/E pro α 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 α z exponenciálního fitu			Dosazení α z lineárního fitu			
	A	B	U_i [eV]	A	B	U_i [eV]
	$9,31 \pm 1,16$	$156,40 \pm 18,48$	$16,80 \pm 2,89$	$10,99 \pm 1,18$	$159,31 \pm 19,80$	$14,50 \pm 2,38$

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 $U_i=(14,50\pm2,38)\,\mathrm{eV}$, tabulková hodnota je $U_i=15,76\,\mathrm{eV}$.