------مجلة علوم الرافدين، المجلد 27، العدد 1، ص 364-377، 2018------

التفريغ الراديوي تحت تأثير المجال المغناطيسي

هيثم عبدالحميد الراوجي ***إيمان يونس عبد**

قسم الفيزياء/ كلية العلوم/ جامعة الموصل

***E-mail: imanyounis633@ gmail.com**

(أُستلم 12/ 3 /2014 ؛ قُبل 28 /11 /2017)

الملخص

أُختبرت في هذه الدراسة تأثيرات المجال المغناطيسي الخارجي (0-571G) في الهواء الجاف على خواص التفريغ الراديوي السعوي عند التردد 13.56 MHz في حجرة التفريغ المعدة لهذا الغرض تحت ضغوط واطئة مختلفة (1.0-0.05Pascal) وقدرات مختلفة للموجة الراديوية الساقطة. التقنية المستخدمة في هذه الدراسة كانت المجس الالكتروستاتيكي المنفرد وصولاً الى معرفة منحني الخواص لهذا المجس ومنه احتساب دالة التوزيع الطاقي للالكترونات داخل منظومة التفريغ.

الكلمات الدالة: المجال المغناطيسي، التفريغ الراديوي السعوي، دالة التوزيع الطاقي، بلازما التفريغ التوهجي.

Radio Frequency Discharge Under the Effect of Magnetic Field

Haitham A. AL-Rawachy **Eman Y. Abed**

Department of Physics /College of Science/ University of Mosul

ABSTRACT

In this study We tested the effects of external magnetic field (0-571 G) in dry air on the characteristic of capacitive radio discharge at 13.56MHz in a discharge chamber prepared for this purpose under different low pressure (1.0-0.05 Pascal) and different radio waves fallen. The technique which used in this study was the electrostatic probe down to see the I-V characteristic properties of this sensor to calculate the electrons energy distribution function inside the discharge system.

Keywords: Magnetic Field, Capacitive-Coupled RF Discharge, Electron Energy Distribution Function (EEDF), plasma glow discharge.

المقدمة

التفريغ الكهربائي في الغازات من المواضيع المهمة إذ يستخدم هذا التفريغ في مجالات مختلفة منها صناعة الالكترونيات واشعة الليزر(Bogaerts,1999) يحدث التفريغ بأنواعه الثلاثة عندما يكون الضغط مضروبا في المسافة بين القطبين (الكاثود و الأنود) حيث يكون حاصل ضرب الضغط الداخلي للمنظومة مضروباً في المسافة بين القطبين كبيراً والتيار الكلي متزايداً (Sijacac *et al.*, 2002)، حيث يمكن تصنيف التفريغ الكهربائي في الغازات عند الحالة المستقرة إلى ثلاثة أنواع وهي:

1- تفريغ تاوسند (Townsend Discharge) في هذا النوع من التفريغ تتكون الايونات بزيادة الفولتية المسلطة على الأقطاب ويحدث عندما تكون الفولتية تقريباً ثابتة خلال أنبوبة التفريغ الكهربائي غير معتمدة على زيادة التيار ومن النادر انبعاث أي ضوء من هذا التفريغ لذلك يدعى غالبا بالتفريغ المظلم (Howatson,1976) .

2- التفريغ التوهجي (Glow Discharge) يُعرف التفريغ التوهجي بأنه المنطقة المضيئة التي تتكون بالقرب من القطب السالب وتكون مفصولة عنها بفضاء مظلم، وينبعث نتيجة لهذا التفريغ ضوءاً مرئيا يتوزع على طول منظومة التفريغ نتيجة لمرور تيار التفريغ في المنظومة المملوءة بغاز نادر عند الضغط الواطئ (Chapman, 1980).

3- تفريغ القوس (arc Discharge) عند المرحلة الاخيرة من التفريغ الكهربائي تنهار الفولتية بسرعة شديدة ويزداد التيار بصورة أكبر عندها ينتقل التفريغ من التوهجي الى القوس ولا يمكن وصف عملية الانتقال بالكامل عند زيادة التيار ولكن يمكن السيطرة عليها اعتمادا على سطح القطب السالب وبزيادة التيار أكثر فإن ضوء القطب السالب يصبح أكثر سطوعاً وأقل تنظيماً ويصنف تفريغ القوس حسب عملية انبعاث الالكترونات من الكاثود، حسب الضغط أو حسب الألية التي يتزن بها القوس حرارياً (الراشدي، 2008).

التفريغ الراديوي

يتميز التفريغ الراديوي بإمكانية انتاج البلازما حتى عند وضع مادة عازلة على الاقطاب إذ أن نطاق التردد الذي يمكن استخدامه في هكذا نوع من التفريغ هو من 1kHz الى 200 MHz ولكن التردد الاكثر استخداماً هو 13.56 MHz وقد تم اعتماد هذا التردد من قبل العلماء والمهندسين في المنظمة العالمية للاتصالات (Curley, 2008) تستخدم بلازما التفريغ الراديوي على مدى واسع من التطبيقات العملية إذ يكون لها فائدة خاصة عند معالجة السطوح التي ممكن أن تكون شبه موصلة أو عازلة حيث لا يمكن تمرير التيار المستمر في هذه المواد لذلك استخدموا بدلاً عنها الفولتيات المتناوبة ذات التردد العالي الذي يضمن عدم اضمحلال الشحنة عندما يكون التيار صفراً (Raizar, 1991) والتفريغ الراديوي يكون فعالاً عند تردد (1-100MHz) الذي يُعدُّ مناسباً جداً للحصول على البلازما في مفاعلات الاندماج النووي (Conrads and Schmidt, 2000). وأستخدم في هذه الدراسة التردد الراديوي القياسي 13.56MHz وذلك بسبب فولتية الانهيار التي تعتمد على التردد حيث تكون أقل عند التردد بالميكاهيرتز (Balcon *et al*., 2007).

التفريغ الراديوي السعوي

ينشأ التفريغ الراديوي السعوي بتسليط قدرة ذات تردد عالي على الاقطاب المتوازية التي يمكن أن تكون مكسوة بمادة عازلة يتم استعمال هذه التقنية في مدى الضغوط الواطئة من1torr إلى10^{-3} torr والمتوسطة 1torrإلى 100 torr، ولكن على الأغلب يكون استخدام الضغوط الواطئة في المنظومات التطبيقية الصناعية للتفريغ CCP (Turner,1993). الفولتية والتيار للموجات الراديوية خلال الصفيحة السعوية المتولدة بين القطبين تلعب دوراً مهماً في احداث التفريغ ويكون لشكل الاقطاب أهمية كبيرة في تحديد شكل الانبوبة المستخدمة في دراسة التفريغ ويتم ربط مصدر القدرة مع الخلية بواسطة دائرة مواءمة سعوية تدعى (Macting Network) والتي تعمل على مقاربة ممانعة الحمل (الخلية) مع ممانعة مصدر الموجات الراديوية وذلك لتقليل الخسائر والقدرة الضائعة (Norstrom,1979) تدخل البلازما المتولدة سعويا في معالجة أنواع متعددة ومختلفة من المواد الموصلة وغير الموصلة كالأدوات المايكروالكترونية والعينات البايولوجية (Lazovic *et al*., 2009) أن التردد 13.56 MHz الذي يستعمل في التفريغ الراديوي السعوي يدخل في بناء الدوائر المتكاملة وعمليات الترسيب بواسطة عملية الترذيذ على رقائق السليكون (Chapman,1980).

تأثير المجال المغناطيسي

يستخدم المجال المغناطيسي على مدى واسع من التطبيقات الصناعية ومن المعروف بأن أي شحنة متحركة تنتج مجالاً مغناطيسياً في الفضاء المحيط بها الى جانب المجال الكهربائي (علي، 1977) حيث أن المجال المغناطيسي المستعرض الذي يكون موازياً للهدف (Target) يعمل على تقليل طاقة الالكترون عند الانتقال من الكاثود الى الانود والذي يؤدي الى تأين الغاز ويشكل كثافة عالية للبلازما بالقرب من سطح الكاثود(Shon *et al*., 1998) ويمكننا حساب شدة المجال المغناطيسي من خلال استخدام قانون أمبير (علي، 2010) الذي يُعطى بالعلاقة التالية:

$$B = \frac{\mu_0 N I}{L} \qquad (1)$$

حيث أن **B** هو شدة المجال المغناطيسي، **n** هي عدد لفات الملف، **I** هو قيمة التيار الكهربائي المستمر، μ_0هي نفوذية الفراغ وقيمتها $\mu_0=4\pi*10^{-7}$ H/m و **L** هو طول السلك المستخدم.

المجس الالكتروستاتيكي

عند إدخال قطب إضافي إلى البلازما وربطه بمصدر فولتية منفصل عن القطب الموجب يتكون لدينا ما يسمى بالمجس الالكتروستاتيكي، ويمكن من دراسة تغير تيار المجس مع الفولتية المسلطة عليه الحصول على الكثير من المعلومات المهمة عن البلازما (الشيخاني، 2005) إن فكرة استخدام تقنية المجس المنفرد تعود إلى سببين رئيسين هما أن المجس المنفرد لا يحتاج إلى تراكيب أجهزة معقدة وأن الاضطرابات التي يسببها تكون موضعية عند النقطة التي يكون فيها وتوجد عدة تقنيات حديثة تستند في عملها إلى استخدام المجس الالكتروستاتيكي (عزوز وعبدالله، 1991)، (Santos *et al*., 2003) ويتم تجهيز المجس بفولتية من خلال مجهز قدره خارجي منفصل وتبعاً لذلك فإن تياراً يسري في المجس يتم قياسه. ومن دالة الخواص (I=f (V)) يتم رسم منحنى الخواص(I-V) ومن ثم يمكن حساب معظم المعلمات الفيزيائية للبلازما، وبصورة رئيسية قياسات دالة التوزيع الطاقي للالكترونات(EEDF) (Bricha *et al*., 2003) لا يعتمد مقدار التيار الكهربائي في المجس على متغيرات البلازما وإنما يعتمد على مساحة سطح المجس الذي يقوم بتجميع الشحنات (عبدالله، 2006).

دالة التوزيع الطاقي

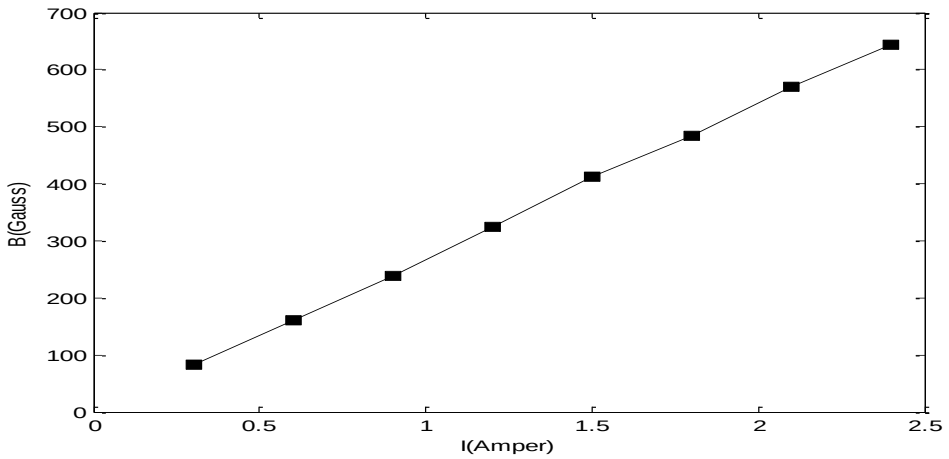
دالة التوزيع الطاقي للالكترونات تعتبر المفتاح الرئيسي لدراسة معلمات البلازما فضلا عن التحليل للتركيب الداخلي للغازات ضعيفة التأين التي نحصل عليها عند الضغط الواطئ (Andrei *et al*., 2003) ان دالة التوزيع الطاقي للالكترون تعتمد على مجموعة من العوامل الخارجية مثل: الأبعاد الهندسية لمصدر البلازما، ضغط الغاز، معدل الجريان، الطاقة المصروفة وغيرها. ويمكننا حساب دالة التوزيع الطاقي *f(E)* من المشتقة الثانية لمنحني خواص مجس لانكمور من خلال علاقة درايفستون (Azooz , 2005)

$$f(E) = \frac{(8mV)^{\frac{1}{2}}}{Ae^{\frac{3}{2}}ne}\frac{d^2I}{dV^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

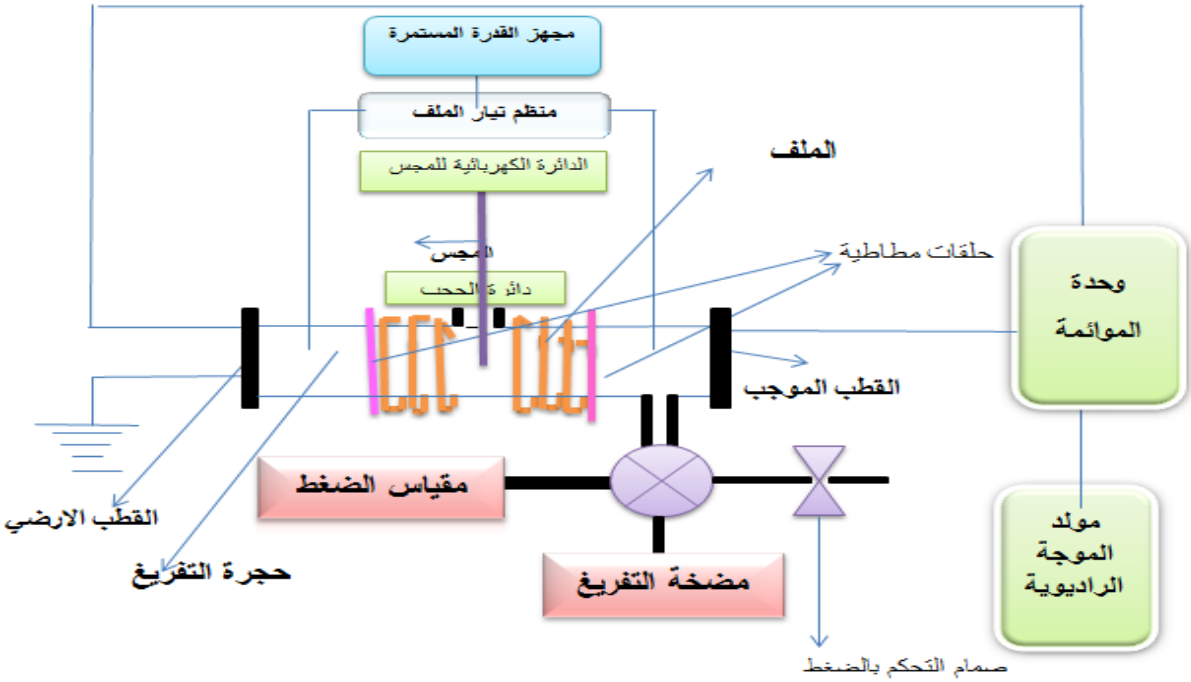
حيث أن m هي كتلة الإلكترون، e شحنة الإلكترون، V الفولتية المسلطة على المجس، A هي مساحة مقطع المجس و n هي كثافة الالكترونات ولكون دالة التوزيع الطاقي هي عبارة عن وصف إحصائي للبلازما ضمن فضاء سرعي أو طاقي عند زمن معين (Holt and Haskel, 1965) فيمكننا على الأقل الحصول على الـ (EEDF) بصورة مباشرة ومن خلال حل معادلة بولتزمان المتضمنة جميع عمليات التصادم المحتملة.

الجانب العملي

تم أستخدام أنبوبة زجاجية يبلغ طولها (15.5cm) وقطرها الداخلي (4cm) موصولة بأنبوبة التقسيم عن طريق الفتحة الوسطية في الانبوبة حيث تستخدم أنبوبة التفريغ لاحتواء البلازما المتولدة سعوياً CCP، وقد تم طي الحافة الخارجية لأنبوبة التفريغ نحو الخارج لتعمل مسنداً لحلقات الاحكام المطاطية التي استخدمت لتثبيت الانبوبة على الاقطاب ويمكن الحصول على الموجة الراديوية اللازمة لإنتاج التفريغ السعوي من خلال استخدام مولد الموجة الراديوية ذات التردد 13.56 MHz وبقدرة متغيرة (0-400Watt) حيث يربط هذا المولد بوحدة مواءمة (Matching unit) لكي لا يحدث انعكاس وضياع في الموجة الراديوية وقدرتها و هذا الجهاز مزود بنظام حماية عند ارتفاع درجات الحرارة يتوقف الجهاز عن العمل كلياً أو عند حدوث انعكاس كبير للموجة المسلطة على البلازما ومن أجل الحصول على قيم دقيقة للتيار والفولتية وخالية من التشويش كان لابد من استخدام دائرة الحجب (ملف + متسعة) والفائدة الاساسية من هذا الخانق هو منع المجس من العمل بوصفه هوائياً عند توليد التفريغ باستخدام الموجات الراديوية حيث يكون الملف والمتسعة مربوطين على التوازي للحصول على الممانعة المطلوبة وقد أكدت البحوث العالمية على العمل بهذا التصميم ومنها (Shaer *et al*., 2007) وتم تصنيع المجس الالكتروستاتيكي المنفرد المستخدم في هذه الدراسة من مادة النحاس بقطر(0.2 mm) على شكل صفيحة مثبتة داخل أنبوبة التفريغ عبر سدادة مطاطية محكمة وتمكنا من الحصول على المجال المغناطيسي المستعرض من خلال تصنيع ملف يحيط بحجرة التفريغ الذي تم لفه يدوياُ بقطر (4 cm) وكانت عدد لفات الملف بحدود (1500) لفة بعد تحديد الموقع ولتجنب انفراط الملف من الجوانب والذي يقود حتماً الى تشوه في شكل المجال المغناطيسي فقد قمنا بتثبيت حلقات مطاطية على جانبي الملف وتم قياس شدة المجال المغناطيسي بأستخدام جهاز (Gaussmetar) نوع (DGM-102). معايرة المجال المغناطيسي موضحة بالشكل (1) أما المجس الالكتروستاتيكي والمنظومة المستخدمة في هذه الدراسة موضحة بالشكل (2).



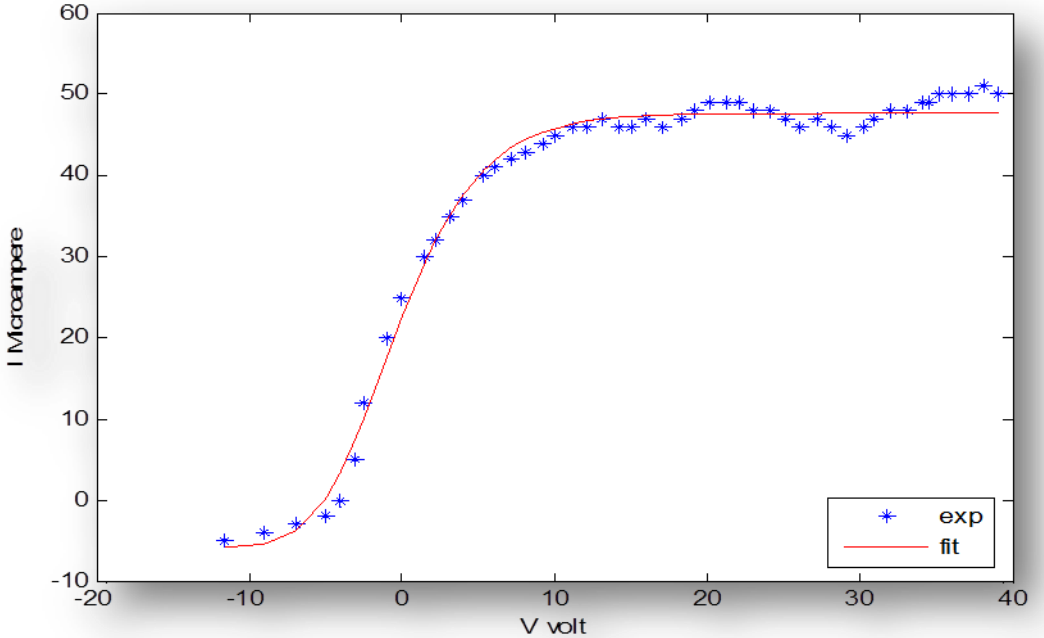
الشكل 1: معايرة المجال المغناطيسي



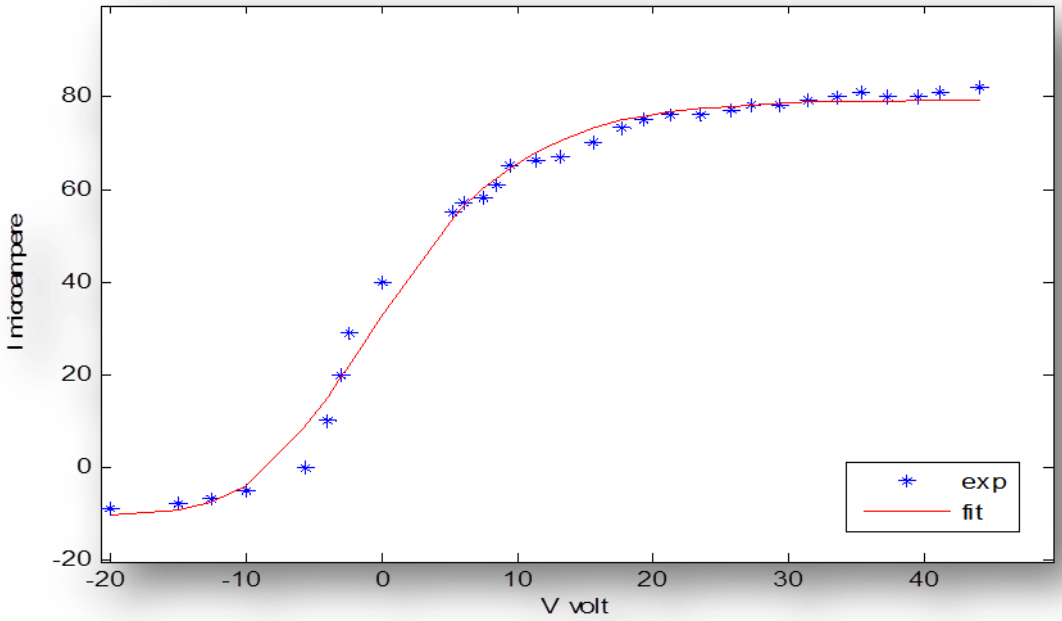
الشكل 2: المخطط التوضيحي للمنظومة

النتائج

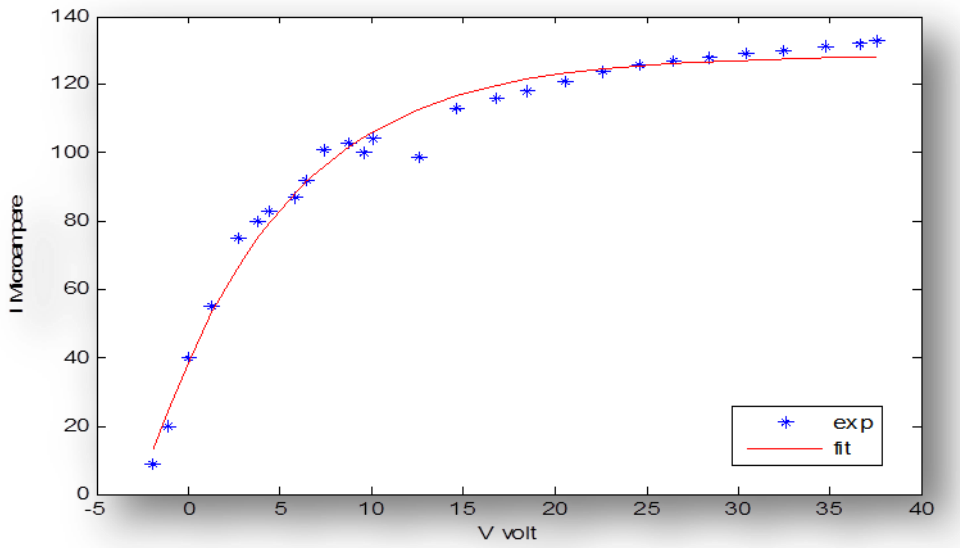
لقد تم الحصول على عدد كبير من منحنيات خط الخواص في هذه الدراسة والتي سوف نتمكن من خلال تحليلها احتساب معلمات البلازما المتولدة سعوياً ودراسة تأثير كل من المجال المغناطيسي والضغط وقدرة الموجة الراديوية على هذه المعلمات الاشكال (3) الى (6) توضح عملية موائمة البيانات التجريبية وضبطها للحصول على الخط المطلوب بشكل منتظم. ونلاحظ تطابق خط الخواص التجريبي مع خط الخواص القياسي وفي بعض الحالات لم نتمكن من الحصول على منطقة تيار التشبع الايوني من خط الخواص وهذا هو الحال مع بحوث عالمية كثيرة اجريت للحصول على التفريغ الراديوي السعوي منها (Shaer *et al.*, 2007)، (الساعور، 2011)، (Al-Rawachy and Al-Saoor, 2013)



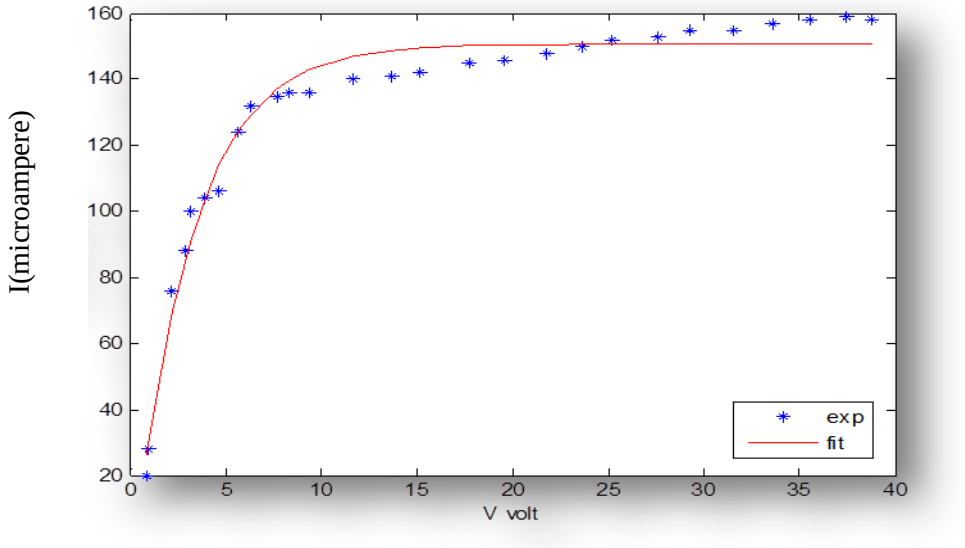
الشكل3 : منحني الخواص التجريبي للمجس الالكتروستاتيكي عند الضغط (1.5 Pascal) وقدرة (50 Watt) ومجال مغناطيسي (0 Gauss)



الشكل 4: منحني الخواص التجريبي للمجس الالكتروستاتيكي عند الضغط ($5x10^{-2}$ Pascal) وقدرة (50Watt) ومجال مغناطيسي (239 Gauss)



الشكل 5: منحني الخواص التجريبي للمجس الالكتروستاتيكي عند الضغط ($5.6x10^{-1}$ Pascal) وقدرة (90 Watt) ومجال مغناطيسي (239 Gauss)



الشكل 6: منحني الخواص التجريبي للمجس الالكتروستاتيكي عند الضغط (1Pascal) وقدرة (70Watt) ومجال مغناطيسي (413 Gauss)

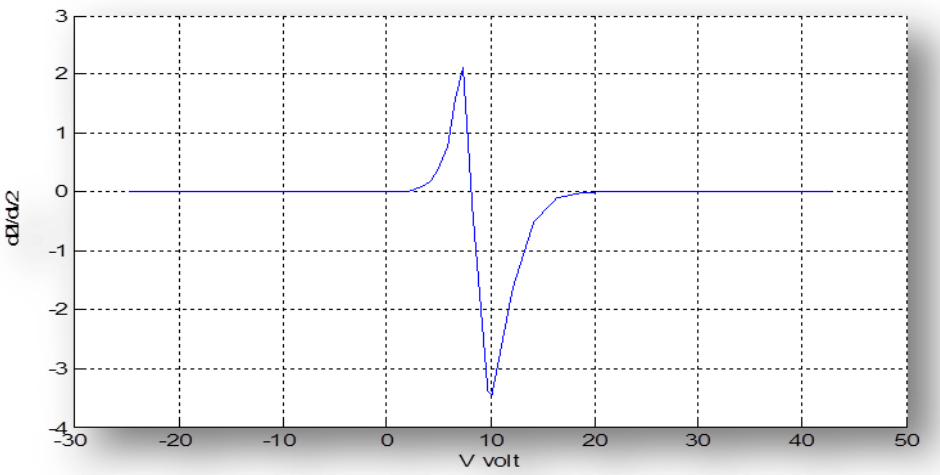
اما جهد البلازما فيعتبر من المعلمات المهمة في التفريغ الراديوي السعوي حيث يمكن ايجاده من خلال المشتقة الثانية للتيار بالنسبة للفولتية والذي من خلاله نتمكن من الحصول على دالة التوزيع الطاقي للالكترونات ويمكننا تعريف جهد البلازما بأنه نقطة الانقلاب عندما تكون المشتقة الثانية للتيار بالنسبة للفولتية مساوية للصفر.

$$\frac{d^2 I}{dv^2} = 0 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (3)$$

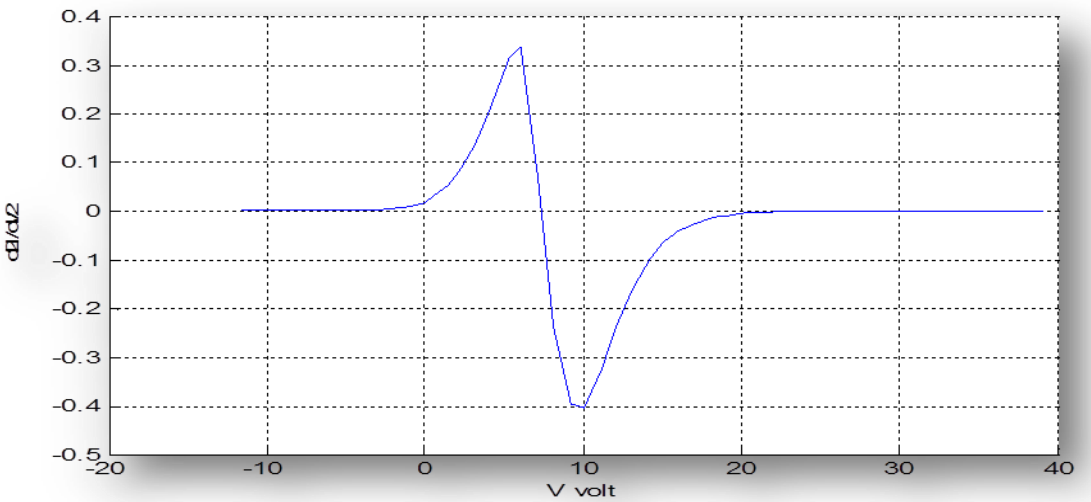
حيث استخدمت هذه الطريقة للحصول على جهد البلازما. والصيغة النهائية للمشتقة الثانية للتيار بالنسبة للفولتية موضحة بالمعادلة (Azooz, 2008) (4)

$$d^2I/dV^2=a_1[\tanh^2((V+a_2)/a_3][2\tanh((V+a_2)/a_3)- a_1 +(a_1/a_2)\tanh^2((V+a_2)/a_3)]\exp[a_1\tanh((V+a_2)/a_3)] \qquad \ldots (4)$$

الأشكال (7)، (8) تمثل جهد البلازما لبعض الحالات كنموذج من البيانات التي تمكنا من الحصول عليها في هذه الدراسة بوجود المجال المغناطيسي وعدم وجوده.

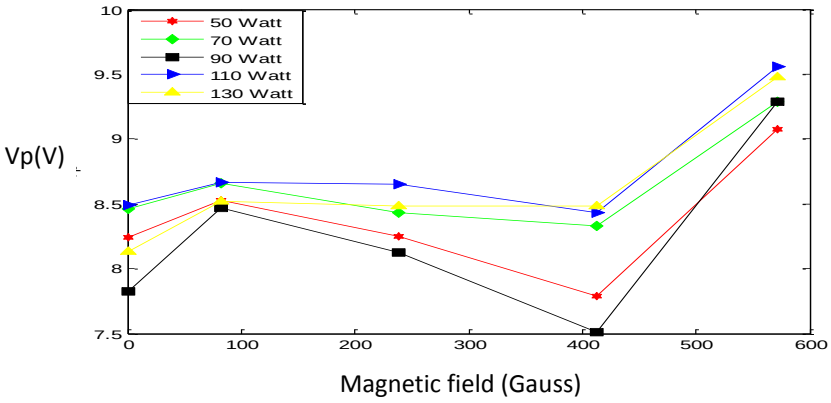


الشكل 7: فولتية المجس مع المشتقة الثانية للنيار بالنسبة للفولتية عند ضغط ($5x10^{-2}$ Pass) وقدرة (110 Watt) ومجال مغناطيسي (82 Gauss).

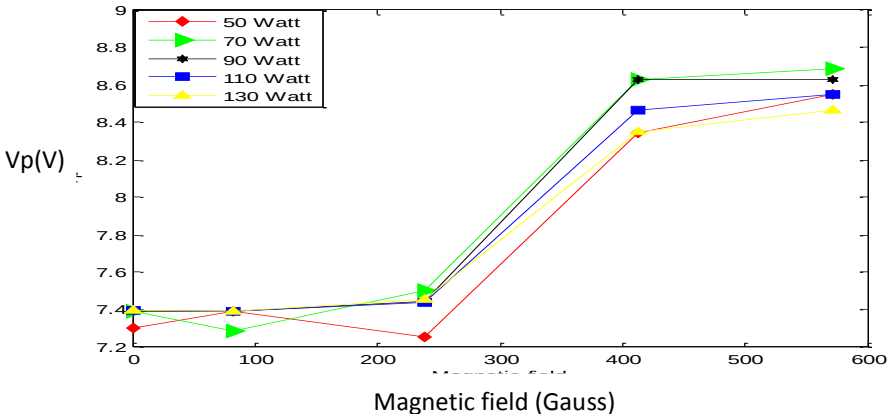


الشكل 8: فولتية المجس مع المشتقة الثانية للتيار بالنسبة للفولتية عند ضغط (1.5 Pass) وقدرة راديوية (50 Watt) ومجال مغناطيسي(0 Gauss)

ان تأثيرات التأينات الثانوية سوف تظهر وبشكل واضح نتيجة لامتلاك الالكترونات حركية عالية مما يؤدي الى تصادمها مع القطب السالب وبالتالي ستعمل على خفض جهد هذا القطب وتكوين انحدارٍ بالجهد بين القطب الموجب (المصدر) وهذا القطب وعليه يكون جهد البلازما على هذا القطب مساوياً للصفر (Aflori and Sullivan., 2005). اما الايونات سوف تتعجل بعيداً عن القطب السالب ولكن المسافة التي يمكن أن تقطعها سوف تكون صغيرة ويمكن اهمالها قبل أن يعكس المجال اتجاهه مرة أخرى وعليه فان الالكترونات سوف تتعجل بعيداً عنه وبذلك تزداد سالبية القطب الارضي وبشكل متكرر إذ يعمل على جذب الايونات نحوه وهنا يمكن عد تصرف القطب السالب كقطب مستمر (الساعور، 2011). وفي دراستنا هذه تبين أن هناك عدم انتظام في تأثير قدرة الموجة الراديوية والضغط على جهد البلازما كنتيجة لتأثير المجال المغناطيسي المستعرض لعدم وجود تأثير واضح ومنتظم للمجال المغناطيسي على هذا الجهد الذي يعمل على تحديد الحركية الالكترونية كنتيجة للحجز المغناطيسي على الالكترونات وكما مبين بالاشكال (9) و (10) وفي هذه المرحلة تكون ممانعة التفريغ سعوية وكلما زاد تأثير المجال المغناطيسي على حركية الالكترونات فان ممانعة التفريغ سوف تتحول الى ممانعة أومية إذ ستعمل على تقليل التردد السايكلتروني للالكترونات على حساب تردد التصادم الالكتروني (Barnat *et al.*, 2008) وكذلك لتأثيرات الشذوذ في قياسات البلازما (Soberon *et al.*, 2003).

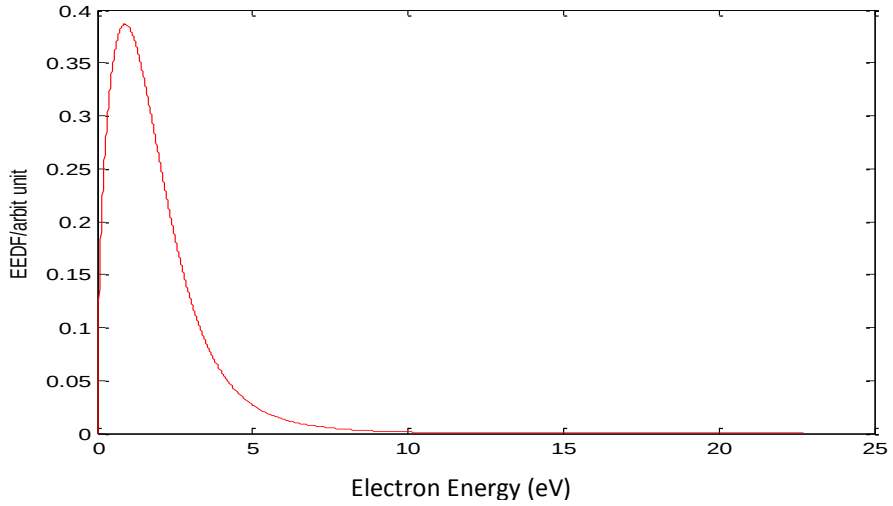


الشكل 9: علاقة جهد البلازما مع القدرة للمجالات المغناطيسية المستعملة بثبوت الضغط عند (1Pascal)

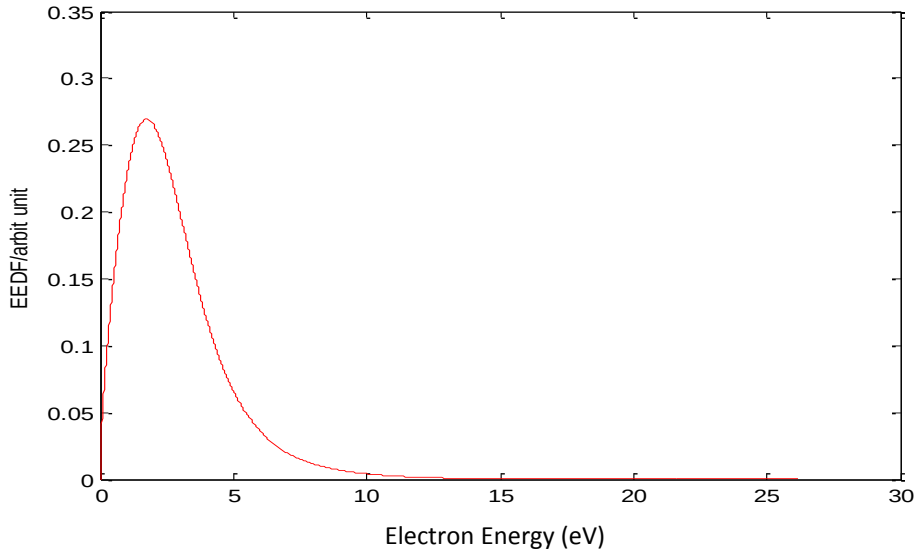


الشكل 10: علاقة جهد البلازما مع القدرة للمجالات المغناطيسية المستعملة بثبوت الضغط عند (1.5 Pascal)

يمكن حساب دالة التوزيع الطاقي باستخدام طريقة المشتقة الثانية لمنحني الخواص في المنطقة الانتقالية من منحني الخواص للمجس الالكتروستاتيكي والاشكال (11) و(12) تمثل دالة التوزيع الطاقي التي تمكنا من الحصول عليها.



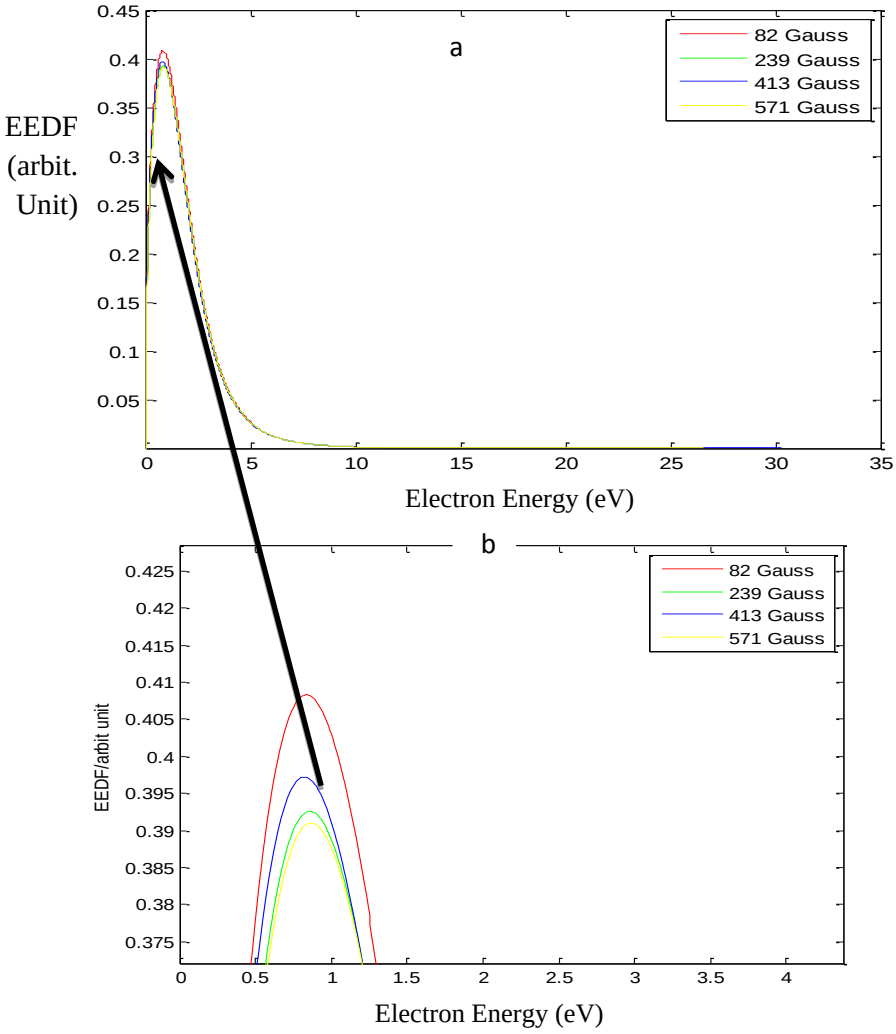
الشكل 11 : دالة التوزيع الطاقي عند الضغط (1.5 Pascal) وقدرة (50 Watt) ومجال مغناطيسي (239 Gauss)



الشكل 12: دالة التوزيع الطاقي عند الضغط ($5.6X10^{-1}$ Pascal) وقدرة (70 Watt) ومجال مغناطيسي(413 Gauss)

الشكل (13) يوضح دالة التوزيع الطاقي عند الضغط ($5.6x10^{-1}$ Pascal) وقدرة (90 Watt) ولجميع المجالات المغناطيسية المستخدمة. إذ نلاحظ تطابقاً تاماً لدوال التوزيع الطاقي عند مختلف المجالات المغناطيسية وتكون في اعلى قمة عند المجال المغناطيسي (82 Gauss) وتنخفض بشكل تدريجي عند زيادة المجال المغناطيسي. وهذا يمكن أن يعزى الى عدم التوازن في التفريغ المكاني والزماني للشحنات وبالتالي تكوين انحدارات متعددة للجهد داخل البلازما بالإضافة إلى ذلك فان فضاء الشحنة القريب من المجس سوف يتأثر بشكل كبير ومباشر بالظروف التشغيلية المختلفة لمنظومة البلازما الراديوية المتولدة

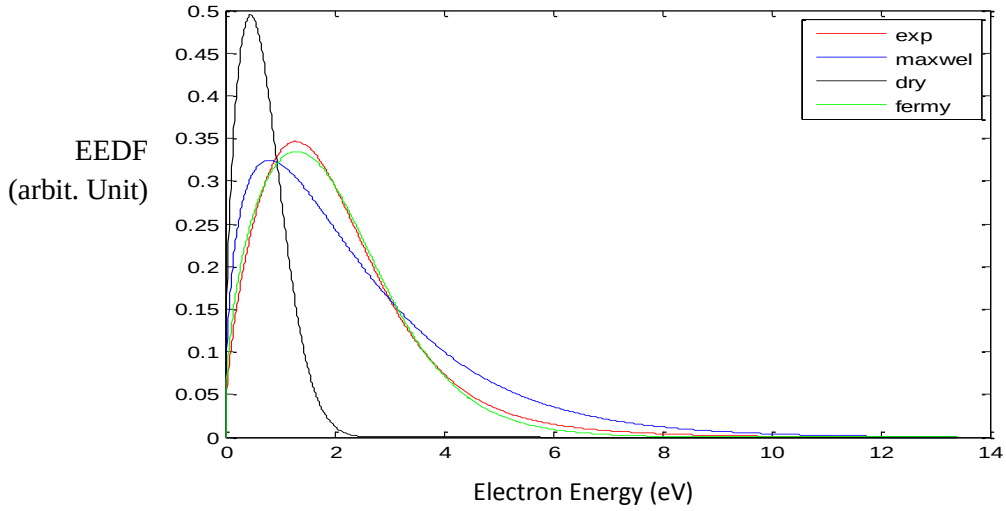
سعوياً (Godyak, 2006). إذ سيكون هناك خسارة كبيرة في طاقات الالكترونات السريعة عند الجدران كنتيجة لأغفال الحجز المغناطيسي في هذه المناطق جنبا الى جنب مع تصادمات غير مرنة تؤدي الى أستنزاف طاقة هذه الالكترونات وهذا يتفق مع الكثير من البحوث في هذا المجال ومنها (Soberon *et al*., 2003)



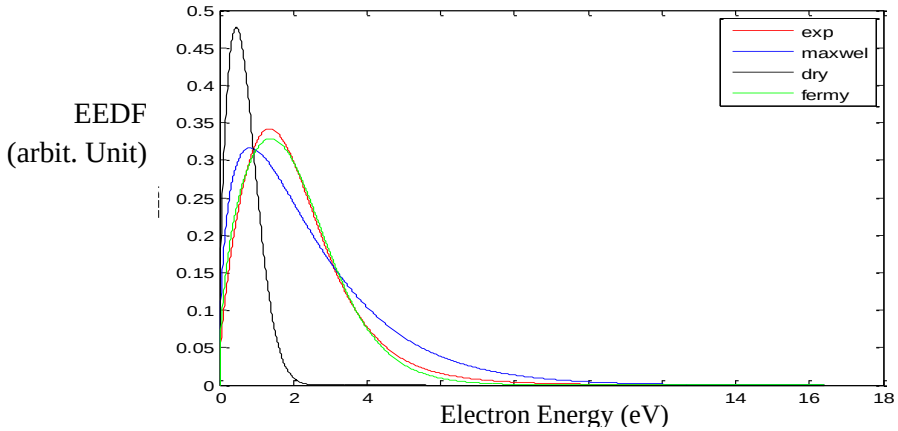
الشكل 13: دالة التوزيع الطاقي عند الضغط ($5.6x10^{-1}$ Pascal) وقدرة (90 Watt)

أما الأشكال (14) و (15) تمثل مقارنة دالة التوزيع الطاقي التي حصلنا عليها مع الدوال التجريبية الثلاثة (فيرمي ديراك، درايفستون، ماكسويل) ومن خلال المتابعة للرسوم التي حصلنا عليها نلاحظ بأن الدالة تكون غير ماكسويلية وتتطابق في أغلب الاحيان مع دالة فيرمي–ديراك وعليه يمكن القول ان دالة التوزيع الطاقي للالكترونات في بحثنا هذا تتطابق مع دوال التوزيع الطاقي لبحوث اخرى إذ أظهرت هذه البحوث عدم انسياق الدوال التجريبية المحتسبة مع دالة ماكسويل نتيجة لغياب التوازن الثرموديناميكي في العمليات المباشرة والمعكوسة. كمثال على ذلك توليد زوج الكترون– ايون وتهيج الغاز نتيجة لتصادم الالكترونات السريعة داخل منظومة البلازما في حين هناك خسارة كبيرة لطاقة الالكترونات السريعة واشعاعات البلازما كطاقة مفقودة عند الجدران وبصورة

عامة يمكن القول بأن تصادم الكترون–الكترون نتيجة للقوى الكهربائية بينهما يوفر دعماً لأن تكون دالة التوزيع الطاقي ماكسويلية داخل البلازما إذ إن معدل التصادمات في هذه الحالة تكون قليلة جداً للوصول الى حالة التوازن عند الطاقات القليلة داخل البلازما أما في حالة الطاقات العالية فإن الأستجابة تكون كبيرة للتصادمات غير المرنة وعليه فأنه من المناسب القول أن البلازما غير متوازنة (Godyak, 2006) فكانت غير ماكسويلية وكما يلي: فيرمي ديراك (الجوادي، 2009) و(الساعور، 2011)، غير ماكسويلية (Chen *et al*., 2009) و(Homfray and Crowley, 2007) وكذلك وجود انتقال في دالة التوزيع الطاقي من دالة Maxwell الى دالة درايفستون (Hopkins, 1995)



الشكل 14: دالة التوزيع الطاقي مقارنة بالدوال النظامية (ماكسويل، فيرمي ودرايفستون) عند الضغط (1.5 Pascal) وقدرة (50 Watt) ومجال مغناطيسي (82 Gauss)



الشكل 15: دالة التوزيع الطاقي مقارنة بالدوال النظامية (ماكسويل، فيرمي ودرايفستون) عند الضغط (1.5 Pascal) وقدرة (130 Watt) ومجال مغناطيسي (239 Gauss)

الاستنتاجات

خلاصة لما تقدم وبعد سلسلة من القياسات اجريت على البلازما المغناطيسية المتولدة سعويا في الهواء الجاف عند ضغوط مختلفة وقدرات مختلفة للموجة الراديوية الساقطة لمعرفة كيفية تصرف البلازما السعوية تحت تأثير مختلف المجالات المغناطيسية

ومن خلال تحليل خط الخواص للمجس الالكتروستاتيكي المستخدم في هذه الدراسة وجد تطابق تام على الاغلب مع خط الخواص القياسي وحساب جهد البلازما إذ وجد أن هذا الجهد يتأثر وبشكل غير منتظم مع تغير المجال المغناطيسي نتيجة لوجود شذوذ مكاني وزماني في التفريغ الراديوي السعوي وذلك لوجود انحدارات متعددة الجهد داخل البلازما كنتيجة لتوليد فضاءات شحنة متعددة داخلها بالإضافة إلى تأثيرات مباشرة أخرى لهذا المجال على تصرف البلازما كقدرة الموجة الراديوية الساقطة وتغير الضغط داخل حجرة التفريغ اما دالة التوزيع الطاقي المحتسبة في هذه الدراسة فقد كانت غير ماكسويلية وتتطابق على الاغلب مع دالة فيرمي.

المصادر العربية

الجوادي، ياسر عبد الجواد (2009). "معلمات البلازما في التفريغ بالتردد الراديوي 13.56MHz". أطروحة دكتورا، كلية العلوم، قسم الفيزياء، جامعة الموصل، العراق.

الراشدي، ورقاء عمر عبد فارس (2008). "دراسة معلمات التفريغ التوهجي المستمر للهواء الجاف خلف القطب السالب بأستخدام مجس لانكمور المزدوج". رسالة ماجستير، كلية العلوم، قسم الفيزياء، جامعة الموصل، العراق.

الساعور، هبة أفرام (2011). "دراسة معلمات البلازما للهواء باستخدام تقنية المجس المنفرد لمنظومة التفريغ التوهجي السعوي عند التردد (13.56MHz)". رسالة ماجستير، كلية العلوم، قسم الفيزياء، جامعة الموصل، العراق.

الشيخاني، دلشاد صالح اسماعيل (2005). "تصميم واستخدام قطب جديد لدراسة التوزيع القطري لمعلمات بلازما التفريغ التوهجي". رسالة ماجستير، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة الموصل، العراق.

عبدالله، نبهان عبد الكريم حمدون(2006)." دراسة دالة التوزيع الطاقي للالكترونات في منطقة هبوط الأنود لبلازما التفريغ الكهربائي للهواء باستخدام المجس المنفرد وبطريقة قياس معامل التشوه". أطروحة دكتوراه، كلية العلوم، قسم الفيزياء، جامعة الموصل، العراق.

عزوز، عاصم عبد الكريم وعبدالله رحمن رستم (1991). "فيزياء البلازما". مديرية دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، العراق.

علي، زياد طارق (2010). " تأثير المجال المغناطيسي على معلمات التفريغ التوهجي الحثي باستخدام الموجات الراديوية 13.56MHz". رسالة ماجستير، كلية العلوم، قسم الفيزياء جامعة الموصل، العراق.

علي، يحيى عبد الحميد (1977). الكهربائية والمغناطيسية، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، العراق.

المصادر الأجنبية

Aflori, M.; Sullivan, J. (2005). Langmuir probe measurements in an A transverse asymmetrical RF discharge. *Romanian Reports in Physics*, **57** (1), 71-77.

Al-Rawachy, H.; Al-Sahoor, H. (2013). Investigation of the electron energy distrebution function in capacitively coupled (13.56 MHz) Radio Frequency Discharge in dry Air. *Rafiden J. Sci.*, **24** (6), 82-95.

Andrei, H.; Covlea,V.; Baran, E. (2003). The smoothing and the digital processing of Langmuir probe characteristic. *Romanian report in physics.*, **55** (2), (51-56).

Azooz, A.A. (2008). Four free parameter empirical parameterization of glow discharge for probe data. *Review Sci. Instruments*,79,103501.

Azooz. A. A. (2005). Parameterization of electron energy distribution function in glow discharge plasma under RF electromagnetic fields. ISSN 1330-0008 *Codenfizae* 4, **13** (4), (151-160).

Balcon, N.; Aanesland, A.; Boswell, R. (2007). Pulsed RF discharge glow and filamentary mode at atmospheric pressure in argon. *Plasma Sources Sci. Technol.* **16**, (217-225).

Barnat, E.; Miller. P.; Paterson. A. (2008). RF discharge under the influence of a transverse magnetic field. *Plasma Sources Sci*. Technol, (**17**), 11.

Bogaerts, A.,(1999). The glow discharge: an exciting plasma. *J. Analytical Atomic Spectr.*, (**14**). 1375-1384.

Bricha E.C.I.; Graham W.G.; Morrow T.; Steen P.G.; Thompson C.E. (2003). Analysis Procedure for Calculation of Electron Energy Distribution Functions from Incoherent Thompson Scattering Spectra. *J. Appl. Phys*., **94**(1),110-114.

Champman, B. (1980). "Glow Discharge Processes". *Wiley, Sons.*

Chen, Z.; Donnelly, V.M.; Economou, D.J. (2009). Measurement of electron temperatures and electron energy distribution functions in dual frequency capacitively coupled CF_4/O_2 Plasmas using trace rare gases optical emission spectroscopy. *J. Vac. Sci. Technol*. A27 (**5**), (1159-1165).

Conrads, H.; Schmidt, M. (2000). Plasma Generation and Sources. *Plasma Sources Sci. Technol*, **9**, (4), 441-454.

Curley, G.A. (2008). The dynamics of the charged particles in a dual frequency capacitively coupled dielectric etch reactor. Ph.D. Thesis, Polytechnique college, Germany.

Godyak, V.A. (2006). Nonequilibrium EEDF in Gas Discharge Langmuir probe data. *Review Sci. Instruments*. **79**, 103501.

Holt, E.H.; Haskell, R.E. (1965). "Foundation of Plasma Dynamics". MacMillan, New York, USA.

Homfray, D.; Crowley, B. (2007). A noval System for the direct measurement of the electron energy distribution function by Langmuir probe in ion sources. *ELSEVIER*, **82**, 829-835.

Hopkins, M.B. (1995). Langmuir probe measurements in the gaseous electronics conference RF reference cell. *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol*., **100**(4), 415-425.

Howston, A.M. (1976). "An Introduction of Glow Discharge". Pergaman Press Oxford, 2nd ed.

Lazovic, S.; Puac, N.; Petrovic, Z.Lj. (2009). Langmuir probe measurements of large scale RF asymmetric capacitive coupled plasma. Cancun, Mexico, 29th ICPIG, July. pp.12-17.

Norstrom, H. (1979). Experimental and design information for the calculation impedance matching networks for use in sputtering and plasma chemistry. *Vacuum*, **29**(10), 314-3.

Raizar, L. (1991)." Gas Discharge Physics". Speinger (Germany), ISEN 0-387-1942-2.

Santos M.F.S.; Massi M.; Petraconi G. (2003). Automaco De Um Sistema De Sonda De Langmuir Para Caracterizaco De Plasmas. Dept.de Fisica, Inst. Tec. de Aeronutica, Brasil, E-mail: Milton@h8.ita.br ؛ massi @ita.br؛ gilberto@ ita.br

Shaer, M.; Soliman, A.; Massoud, A.; Mobasher, M.; Wuttmann, M. (2007). Comouterized Langmuir probe measurements in a capacitively coupled RF discharge. 28th ICPIG, July. pp.15-20, Prague, Czech Republic.

Shon, C.H.; Lee, J.K.; Lee, H.J.; Yang, Y.; Chung, T.H. (1998). Velocity distributions in magnetron sputter. *IEEE Transactions on Plasma Sci.*, **26**(6), 1635-1644.

Sijacac, D.D.; Ebert, U. (2002). Transition from townsend to glow discharge: subcritical, mixed, or supercritical characteristics**.** *Phy. Review.*, E(66), 066410-1- 066410-12.

Soberon, F.; Faulkner, R.; Ellingboe, A. (2003). Plasma diffusion into a picket- fece magnetic field in ARIS (applied radio-frequency Inductive Source). *(Applied Radio Frequency Inductive Source)*, Supported by Association Euration DCU Contract, No. ERB, 5004C, 960011.

Turner, M.M. (1993). Collisionless electron heating in an inductively coupled discharge. *Phys. Rev. Lett.*, **71**,1844-1847.