

Gas	$\mu_e$ [m <sup>2</sup> /Vs]	$\mu_i$ [m <sup>2</sup> /Vs]	$\lambda_{\text{MFP}}$ [m]
He	0.114	$1.05 \times 10^{-3}$	$0.6 \times 10^{-3}$
Ne	0.198	$0.41 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-3}$

**Tabella 1:** Parametri tipici di un plasma composto da elio o neon.

## 1 Comprensione bullet e variazione velocità diversi gas

L'obiettivo di questa analisi è spiegare la variazione di velocità variando la tensione di picco e il gas. Considero solo la velocità all'interno dell'ugello, dove il gas può essere considerato un gas ideale di elio o neon e stimo alcuni parametri del plasma, sotto diverse approssimazioni.

Il campo elettrico  $E$  è stimato come differenza di potenziale su una lunghezza tipica, 30 mm, per avere un ordine di grandezza. La densità di corrente  $j$  viene calcolata dalle intensità di corrente misurate quando il target è posto a 30 mm dall'elettrodo (dove possibile), su una superficie circolare delle dimensioni misurate. La densità elettronica è  $n_e = \frac{j}{e\mu E}$  con  $e$  carica dell'elettrone e  $\mu$  mobilità elettronica.

La temperatura elettronica viene calcolata utilizzando *BOLSIG+*, software risolutore dell'equazione di Boltzmann che considera le reazioni specifiche in un gas di elio o neon. Il software restituisce energia media e parametri di trasporto (mobilità, diffusione) al variare del campo elettrico ridotto  $E/N$ , dove  $N$  è la densità dei neutri, pari a  $2.69 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$  per un gas ideale a pressione atmosferica. I parametri di mobilità elettronica restituiti da questo calcolo sono confrontabili con quelli trovabili in letteratura (Gas discharge physics, Raizer et al. ; The mobility of He+ ions in helium gas, Dickinson et al. ; Mobility and diffusion of atomic helium and neon ions in their parent gases, Skullerud et al.), dove si trovano anche cammino libero medio e mobilità per gli ioni, in tabella 1.

Ho provato ad indagare principalmente due ipotesi:

- se il bullet visto fosse dovuto alla propagazione di onde di ionizzazione dentro il plasma, quindi se le velocità fossero compatibili con  $c_{s,i} = \sqrt{\frac{\gamma Z k_B T_e}{m_i}}$
- se il bullet fosse il moto effettivo di ioni o elettroni, con velocità termiche  $v_{th} = \sqrt{\frac{2k_B T_e}{m}}$  o dovute al campo elettrico  $v_d = \mu E$

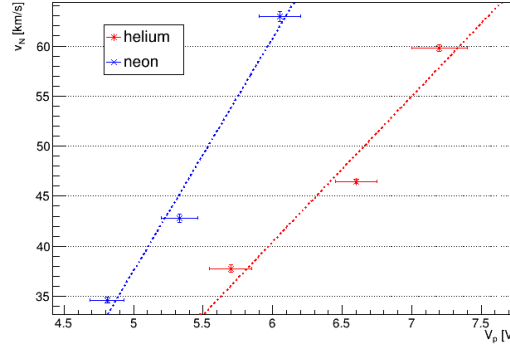
è importante notare che in realtà il plasma non credo soddisfi le condizioni di equilibrio necessarie alla definizione di temperatura elettronica, velocità termica e velocità delle onde, facendo questi calcoli sto ipotizzando che localmente sia tutto all'equilibrio. In tabella 2 tutti i parametri stimati.

Qualsiasi fenomeno di spostamento degli ioni può essere scartato, considerando i valori di mobilità ionica e la temperatura del gas, le velocità di deriva e termiche per gli ioni sono al di sotto dei km/s.

Le velocità delle onde sono dello stesso ordine di grandezza di quelle viste per l'elio, ma troppo basse per il neon, e si ha un incongruenza con l'esperimento: dalle misure

	$V_p$ [kV]	$E$ [kV/m]	$T_e$ [eV]	$c_s$ [km/s]	$v_{th,e}$ [km/s]	$v_{d,e}$ [km/s]	$v_{d,i}$ [km/s]
He	5.7	190	4.5	13.42	14.73	21.66	0.20
	6.6	220	5.0	14.15	15.53	25.08	0.23
	7.3	243	5.5	14.84	16.29	27.74	0.26
Ne	4.8	160	6.8	7.30	8.06	31.68	0.066
	5.3	177	7.0	7.41	8.18	34.99	0.072
	6.1	203	7.2	7.51	8.30	40.65	0.083

**Tabella 2:** Parametri stimati nei diversi setup.



**Figura 1:** Plot of bullet's velocity inside the nozzle increasing voltage, for helium and neon.

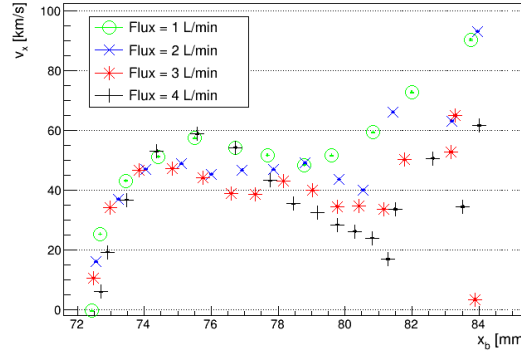
osserviamo velocità maggiori per il neon rispetto l'elio, mentre la velocità delle onde, essendo inversamente proporzionale alle masse, è minore per il neon.

Le velocità di deriva elettroniche sono dell'ordine di grandezza cercato e rispecchiano l'andamento dei dati: aumentando il campo elettrico crescono più velocemente per il neon rispetto l'elio. La costante di proporzionalità tra campo elettrico e velocità è proprio la mobilità elettronica, ma non avendo una misura diretta del campo elettrico non si può stimare direttamente questo parametro dalle misure. Andando a paragonare gli andamenti per elio e neon, come in figura 1, troviamo che il rapporto tra le pendenze delle rette è  $p_{Ne}/p_{He} = 1.60$ , mentre il rapporto tra le mobilità  $\mu_{Ne}/\mu_{He} = 1.74$ , valori paragonabili. Interessante notare che se effettivamente la velocità è associabile ad un drift elettronico, vuol dire che il campo elettrico visto è dell'ordine di 450 V/m, valore plausibile.

Se possiamo associare il moto del bullet al moto degli elettroni dentro il plasma, anche il cammino libero medio presentato in tabella 1 può essere associato alla dimensione del bullet ed il valore maggiore per il neon rispetto l'elio corrisponde all'effettiva misura di bullet più spessi per il plasma di neon.

Q [L/min]	$v_N$ [km/s]	Re	$x_{\text{air}}$ [mm]
1	48.46	36.88	78.78
2	40.09	73.77	80.55
3	33.74	110.65	81.75
4	17.01	147.54	81.28

**Tabella 3:** Numeri di reynolds per diversi flussi di elio.



**Figura 2:** Zoom sulle velocità dei bullet in uscita dall’ugello per i vari flussi.

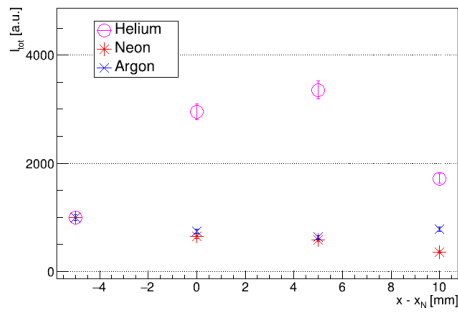
## 2 Diversi flussi numeri di Reynolds

Ho calcolato il numero di Reynolds per i diversi flussi provati (formule e valori tipici in “Influence of the gas-flow Reynoldson a plasma column in a glass tube”, Jin et al.), in tabella 3 i risultati, trovando sempre valori inferiori ai valori di transizione da flusso laminare a turbolento ( $\sim 2000$ ).

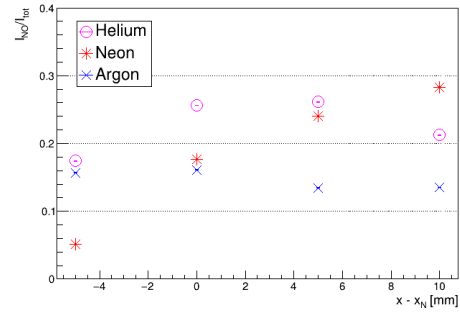
Osservando uno zoom sulle velocità dei bullet mentre escono dall’ugello, figura 2, ipotizzerei che la velocità inferiore in uscita è data dal diverso punto di contatto tra aria e flusso di elio. Durante il moto dentro l’ugello il bullet e acquista velocità quando incontra l’aria esterna. Per flussi maggiori si ha il contatto tra elio e aria più tardi, in posizione più esterna, permettendo al bullet di rallentare prima notevolmente prima di venire espulso dall’ugello.

## 3 Intensità righe spettro

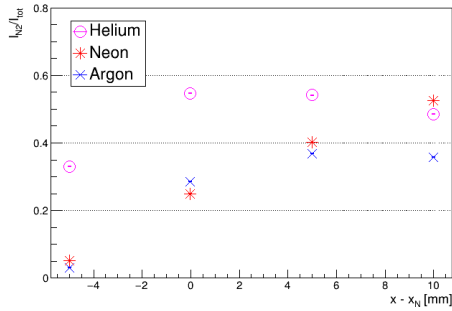
Intensità totali e delle varie righe al variare della posizione 4 e del flusso di gas (azoto o argon) ??.



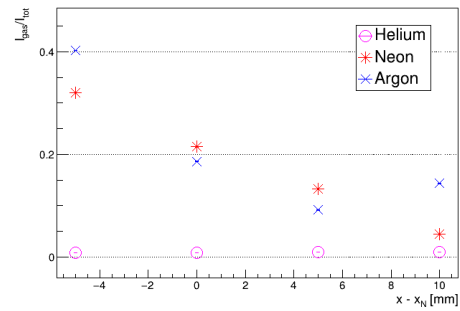
(a) Luminosità totale.



(b) Intensità delle righe NO.

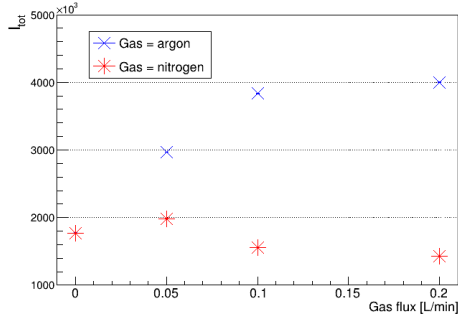


(c) Intensità delle righe N2.

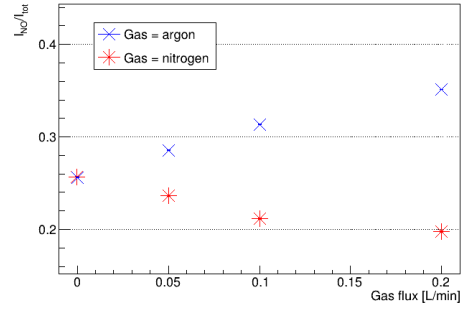


(d) Intensità delle righe del gas utilizzato.

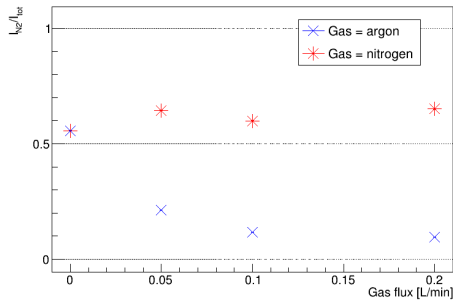
**Figura 3:** Intensità delle righe nello spettro al variare della posizione, 0 della posizione sulla fine dell'ugello, target metallico in posizione 10 mm. La luminosità totale è normalizzata arbitrariamente per i diversi gas, non sono paragonabili i valori per i diversi gas, se ne vuole solo indicare l'andamento.



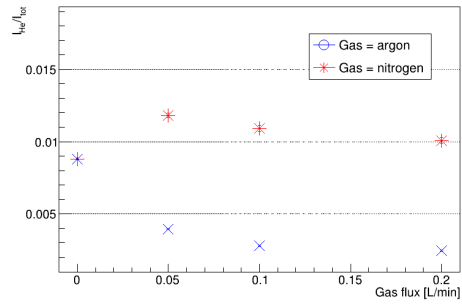
(a) Luminosità totale.



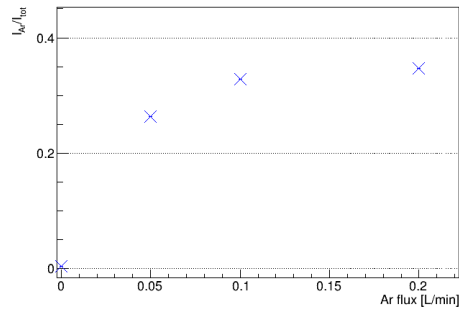
(b) Intensità delle righe NO.



(c) Intensità delle righe N2.



(d) Intensità delle righe di elio.



(e) Intensità delle righe di argon.

**Figura 4:** Intensità delle righe nello spettro al variare del flusso di azoto o argon. La luminosità totale è normalizzata arbitrariamente per i diversi gas, non sono paragonabili i valori per i diversi gas, se ne vuole solo indicare l'andamento.