تردد البلازما

تردد البلازما هو المقياس الزمني اللازم لكي تستعيد البلازما توازنها الكهربائي، بحيث يصبح مجموع الشحنات مساوٍ للصفر. في الحالة الطبيعية، تتوزع جسيمات البلازما بحيث يكون المجموع الجبري للشحنات صفريًا، مما يؤدي إلى وجود مجالات كهربائية تحفظ هذا التعادل الكهربائي

، وحيث ان الالكترونات تكون لها حركية كبيرة بسبب كتلتها الصغيرة ، فأذا اقتطفنا جزء من البلازما فأنه لفترة قصيرة جداً قد تكون البلازما فقدت تعادلها بسبب هذه الحركة المسببة للمجالات الكهربائية `التي تحاول ارجاعها الى حالتها المتعادلة وهذه تستغرق فترة من الزمن تعتمد على كثافة البلازما فهي تقل عند زيادة الكثافة وبالتالي فان تردد البلازما يزداد بزيادة الكثافة . ان الفترة $n = i$ لذلك فأن تردد الزمنية التي تحتاجها البلازما لأعادة التوازن الكهربائي تعتمد على كثافتها حيث ان البلازما يعتمد على كثافتها. $n = ne$

$$F_p = \frac{W_p}{2\pi} =$$

ملاحظات

1 ان تردد البلازما يعتمد على كتلة الالكترون

2 تردد البلازما يعتمد على كثافتها , يزداد التردد بازدياد الكثافة .

تردد البلازما يقع ضمن الموجات المايكروية اي ان ترددتها عالية

تشخيص البلازما:Diagnostics Plasma

تشخيص البلازما يعد من المواضيع الأساسية في مجال فيزياء البلازما، إذ يتيح فهم خصائص وسلوكيات البلازما وقياس معاملات أساسية مثل درجة حرارة الإلكترونات وكثافتها. يهدف التشخيص إلى إجراء قياسات دقيقة لا تؤثر على حالة البلازما أو المعاملات المراد قياسها، ومن ثم تقديم هذه القياسات في صورة أرقام مفيدة. يمكن تقسيم طرق تشخيص البلازما إلى نوعين رئيسيين.

أوال:ـ طرق التشخيص الداخلي وتشمل:

1 : ـ المجسات الكهربائية

2 .ـ المجسات المغناطيسية

.ثانيا :ـ طرق التشخيص الخارجي وتشمل

1 : ـ التشخيص البصري

2 . ـ التشخيص الطيفي

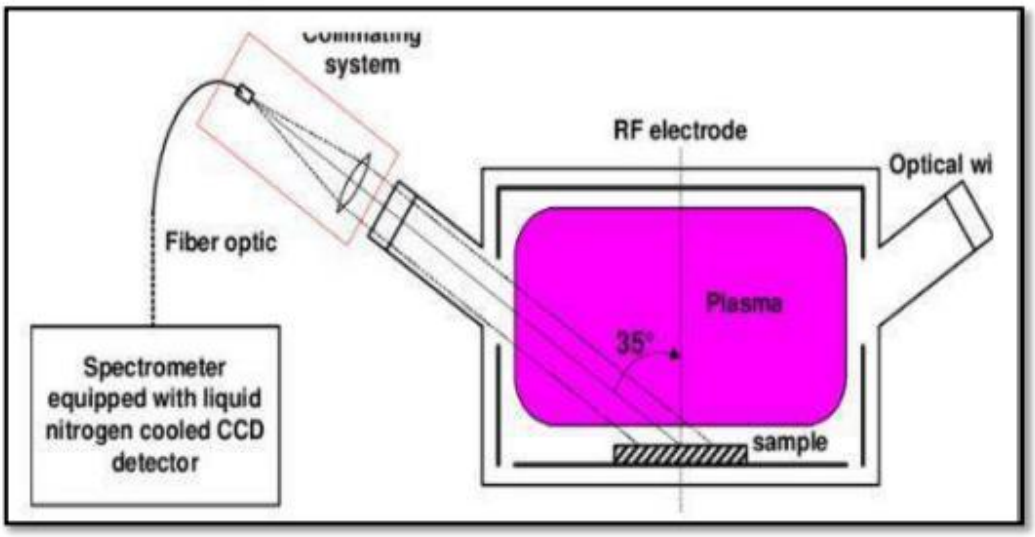
3 .ـ التشخيص بالموجات المايكروية

.التي تتطلب الطرق التشخيص الخارجي إدخال شيء في البلازما ، ولكنها تتطلب نافذة)نافذة موجودة في حجرة البلازما يمكننا من خلالها رؤية البلازما (واحدة على الأقل. يقيس التشخيص الداخلي (المحلي ام الموضعي(خصائص البلازما عند نقطة واحدة في البلازما عن طريق إدخال مسبار من نوع أو آخر هناك. تعتمد الطرق الخارجية على نوع من الإشعاع ، لذلك يجب أن تكون النافذة مصنوعة من مادة شفافة للتمكن من رؤية البلازما في بعض الأحيان تكون هناك حاجة إلى نوافذ الكوارتز أو الياقوت.

التشخيص عن بعد التحليل الطيفي البصري spectroscopy emission Optical:

يُعد التشخيص الطيفي للانبعاثات الضوئية (OES) من أكثر الطرق الشائعة المستخدمة للتشخيص عن بُعد (الخارجي). في تقنيةOES ، يتم جمع الضوء المرئي باستخدام عدسة تُركز الضوء على شق الطيف. ويشمل الكاشف المستخدم عادةً إما ثنائي ضوئي، أو مضاعف ضوئي، أو محلل بصري متعدد القنوات (OMA) مع مرشحات تداخل لعزل الخط الطيفي المحدد.

كما يمكن استخدام الإشعاع البصري لتصوير البلازما في ضوء طيفي معين بواسطة مرشح تداخل وكاميرا CCD حساسة، كما هو موضح في الشكل 1. ومن خلال مقارنة شدة الخطوط الطيفية المختلفة، يمكن تحديد الأنواع الذرية الموجودة، وكذلك حساب درجة حرارة الإلكترون وكثافته ونسبة التأين.



Figure(4) Optical emission spectroscopy (OES)

مقياس التداخل الميكروويف interferometer Microwave:

طريقة أخرى للتشخيص عن بُعد هي استخدام **مقياس التداخل الميكروويفي** .في هذه الطريقة، يتم إطلاق حزمة من إشعاع الميكروويف من خلال هوائي مجوف عبر نافذة باتجاه البلازما. يمكن لهذه الموجات الانتشار داخل البلازما إذا كان شرط ($\omega pe > \omega$)محققًا، حيث يمثل (ωpe) التردد الزاوي للإلكترون في البلازما، و (ω)هو التردد الزاوي للموجات الكهرومغناطيسية. يؤدي وجود البلازما إلى تغيير طور إشارة الميكروويف، ويتناسب هذا التغيير مع كثافة البلازما، كما هو موضح في الشكل (5.).

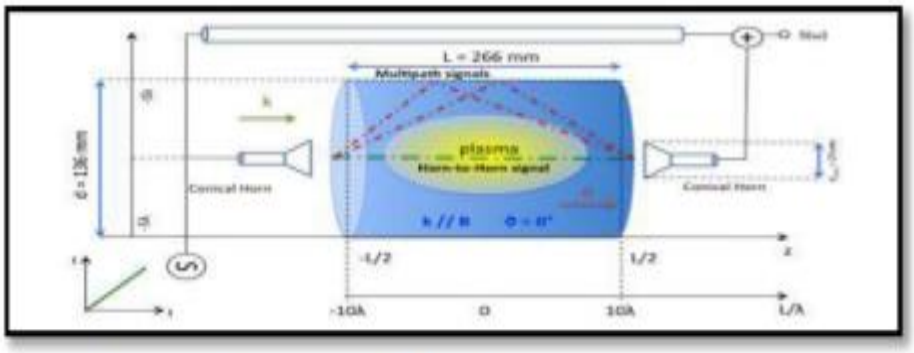


Figure (5): Interferometer setup.

الاستشعاع المستحث بالليزر Fluorescence Induced Laser

التشخيص بالاستشعاع المستحث بالليزر (LIF) هو تقنية تشخيص عن بُعد غير متداخلة وموضعية، ويعتمد على استخدام مسارات شعاع متقاطعة. تُعد هذه الطريقة الوحيدة القادرة على قياس درجة حرارة الأيونات (Ti) دون الحاجة إلى محلل طاقة ضخم. يتم ضبط ليزر على طول انتقال معين ليثير الأيونات إلى حالة متهيجة أثناء عبورها لمسار محدد داخل البلازما. تبعث الأيونات المتهيجة ضواء بتردد مختلف، ويُجمع هذا الضوء بواسطة عدسة تركزه على نقطة معينة على المسار، مما يوفر معلومات موضعية دقيقة. كما أن توسع دوبلر للخط الطيفي يكشف عن توزيع سرعة الأيونات في اتجاه معين.

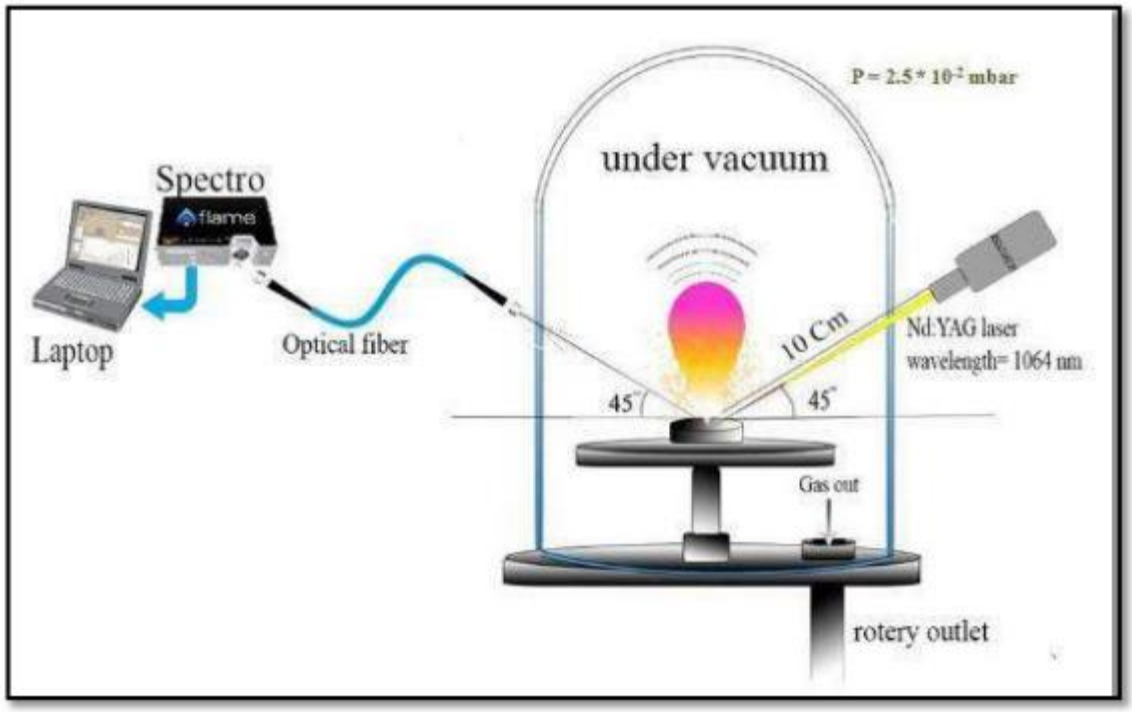


Figure (6) Laser Induced Fluorescence (LIF)

التشخيص الموضعي مجسات لانكمور Langmuir

تُعد طريقة المجسات الكهربائية من الوسائل الكلاسيكية والبسيطة لتشخيص البلازما، حيث توفر بيانات موضعية دقيقة عن سلوك وخصائص البلازما، على عكس طرق التشخيص الأخرى مثل التحليل الطيفي، التشتت الضوئي، والموجات المايكروية. ومن الخصائص الفيزيائية الأساسية التي يُعنى بقياسها في البلازما درجة حرارة الإلكترونات والأيونات، نظرًا لاختلافهما، إلى جانب كثافة الجسيمات فيها.

تشمل الطرق الشائعة في قياسات البلازما استخدام المجسات الكهربائية المفردة والمزدوجة. وقد أسس العالمَان لانغمویر وموت سميث نظرية هذه المجسات، مما أتاح استخدامها لقياس كثافة الإلكترونات nenene والأيونات nini، ودرجة حرارة الإلكترونات Te، وجهد البلازما Vp، والجهد العائم Vf وهو جهد المجس عندما يكون صافي التيار صفراً. تزويد المجس بفولتية مختلفة بالنسبة لجهد البلازما وقياس التيار الناتج يوفر بيانات أساسية عن خصائص البلازما. يعتمد التيار المار عبر المجس ليس فقط على خصائص البلازما ولكن أيضًا على مساحة سطح المجس الذي يمكن أن يكون على هيئة كروية أو أسطوانية أو مسطحة.

تعتمد فكرة المجسات على إدخال قطب كهربائي صغير معزول إلى داخل البلازما، حيث تصطدم الإلكترونات السريعة مقارنة بالأيونات بسطح القطب بكثرة، مما يؤدي إلى تجمع شحنة سالبة عليه، فيصبح جهده أقل من جهد البلازما المحيطة. ينتج عن هذا فرق جهد كهربائي ويمتد مجاله في غلاف سمكه يعادل طول ديباي، الذي يعتمد على كثافة ودرجة حرارة الإلكترونات. يعتمد حجم الغلاف حول المجس على فولتية المطابقة، وحجم المجس، وخصائص البلازما.

رغم بساطة فكرة مجس لانغمویر، فإن منحنى العلاقة بين الجهد والتيار للمجس يوفر معلومات مهمة حول جهد البلازما في المنطقة المحيطة، ودرجة حرارة الإلكترونات وكثافتها، وكذلك الأيونات في بعض الحالات. خاصية البلازما المهمة في سياق المجسات هي عدم خضوعها لقانون أوم، حيث تجمع المجسات الأيونات بمعدل تحدده المجالات الكهربائية التي توجه التيار نحو المجس أو بعيدًا عنه. في بعض الأحيان، يُستخدم مجس مزدوج يتكون من قطبين متساويين في المساحة السطحية، مفصولين بمسافة صغيرة، ومغمورين في البلازما، مما يوفر قياسات دقيقة وأكثر تنوعًا للخصائص.

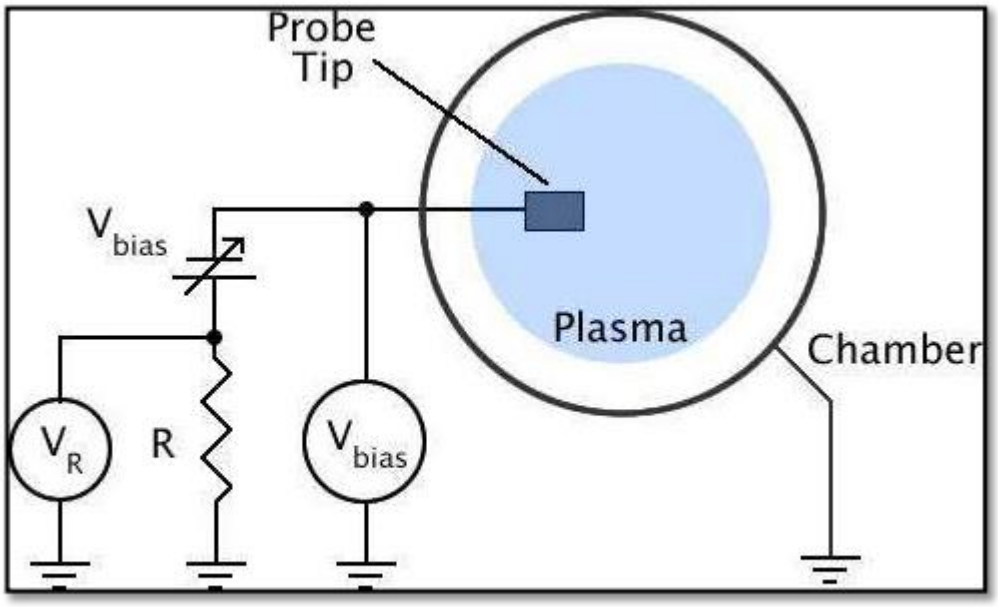


Figure (7): Langmuir Probes.