

RESULTADO EXPERIMENTAL DE ALGUNS PARÂMETROS
MACROSCÓPICOS DE UM PLASMA MAGNETIZADO

V.H.B. Scheid, P.H. Sakanaka

Instituto de Física "Gleb Wataghin", UNICAMP
C.P. 6165, Campinas - SP.

Apresentamos neste trabalho os resultados de alguns parâmetros de um plasma não homogêneo e anisotrópico, tais como a densidade n e a densidade de energia do elétron ($1/2$) $nKte$.

plasma, vácuo, plasma A-RF

1. INTRODUÇÃO

O plasma foi produzido por rádio-frequência (RF), na forma de uma coluna cilíndrica, em uma máquina linear de espelho magnético.

As medidas das propriedades macroscópicas do plasma foram levantadas basicamente com o uso das sondas de Langmuir, Hall e magnética.

2. MONTAGEM DA MÁQUINA

Uma vista completa da montagem é mostrada na Fig. 1. O sistema de vácuo é formado por uma bomba mecânica de um estágio, capaz de abaixar a pressão até $1mTorr$, e de uma bomba difusora, utilizada para limpar o sistema à uma pressão de 2×10^{-6} Torr. Este sistema utiliza duas válvulas de gaveta e uma válvula solenóide. A pressão do gás é controlada por meio de uma válvula de agulha e monitorada pelos medidores do tipo penning e pirani.

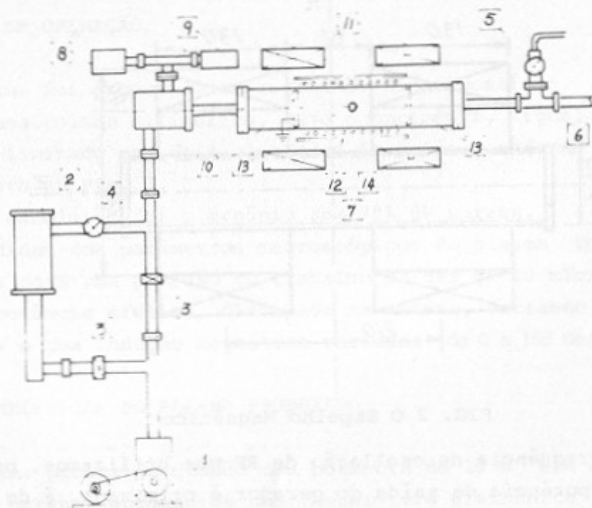


FIG.1

- | | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| 1. bomba mecânica | 8. Penning |
| 2. bomba difusora | 9. Pirani |
| 3. válvula de gaveta | 10. tubo de vidro |
| 4. válvula solenóide | 11. bobinas do espelho magnético |
| 5. válvula de agulha | 12. solenóide de uma volta |
| 6. acesso para sondas axiais | 13. eletrodos |
| 7. acesso para sondas radiais | 14. antena helicoidal |

As bobinas do espelho magnético têm 3400 voltas de fio de cobre nº 03 e uma resistência de 40. As dimensões das bobinas e do tubo de vidro podem ser vistas em detalhe na Fig. 2.

A fonte de corrente das bobinas possui um ripple de 13 em 5 A. Com esta fonte e as duas bobinas temos uma variação de 0 a 0,5 KG na indução magnética B, quando a corrente varia de 0 a 10 A. A razão de espelho, definida como $\rho = B_{\text{máx}}/B_{\text{min}}$, é de $\rho = 1,3$.

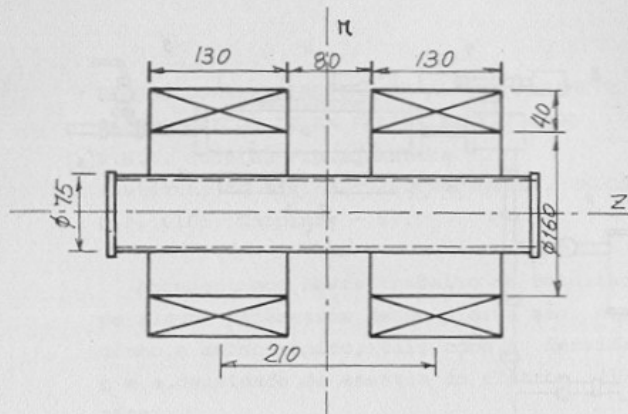


FIG. 2 O Espelho Magnético

A frequência de oscilação da RF que utilizamos, para a qual a potência de saída do gerador é otimizada, é de $f_{RF} = 20$ MHz. A RF é levada do gerador até a antena através de um cabo coaxial nº 220/V de 50a. Um multímetro de RF, conectado através da linha de transmissão à 30 cm da antena, conforme pode ser visto na Fig. 3, monitora a potência dissipada na antena.

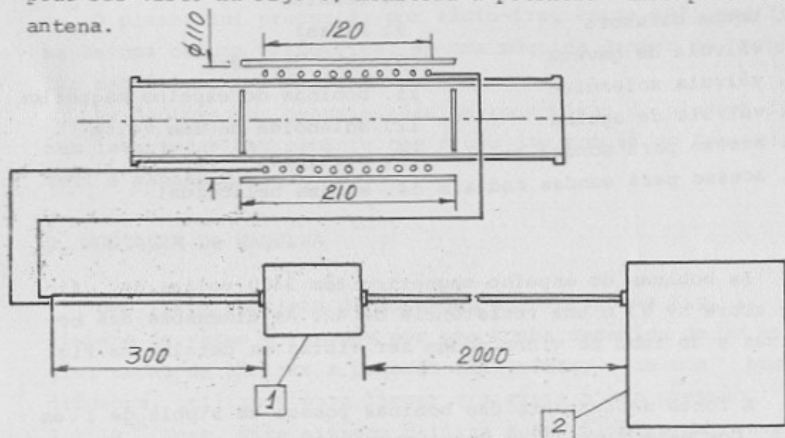


FIG. 3 - O Espelho Magnético e o Gerador de RF.

1. Wattímetro
2. Gerador de Rf

OBS.: cotas em milímetros.

3. REGIME DE OPERAÇÃO

O plasma foi produzido em regime de fluxo contínuo, na forma de uma coluna cilíndrica, cujo comprimento, igual a 210 mm, é limitado por dois eletrodos de latão, conforme pode ser visto na Fig. 3.

O gás escolhido foi o argônio com 99% de pureza.

As medidas dos parâmetros macroscópicos do plasma foram executadas para uma pressão de trabalho do gás de 10 mTorr, para uma potência efetiva, dissipada na antena, variando de 7 W a 16 W e uma indução magnética variando de 0 a 150 Gauss.

4. CARACTERÍSTICAS DO PLASMA PRODUZIDO

O plasma produzido, quando uma potência de 10 W era dissipada na antena, apresentou uma temperatura eletrônica média de 4 eV e uma densidade eletrônica de $3 \times 10^8 \text{ cm}^{-3}$, no centro da coluna de plasma. A temperatura aumentava do centro para a periferia da coluna, enquanto que a densidade diminuía; desta forma a densidade de energia eletrônica era aproximadamente constante tanto para as variações radiais quanto axiais.

5. CÁLCULO DA CONDUTIVIDADE MÉDIA DA COLUNA DE PLASMA

Para calcularmos a condutividade média ao longo da coluna de plasma, utilizamos os valores da potência dissipada na antena, medidos com o wattímetro, os valores do campo elétrico de RF, medidos com a sonda magnética e consideramos para isto a equação (Ref. 1)

$$\bar{\Gamma}_{\perp} = \frac{P}{1/2 \int_V |\mathbf{E}_{\phi}|^2 dv}$$

onde $\bar{\Gamma}_{\perp}$ = componente perpendicular do tensor da condutividade de elétrica.

$\langle P \rangle$ = média temporal da potência dissipada na antena.

$\mathbf{E}_{\phi}$ = campo elétrico da RF, $\vec{\mathbf{E}}_{\text{RF}} = E_{\phi} \hat{\mathbf{e}}_{\phi}$.

V = volume da coluna de plasma.

Para uma potência de 10 W dissipado na antena e uma pressão de 10 mTorr, os valores da condutividade média, nos regimes de campo magnético fraco, na ressonância e longe da ressonância foram os seguintes:

$\bar{\Gamma}_i$	15 ± 8 mho/m	$(\omega_{ce} \ll \omega_{RF})$
	14 ± 7 mho/m	$(\omega_{ce} = \omega_{RF})$
	23 ± 11 mho/m	$(\omega_{RF} \ll \omega_{ce})$
	25 ± 11 mho/m	

onde ω_{ce} = frequência de ciclotron dos elétrons.

ω_{RF} = frequência de RF.

Estes valores encontrados para as componentes perpendiculares da condutividade contrariam os resultados experimentais obtidos para os parâmetros T_e , n e $(1/2)nnKT_e$, que diminuem quando o campo magnético aumenta. Isto significa que fora da ressonância a potência dissipada na antena não é mais igual à potência absorvida pelo plasma e a discrepância entre elas aumenta à medida que o campo magnético cresce.

6. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Na Fig. 4, podemos ver o comportamento das grandezas T_e , n e $(1/2) nKT_e$, ao longo da posição axial z , em $n = 0$, para os três regimes de operação da máquina. Estas medidas foram feitas com uma sonda de Langmuir que tinha a liberdade para se deslocar axialmente, na posição radial $n = 0$ e cuja normal a sua superfície era paralela à direção do campo magnético. Como pode ser visto nos gráficos dessa figura, para valores de campo magnético igual ou abaixo da ressonância, não existem grandes variações entre as grandezas T_e , n e $(1/2) nKT_e$. Longe da ressonância há uma sensível diminuição nos valores de todas as grandezas, além disso, o plasma torna-se mais homogêneo.

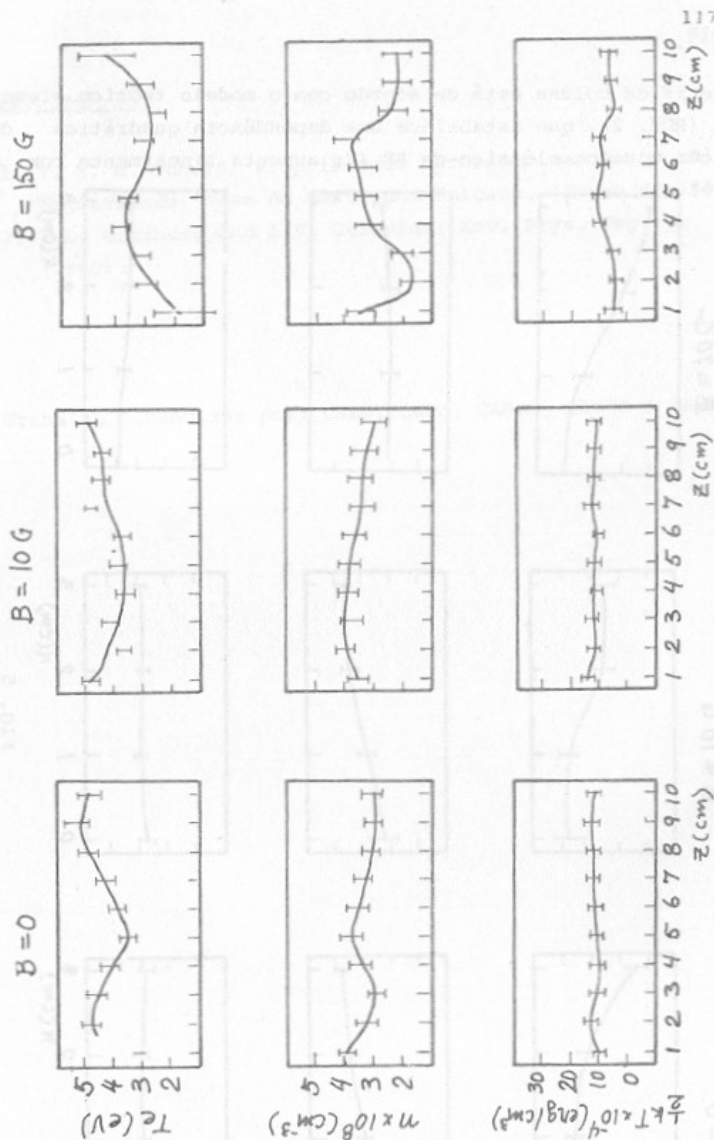


FIG. 4

Na Fig. 5, podemos ver o comportamento das grandezas T_e , n e $(1/2)nKTe$, ao longo do raio r em $z = 0$, para os três regimes de operação.

O aumento na temperatura eletrônica do centro para a pe-

riferia da coluna está de acordo com o modelo teórico elementar (Rdf. 2), que estabelece uma dependência quadrática de T_e com o campo elétrico de RF (E_0 aumenta linearmente com o raio)

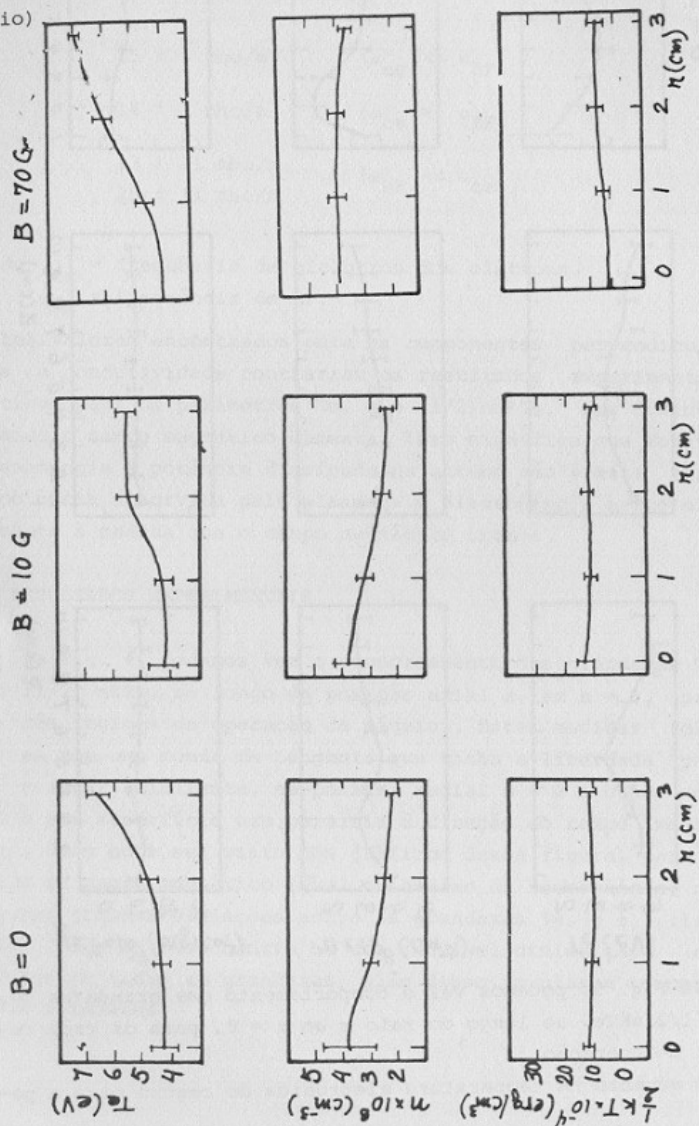


FIG. 5

REFERÊNCIAS

1. V. H. B. Scheid, Propriedades Macroscópicas de um Plasma Magnetizado, Tese de Mestrado, Unicamp, (Junho de 1986).
2. V.L. Ginzburg and A.V. Gurevieh, Sov. Phys. Usp. 3, 115 (1960).

Trabalho financiado por: CNEN, CNPq, CAPES, FINEP e FAPESP.