

Università degli Studi di Milano-Bicocca



FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI

Corso di Laurea Magistrale in Fisica

---

**RELAZIONI DEGLI ESPERIMENTI SVOLTI PRESSO IL CNR**

---

*Relazioni di:*

Magatti Demetrio, Muscente Paola e Rigoletti Gianluca

Anno Accademico 2016/2017



---

# Indice

---

<b>1</b>	<b>Calcolo della densità e della temperatura elettronica per un plasma di Argon attraverso due differenti tecniche: sonda di Langmuir e modello spettroscopico</b>	<b>1</b>
1.1	Strumenti utilizzati e il loro funzionamento: sonda di Langmuir e spettroscopio ottico . . . . .	2
1.1.1	Sonda di Langmuir . . . . .	2
1.1.2	Spettroscopio ottico . . . . .	2
1.2	Condizioni sperimentali e analisi dati . . . . .	2
1.2.1	Analisi dati: profilo di densità a diverse pressioni e potenze . . .	2
1.2.2	Analisi dati: profili di temperatura a diverse pressioni e potenze .	3
1.2.3	Descrizione del programma utilizzato per l'analisi dati . . . . .	3
1.3	Conclusioni finali . . . . .	3
1.4	File dati . . . . .	3
1.4.1	File utilizzati per Flusso di Argon a $0.5sccm$ . . . . .	3
1.4.2	File utilizzati per Flusso di Argon a $3.0sccm$ . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Calcolo della densità e della temperatura elettronica per un plasma di Deuterio attraverso due differenti tecniche: sonda di Langmuir e modello spettroscopico</b>	<b>7</b>
2.1	Strumenti utilizzati e il loro funzionamento: sonda di Langmuir e spettroscopio ottico . . . . .	7
2.2	Condizioni sperimentali e analisi dati . . . . .	7
2.2.1	Analisi dati: profilo di densità a diverse pressioni e potenze . . .	8
2.2.2	Analisi dati: profili di temperatura a diverse pressioni e potenze .	8
2.2.3	Descrizione del programma utilizzato per l'analisi dati . . . . .	8
2.3	Conclusioni finali . . . . .	8
2.4	File dati . . . . .	9
2.4.1	File utilizzati per pressione di Deuterio a $4.08 \cdot 10^{-4}mbar$ . . . .	9
2.4.2	File utilizzati per pressione di Deuterio a $9.31 \cdot 10^{-5}mbar$ . . . .	11



## **Calcolo della densità e della temperatura elettronica per un plasma di Argon attraverso due differenti tecniche: sonda di Langmuir e modello spettroscopico**

---

L'obiettivo di questo esperimento è quello di verificare l'effettiva validità del modello spettroscopico per calcolare la densità e la temperatura elettronica di un plasma di Argon.

È stato fatto un confronto tra i dati acquisiti tramite sonda di Langmuir e tramite spettroscopia ottica per verificarne la conformità. Si è quindi visto che l'applicazione del modello spettroscopico è un buon metodo sostitutivo di diagnostica nei casi in cui la sonda di Langmuir non è idonea: per esempio, vi sono casi in cui è necessario avere una particolare configurazione del campo magnetico che non sempre garantisce la perpendicolarità tra le linee del suddetto e l'area di acquisizione della sonda. In quest'ultimo caso gli errori sui dati acquisiti sarebbero grandi e risulta quindi necessario avere un sistema di diagnostica differente quale è la spettroscopia ottica.

## 1.1 Strumenti utilizzati e il loro funzionamento: sonda di Langmuir e spettroscopio ottico

### 1.1.1 Sonda di Langmuir

### 1.1.2 Spettroscopio ottico

## 1.2 Condizioni sperimentali e analisi dati

Le condizioni sperimentali utilizzate sono le seguenti:

- corrente delle bobine di GyM fissa a 600A;
- due differenti flussi di Argon, 0.5sccm, con pressione dei neutri a plasma spento di  $P_n = 2.40 \cdot 10^{-5}$ mbar, e 3.0sccm, con pressione dei neutri a plasma spento di  $P_n = 1.34 \cdot 10^{-4}$ mbar;
- tre diverse potenze per le microonde, 20%, 40%, 60%.

### Osservazioni

I primi dati raccolti in laboratorio sono stati quelli a  $\text{Flusso}_{\text{Ar}} = 0.5\text{sccm}$  e con potenza delle microonde al 40%. In questi dati si può notare la mancanza della pressione dei neutri durante l'acquisizione degli spettri. Successivamente si è deciso di registrare anche  $P_{\text{neutri}}$  per tenere monitorata l'intera condione di acquisizione dati.

Le variazioni di potenza delle microonde sono state effettuate riportando di volta in volta il gas alla condizione di "non-plasma" e aspettando lo stabilizzarsi della pressione in camera al valore registrato precedente alla prima accensione del plasma.

Gli accorgimenti di qui sopra sono stati fatti per mantenere le condizioni del sistema il più possibile invariate, così da poter confrontare i dati raccolti a diversi flussi e potenze in modo consistente.

L'accensione del plasma, nel caso di plasma di Argon, è visibile anche attraverso una salita della pressione in camera che raggiunge un *plateau* dopo qualche secondo dall'accensione delle microonde.

### 1.2.1 Analisi dati: profilo di densità a diverse pressioni e potenze

GRAFICI E COMMENTI

### 1.2.2 Analisi dati: profili di temperatura a diverse pressioni e potenze

GRAFICI E COMMENTI

### 1.2.3 Descrizione del programma utilizzato per l'analisi dati

In Allegato(VA FATTO RIFERIMENTO) viene riportato il programma scritto per l'analisi dei dati.

DESCRIVIAMO A GRANDI LINEE COSA FA

## 1.3 Conclusioni finali

BLA BLA

## 1.4 File dati

### 1.4.1 File utilizzati per Flusso di Argon a 0.5sccm

#### Potenza microonde 20%

Caratteristiche tensione-corrente della sonda di Langmuir:

File name	$P_n$ [mbar]
2302lang04	$4.16 \cdot 10^{-5}$
2302lang05	$3.84 \cdot 10^{-5}$

Spettri raccolti:

File name	$\lambda_{\text{range}}/\lambda_{\text{centre}}$ [nm]	AT [s] <sup>(1)</sup>	$P_n$ [mbar]
2302spec10	300 – 600	0.5	$3.91 \cdot 10^{-5}$
2302spec11	600 – 800	0.01	$3.88 \cdot 10^{-5}$
2302spec12	480	0.5	$3.88 \cdot 10^{-5}$
2302spec13	480	0.5	$3.88 \cdot 10^{-5}$
2302spec14	480	0.5	$3.84 \cdot 10^{-5}$
2302spec15	750	0.01	$3.84 \cdot 10^{-5}$
2302spec16	750	0.01	$3.84 \cdot 10^{-5}$
2302spec17	750	0.01	$3.84 \cdot 10^{-5}$

**Potenza microonde 40%**

Caratteristiche tensione-corrente della sonda di Langmuir:

File name	$P_n$ [mbar]
2302lang01	$6.59 \cdot 10^{-5}$
2302lang02	$5.81 \cdot 10^{-5}$
2302lang03	$5.66 \cdot 10^{-5}$

Spettri raccolti:

File name	$\lambda_{\text{range}}/\lambda_{\text{centre}}$ [nm]	AT [s] <sup>(2)</sup>
2302spec1	300 – 600	0.5
2302spec2	600 – 800	0.01
2302spec3	480	0.5
2302spec4	750	0.01
2302spec5	750	0.01
2302spec6	750	0.01
2302spec7	480	0.5
2302spec8	480	0.5

**Potenza microonde 60%**

Caratteristiche tensione-corrente della sonda di Langmuir:

File name	$P_n$ [mbar]
2302lang06	$3.15 \cdot 10^{-5}$
2302lang07	$3.13 \cdot 10^{-5}$

Spettri raccolti:

File name	$\lambda_{\text{range}}/\lambda_{\text{centre}}$ [nm]	AT [s] <sup>(3)</sup>	$P_n$ [mbar]
2302spec18	300 – 600	0.5	$3.09 \cdot 10^{-5}$
2302spec19	600 – 800	0.01	$3.09 \cdot 10^{-5}$
2302spec20	480	0.5	$3.09 \cdot 10^{-5}$
2302spec21	480	0.5	$3.09 \cdot 10^{-5}$
2302spec22	480	0.5	$3.09 \cdot 10^{-5}$
2302spec23	750	0.01	$3.12 \cdot 10^{-5}$
2302spec24	750	0.01	$3.12 \cdot 10^{-5}$
2302spec25	750	0.01	$3.12 \cdot 10^{-5}$



### 1.4.2 File utilizzati per Flusso di Argon a 3.0sccm

#### Potenza microonde 20%

Caratteristiche tensione-corrente della sonda di Langmuir:

File name	$P_n$ [mbar]
2302lang08	$1.46 \cdot 10^{-4}$
2302lang09	$1.47 \cdot 10^{-4}$

Spettri raccolti:

File name	$\lambda_{\text{range}}/\lambda_{\text{centre}}$ [nm]	AT [s] <sup>(4)</sup>	$P_n$ [mbar]
2302spec26	300 – 600	1.0	$1.47 \cdot 10^{-4}$
2302spec27	600 – 800	0.01	$1.42 \cdot 10^{-4}$
2302spec28	480	1.0	$1.47 \cdot 10^{-4}$
2302spec29	480	1.0	$1.47 \cdot 10^{-4}$
2302spec30	480	1.0	$1.47 \cdot 10^{-4}$
2302spec31	750	0.01	$1.47 \cdot 10^{-4}$
2302spec32	750	0.01	$1.47 \cdot 10^{-4}$
2302spec33	750	0.01	$1.47 \cdot 10^{-4}$

#### Potenza microonde 40%

Caratteristiche tensione-corrente della sonda di Langmuir:

File name	$P_n$ [mbar]
2302lang10	$1.54 \cdot 10^{-4}$
2302lang11	$1.55 \cdot 10^{-4}$

Spettri raccolti:

File name	$\lambda_{\text{range}}/\lambda_{\text{centre}}$ [nm]	AT [s] <sup>(5)</sup>	$P_n$ [mbar]
2302speca34	300 – 600	0.5	$1.55 \cdot 10^{-4}$
2302speca35	600 – 800	0.01	$1.55 \cdot 10^{-4}$
2302speca36	480	0.5	$1.55 \cdot 10^{-4}$
2302speca37	480	0.5	$1.55 \cdot 10^{-4}$
2302speca38	480	0.5	$1.55 \cdot 10^{-4}$
2302speca39	750	0.01	$1.55 \cdot 10^{-4}$
2302speca40	750	0.01	$1.55 \cdot 10^{-4}$
2302speca41	750	0.01	$1.55 \cdot 10^{-4}$

### Potenza microonde 60%

Caratteristiche tensione-corrente della sonda di Langmuir:

File name	$P_n$ [mbar]
2302lang12	$1.56 \cdot 10^{-4}$
2302lang13	$1.56 \cdot 10^{-4}$

Spettri raccolti:

File name	$\lambda_{\text{range}}/\lambda_{\text{centre}}$ [nm]	AT [s] <sup>(6)</sup>	$P_n$ [mbar]
2302speca42	300 – 600	0.5	$1.56 \cdot 10^{-5}$
2302speca43	600 – 800	0.01	$1.56 \cdot 10^{-5}$
2302speca44	480	0.5	$1.56 \cdot 10^{-5}$
2302speca45	480	0.5	$1.56 \cdot 10^{-5}$
2302speca46	480	0.5	$1.56 \cdot 10^{-5}$
2302speca47	750	0.01	$1.56 \cdot 10^{-5}$
2302speca48	750	0.01	$1.56 \cdot 10^{-5}$
2302speca49	750	0.01	$1.56 \cdot 10^{-5}$

## Calcolo della densità e della temperatura elettronica per un plasma di Deuterio attraverso due differenti tecniche: sonda di Langmuir e modello spettroscopico

---

L'obiettivo di questo esperimento è il medesimo dell'esperimento precedente ma questa volta lo studio viene effettuato su un plasma di Deuterio.

### 2.1 Strumenti utilizzati e il loro funzionamento: sonda di Langmuir e spettroscopia ottica

Per descrizione dettagliata degli strumenti vedi capitolo precedente, *Sezione 1.1*.

### 2.2 Condizioni sperimentali e analisi dati

Le condizioni sperimentali utilizzate sono le seguenti:

- corrente delle bobine di GyM fissa a 600A;
- due differenti pressioni di Deuterio,  $4.08 \cdot 10^{-4} mbar$  (circa 45sccm di flusso) e  $9.31 \cdot 10^{-5} mbar$  (circa 10sccm di flusso);
- diverse potenze per le microonde, 20%, 30%, 40%, 50% e 60%.

### Osservazioni

A differenza dell'esperimento precedente, si è deciso di mantenere costanti le due pressioni di gas a plasma spento, con valori scelti di  $4.08 \cdot 10^{-4} \text{ mbar}$  e  $9.31 \cdot 10^{-5} \text{ mbar}$ , piuttosto che mantenerne fisso il flusso. Per mantenere le pressioni tali si sono operate a volte delle leggere variazioni di flusso di Deuterio.

Le variazioni di potenza delle microonde sono state effettuate riportando di volta in volta il gas alla condizione di "non-plasma" e aspettando lo stabilizzarsi della pressione ai due valori indicati precedentemente per uno e l'altro caso.

Gli accorgimenti di qui sopra sono stati fatti per mantenere le condizioni del sistema il più possibile invariate, così da poter confrontare i dati raccolti a diversi flussi e potenze in modo consistente.

L'accensione del plasma, nel caso di plasma di Deuterio, è visibile anche attraverso una discesa seguita da una salita della pressione in camera che raggiunge un *plateau* dopo qualche secondo dall'accensione delle microonde. A bassa pressione e bassa potenza delle microonde,  $9.31 \cdot 10^{-5}$  con 20% di potenza, si è visto che l'accensione del plasma avviene senza un abbassamento precedente alla salita della pressione.

#### 2.2.1 Analisi dati: profilo di densità a diverse pressioni e potenze

GRAFICI E COMMENTI

#### 2.2.2 Analisi dati: profili di temperatura a diverse pressioni e potenze

GRAFICI E COMMENTI

#### 2.2.3 Descrizione del programma utilizzato per l'analisi dati

In Allegato(VA FATTO RIFERIMENTO) viene riportato il programma scritto per l'analisi dei dati.

DESCRIVIAMO A GRANDI LINEE COSA FA

### 2.3 Conclusioni finali

BLA BLA

## 2.4 File dati

### 2.4.1 File utilizzati per pressione di Deuterio a $4.08 \cdot 10^{-4} \text{mbar}$

#### Potenza microonde 20%

Caratteristiche tensione-corrente della sonda di Langmuir:

File name	$P_n$ [mbar]
2702lang01	$4.15 \cdot 10^{-4}$

Spettri raccolti:

File name	$\lambda_{\text{range}}/\lambda_{\text{centre}}$ [nm]	AT [s] <sup>(1)</sup>	$P_n$ [mbar]
2702specde1	400 – 500	0.2	$4.20 \cdot 10^{-4}$
2702specde2	400 – 500	0.2	$4.20 \cdot 10^{-4}$
2702specde3	400 – 500	0.2	$4.20 \cdot 10^{-4}$
2702specde4	656	0.05	$4.20 \cdot 10^{-4}$
2702specde5	656	0.05	$4.20 \cdot 10^{-4}$
2702specde6	656	0.05	$4.20 \cdot 10^{-4}$

#### Potenza microonde 30%

Caratteristiche tensione-corrente della sonda di Langmuir:

File name	$P_n$ [mbar]
2702lang16	$4.51 \cdot 10^{-4}$
2702lang17	$4.51 \cdot 10^{-4}$

Spettri raccolti:

File name	$\lambda_{\text{range}}/\lambda_{\text{centre}}$ [nm]	AT [s] <sup>(2)</sup>	$P_n$ [mbar]
2702specde49	400 – 500	0.2	$4.49 \cdot 10^{-4}$
2702specde50	400 – 500	0.2	$4.51 \cdot 10^{-4}$
2702specde51	400 – 500	0.2	$4.51 \cdot 10^{-4}$
2702specde52	656	0.05	$4.51 \cdot 10^{-4}$
2702specde53	656	0.05	$4.51 \cdot 10^{-4}$
2702specde54	656	0.05	$4.51 \cdot 10^{-4}$

**Potenza microonde 40%**

Caratteristiche tensione-corrente della sonda di Langmuir:

File name	$P_n$ [mbar]
<i>2702lang02</i>	$4.27 \cdot 10^{-4}$
<i>2702lang03</i>	$4.32 \cdot 10^{-4}$

Spettri raccolti:

File name	$\lambda_{\text{range}}/\lambda_{\text{centre}}$ [nm]	AT [s] <sup>(3)</sup>	$P_n$ [mbar]
<i>2702specde7</i>	400 – 500	0.2	$4.32 \cdot 10^{-4}$
<i>2702specde8</i>	400 – 500	0.2	$4.32 \cdot 10^{-4}$
<i>2702specde9</i>	400 – 500	0.2	$4.32 \cdot 10^{-4}$
<i>2702specde10</i>	656	0.05	$4.32 \cdot 10^{-4}$
<i>2702specde11</i>	656	0.05	$4.32 \cdot 10^{-4}$
<i>2702specde12</i>	656	0.05	$4.32 \cdot 10^{-4}$

**Potenza microonde 50%**

Caratteristiche tensione-corrente della sonda di Langmuir:

File name	$P_n$ [mbar]
<i>2702lang18</i>	$4.42 \cdot 10^{-4}$
<i>2702lang19</i>	$4.46 \cdot 10^{-4}$

Spettri raccolti:

File name	$\lambda_{\text{range}}/\lambda_{\text{centre}}$ [nm]	AT [s] <sup>(4)</sup>	$P_n$ [mbar]
<i>2702specde55</i>	400 – 500	0.2	$4.46 \cdot 10^{-4}$
<i>2702specde56</i>	400 – 500	0.2	$4.46 \cdot 10^{-4}$
<i>2702specde57</i>	400 – 500	0.2	$4.46 \cdot 10^{-4}$
<i>2702specde58</i>	656	0.05	$4.46 \cdot 10^{-4}$
<i>2702specde59</i>	656	0.05	$4.46 \cdot 10^{-4}$
<i>2702specde60</i>	656	0.05	$4.46 \cdot 10^{-4}$

**Potenza microonde 60%**

Caratteristiche tensione-corrente della sonda di Langmuir:

File name	$P_n$ [mbar]
2702lang04	$4.32 \cdot 10^{-4}$
2702lang05	$4.34 \cdot 10^{-4}$

Spettri raccolti:

File name	$\lambda_{\text{range}}/\lambda_{\text{centre}}$ [nm]	AT [s] <sup>(5)</sup>	$P_n$ [mbar]
2702specde13	400 – 500	0.2	$4.32 \cdot 10^{-4}$
2702specde14	400 – 500	0.2	$4.32 \cdot 10^{-4}$
2702specde15	400 – 500	0.2	$4.32 \cdot 10^{-4}$
2702specde16	656	0.05	$4.32 \cdot 10^{-4}$
2702specde17	656	0.05	$4.32 \cdot 10^{-4}$
2702specde18	656	0.05	$4.32 \cdot 10^{-4}$

#### 2.4.2 File utilizzati per pressione di Deuterio a $9.31 \cdot 10^{-5} \text{ mbar}$

##### Potenza microonde 20% (Flusso 9.5sccm)

Caratteristiche tensione-corrente della sonda di Langmuir:

File name	$P_n$ [mbar]
2702lang12	$1.20 \cdot 10^{-4}$
2702lang113	$1.18 \cdot 10^{-4}$

Spettri raccolti:

File name	$\lambda_{\text{range}}/\lambda_{\text{centre}}$ [nm]	AT [s] <sup>(6)</sup>	$P_n$ [mbar]
2702specde37	400 – 500	0.2	$1.19 \cdot 10^{-4}$
2702specde38	400 – 500	0.2	$1.19 \cdot 10^{-4}$
2702specde39	400 – 500	0.2	$1.19 \cdot 10^{-4}$
2702specde40	656	0.05	$1.18 \cdot 10^{-4}$
2702specde41	656	0.05	$1.18 \cdot 10^{-4}$
2702specde42	656	0.05	$1.18 \cdot 10^{-4}$

##### Potenza microonde 30%

Caratteristiche tensione-corrente della sonda di Langmuir:

File name	$P_n$ [mbar]
2702lang14	$1.16 \cdot 10^{-4}$
2702lang15	$1.18 \cdot 10^{-4}$

Spettri raccolti:

File name	$\lambda_{\text{range}}/\lambda_{\text{centre}}$ [nm]	AT [s] <sup>(7)</sup>	$P_n$ [mbar]
2702specde43	400 – 400	0.2	$1.17 \cdot 10^{-4}$
2702specde44	400 – 400	0.2	$1.18 \cdot 10^{-4}$
2702specde45	400 – 400	0.2	$1.18 \cdot 10^{-4}$
2702specde46	656	0.05	$1.18 \cdot 10^{-4}$
2702specde47	656	0.05	$1.18 \cdot 10^{-4}$
2702specde48	656	0.05	$1.18 \cdot 10^{-4}$

### Potenza microonde 40%

Caratteristiche tensione-corrente della sonda di Langmuir:

File name	$P_n$ [mbar]
2702lang06	$1.04 \cdot 10^{-4}$
2702lang07	$1.08 \cdot 10^{-4}$

Spettri raccolti:

File name	$\lambda_{\text{range}}/\lambda_{\text{centre}}$ [nm]	AT [s] <sup>(8)</sup>	$P_n$ [mbar]
2702specde19	400 – 400	0.2	$1.07 \cdot 10^{-4}$
2702specde20	400 – 400	0.2	$1.07 \cdot 10^{-4}$
2702specde21	400 – 400	0.2	$1.08 \cdot 10^{-4}$
2702specde22	656	0.05	$1.08 \cdot 10^{-4}$
2702specde23	656	0.05	$1.08 \cdot 10^{-4}$
2702specde24	656	0.05	$1.08 \cdot 10^{-4}$

### Potenza microonde 50%

Caratteristiche tensione-corrente della sonda di Langmuir:

File name	$P_n$ [mbar]
2702lang08	$1.15 \cdot 10^{-4}$
2702lang09	$1.19 \cdot 10^{-4}$



Spettri raccolti:

File name	$\lambda_{\text{range}}/\lambda_{\text{centre}}$ [nm]	AT [s] <sup>(9)</sup>	$P_n$ [mbar]
2702specde25	400 – 400	0.2	$1.16 \cdot 10^{-4}$
2702specde26	400 – 400	0.2	$1.16 \cdot 10^{-4}$
2702specde27	400 – 400	0.2	$1.16 \cdot 10^{-4}$
2702specde28	656	0.05	$1.16 \cdot 10^{-4}$
2702specde29	656	0.05	$1.18 \cdot 10^{-4}$
2702specde30	656	0.05	$1.18 \cdot 10^{-4}$

### Potenza microonde 60%

Caratteristiche tensione-corrente della sonda di Langmuir:

File name	$P_n$ [mbar]
2702lang10	$1.15 \cdot 10^{-4}$
2702lang11	$1.61 \cdot 10^{-4}$

Spettri raccolti:

File name	$\lambda_{\text{range}}/\lambda_{\text{centre}}$ [nm]	AT [s] <sup>(10)</sup>	$P_n$ [mbar]
2702specde31	400 – 400	0.2	$1.49 \cdot 10^{-4}$
2702specde32	400 – 400	0.2	$1.49 \cdot 10^{-4}$
2702specde33	400 – 400	0.2	$1.50 \cdot 10^{-4}$
2702specde34	656	0.05	$1.55 \cdot 10^{-4}$
2702specde35	656	0.05	$1.60 \cdot 10^{-4}$
2702specde36	656	0.05	$1.61 \cdot 10^{-4}$

