

# Laboratorio A

## Esperienza di fisica del plasma

### A) Vuoto

#### In laboratorio

1. Pompate la camera da vuoto fino a raggiungere una pressione inferiore a  $6 \times 10^{-5}$  mbar.
2. Calibrare il livello di zero del baratron mediante le viti 'C' ed 'F' (sulla scala che si intende adoperare).
3. Chiudere la valvola di separazione tra pompe e camera e misurare ogni 20 secondi la pressione all'interno della camera, sia con il baratron che con la testa a ionizzazione, per un tempo totale di almeno 10 minuti.
4. Riaprire la valvola tra pompe e camera e misurare a intervalli (inizialmente di 5 secondi, poi più lunghi) la pressione all'interno della camera, sia con il baratron che con la testa a ionizzazione, per un tempo totale di almeno 5 minuti.

#### Analisi dati

1. Realizzare un grafico della ricrescita della pressione, misurata dai due strumenti, in funzione del tempo. Questa ricrescita è dovuta al "degasamento" delle superfici all'interno della camera. Discutere le eventuali differenze tra le due curve.
2. Effettuare un fit lineare dei dati ottenuti con la testa a ionizzazione.
3. Realizzare lo stesso grafico del punto 1 per la fase di discesa della pressione, usando una scala logaritmica per l'asse delle ordinate.
4. Effettuare un fit dei dati ottenuti con la testa a ionizzazione con una curva del tipo  $p = (p_i - p_0) e^{-t/\tau} + p_0$ .
5. Dalla costante  $\tau$  ricavata dal fit calcolare la velocità di pompaggio  $S$  della pompa turbomolecolare, mediante l'espressione  $S = V/\tau$  dove  $V$  è il volume della camera da vuoto (espresso convenzionalmente in litri). Si confronti il risultato con il valore nominale di 50 l/s, e si discutano le possibili ragioni dell'eventuale discrepanza.

### B) Caratteristica tensione-corrente del filamento

#### In laboratorio

1. Pompate la camera fino ad ottenere una pressione inferiore a  $8 \times 10^{-5}$  mbar.
2. Montare il circuito costituito dall'alimentatore del filamento e da quello di polarizzazione, come illustrato nelle dispense.
3. Accendere l'alimentatore per il riscaldamento del filamento, e aumentare progressivamente la tensione applicata, registrando i valori di tensione e corrente. Si ricordi di non eccedere mai la corrente di 7 A.

#### Analisi dati

1. Rappresentare su un grafico la corrente del filamento in funzione della tensione.
2. Verificare se i dati ottenuti seguono il semplice modello descritto nella sezione 1.3 delle dispense (il diametro del filamento è pari a 0.25 mm, mentre la sua lunghezza è di 10 cm). Si noti che per realizzare questa analisi è necessario combinare le due equazioni, eliminando la temperatura. Nel caso si riscontrassero delle discrepanze, provare a variare il valore assunto per l'emissività efficace del tungsteno  $\epsilon$ .
3. Per mezzo dell'analisi effettuata al punto precedente, realizzare un grafico della temperatura stimata del filamento in funzione della corrente.

## **C) Caratteristica tensione-corrente della scarica**

### **In laboratorio**

1. Dopo aver portato la camera ad una pressione inferiore a  $8 \times 10^{-5}$  mbar, e aver effettuato la calibrazione del baratron se necessario, aprire progressivamente la valvola a spillo fino a raggiungere una pressione di argon di  $8 \times 10^{-4}$  mbar.
2. Dopo aver spento la testa a ionizzazione, aumentare lentamente la corrente del filamento fino a portarla ad un valore di 6.5 A.
3. Accendere l'alimentatore di polarizzazione della scarica, e aumentare progressivamente la tensione da 0 a 60 V, registrando i valori di tensione e corrente. Si abbia cura di registrare un numero sufficiente di punti nella parte della caratteristica in cui si ha un aumento rapido della corrente (approssimativamente tra 8 e 20 V), poiché su questi punti verrà effettuato il *fit* durante l'analisi dei dati. Durante le misure è opportuno verificare che la pressione del gas rimanga il più possibile costante, eventualmente intervenendo sulla valvola a spillo.
4. Ripetere la procedura descritta al punto precedente per le pressioni:  $4 \times 10^{-4}$  mbar,  $7 \times 10^{-4}$  mbar,  $2 \times 10^{-3}$  mbar,  $7 \times 10^{-3}$  mbar.

### **Analisi dati**

1. Riportare su un grafico le quattro caratteristiche tensione-corrente misurate.
2. Confrontare la corrente in regime limitato dalla temperatura (saturazione della corrente) con la corrente massima che il filamento può emettere, sulla base della legge di Richardson e della temperatura stimata nella sezione precedente.
3. Sulla base del modello descritto nella sezione 1.7 delle dispense, effettuare un *fit* della prima parte delle caratteristiche (prima della saturazione), adottando come parametro libero la densità del plasma, e ipotizzando una temperatura di 1 eV. Escludere le tensioni più basse ( $\leq 10-15$  V)
4. Determinare per le quattro condizioni la frazione di particelle ionizzate, calcolata come  $f = n/(n+n_0)$  dove  $n$  è la densità del plasma e  $n_0$  indica la densità delle particelle del gas neutro, supposto a temperatura ambiente (suggerimento: per trovare  $n_0$  si usi la legge di stato dei gas perfetti). Sulla base di questi calcoli, scegliere tra le seguenti espressioni quella che meglio caratterizza il plasma oggetto di studio: “debolmente ionizzato”, “parzialmente ionizzato”, “totalmente ionizzato”.

## **D) Misura dei parametri di plasma**

### **In laboratorio**

1. Pompate la camera fino ad ottenere una pressione inferiore a  $8 \times 10^{-5}$  mbar.
2. Montare il circuito della sonda di Langmuir secondo lo schema riportato nelle dispense. Usare la sonda di Langmuir con elemento sensibile cilindrico.
3. Calibrare il baratron, se necessario, e spegnere la testa a ionizzazione.
4. Con una corrente di filamento di 6.5 A, regolare la tensione della scarica in modo da trovarsi in regime “limitato dalla temperatura” (saturazione della corrente di scarica). Misurare la caratteristica tensione-corrente della sonda di Langmuir, usando l'apposito programma in Labview (AIAO\_6040E\_langmuir.vi), per i seguenti valori di pressione del gas:  $4 \times 10^{-4}$ ,  $5 \times 10^{-4}$ ,  $7 \times 10^{-4}$ ,  $1 \times 10^{-3}$ ,  $1.5 \times 10^{-3}$ ,  $2 \times 10^{-3}$ ,  $3 \times 10^{-3}$ ,  $5 \times 10^{-3}$ ,  $7 \times 10^{-3}$ ,  $1 \times 10^{-2}$ ,  $1.5 \times 10^{-2}$ ,  $2 \times 10^{-2}$  mbar.
5. Alla pressione  $2 \times 10^{-3}$  mbar misurare la caratteristica della sonda di Langmuir per una decina di valori di corrente di filamento, compresi tra 5 A e 7 A (registrare per ogni caso i valori di corrente e tensione di filamento).

### **Analisi dati**

1. Per ognuna delle caratteristiche di sonda di Langmuir ottenute al variare della pressione, ricavare i valori di densità (due stime diverse), temperatura e potenziale di plasma, secondo

quanto illustrato nella sezione 1.6 delle dispense, utilizzando l'apposito programma in IDL, e rappresentarli su grafici in funzione della pressione (riportata su un asse logaritmico).

2. Confrontare i valori di densità ottenuti alle varie pressioni con quelli ricavati nella parte precedente dalla caratteristica tensione-corrente della scarica. Discutere le eventuali discrepanze.
3. Rappresentare la densità del plasma in funzione della densità del gas neutro. Utilizzando l'espressione per la densità ricavata nella sezione 1.7 delle dispense, stimare per mezzo di un *fit* lineare il parametro  $L_{\text{eff}}/A_i$  (escludendo se necessario i punti a pressione più alta), e confrontarlo con il valore nominale in assenza di magneti permanenti. Supponendo in prima approssimazione che i magneti permanenti non modifichino  $A_i$ , e quindi sia solo  $L_{\text{eff}}$  a variare, discutere il loro effetto sulla traiettoria degli elettroni primari emessi dal filamento.
4. Confrontare la densità misurata con quella che si avrebbe in assenza di magneti secondo il modello, e discutere l'importanza di tali magneti per il confinamento del plasma.
5. Rappresentare la densità in funzione del libero cammino medio degli elettroni primari, e discutere la ragione per cui il grafico presenta un massimo.
6. Per ognuna delle caratteristiche di sonda di Langmuir ottenute al variare della corrente di filamento, ricavare i valori di densità (due stime diverse), temperatura e potenziale di plasma, secondo quanto illustrato nella sezione 1.6 delle dispense, utilizzando l'apposito programma in IDL, e rappresentarli su grafici in funzione della corrente di filamento.
7. Dalle analisi effettuate nella parte B, o utilizzando i valori misurati di corrente e tensione di filamento, ricavare per ogni corrente di filamento la corrispondente corrente emessa. Rappresentare la densità in funzione della corrente emessa dal filamento. Mediante un *fit* lineare, utilizzando ancora una volta l'espressione per la densità ricavata nella sezione 1.7 delle dispense, stimare il valore di  $L_{\text{eff}}/A_i$ , e confrontarlo con quello ottenuto più sopra (se i punti non giacciono tutti su una retta, utilizzare quelli a corrente di filamento più elevata).

## **E) Fireball**

### **In laboratorio**

1. Collegare la sonda con elemento sensibile semisferico al circuito delle sonde di Langmuir, utilizzando però il circuito alternativo (con resistenze del partitore da 8.7 k $\Omega$  e 470 k $\Omega$ ).
2. Ridurre la corrente del filamento a 5 A (molto importante per non bruciare la sonda!) e portare la pressione del gas a  $9 \times 10^{-3}$  mbar.
3. Utilizzando l'apposito programma in Labview (AIAO\_6040E\_fireball.vi), formare una "fireball". Osservare il fenomeno attraverso la finestra di osservazione. Osservare il fenomeno di isteresi sulla caratteristica tensione-corrente