مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (32) العدد (1) 2010
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (32) No. (1) 2010

# تأثير عمليات إعادة اتحاد الالكترونات مع الايونات الموجبة على التوزع الحراري في وسط بلازمي تدرجه الحراري سالب

**الدكتور غياث ابراهيم ياسين***

**(تاريخ الإيداع 3 / 11 / 2009. قُبِل للنشر في 2 / 2 /2010)**

## □ ملخّص □

يهدف البحث الراهن إلى دراسة تأثير عمليات إعادة اتحاد الإلكترونات مع الايونات الموجبة، على التوزع الحراري في الوسط البلازمي . حيث تبين أنّ تأثيرها يكون فعّالاً في الوسط البلازمي الذي تدرجه الحراري سالب. وهذا يعود إلى انزياح التوازن التايني عند انخفاض درجه حرارة الوسط البلازمي . أيضاً تبين أن المفعول الحراري يتناقص عند انخفاض درجة الحرارة بسبب تابعيته الاسيه لها .

**الكلمات المفتاحية:** إعادة الاتحاد _ التوزع الحراري _ وسط بلازمي _ التدرج الحراري.

* مدرس – قسم الفيزياء – كلية العلوم – جامعه تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (32) العدد (1) 2010
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (32) No. (1) 2010

# Influence of the Recombination Processes on Temperature Profile at Plasmas Environment with Negative Gradient Temperature

**Dr. Ghyas Yassin***

**(Received 3 / 11 / 2009. Accepted 2 / 2 /2010)**

## □ ABSTRACT □

The aim of the present work is to study the influence of recombination processes on temperature profile at plasmas environment with negative gradient temperature. It is shown that the recombination processes gives rise to new effects such as displacement of the ionization equilibrium, when the temperature is decreasing. Also we found that the thermal effect is decreasing because exponentional functional dependence for temperature.

**Key Words:** Recombination – temperature profile – plasmas environment – gradient temperature

*Associate prof, department of physics, faculty of sciences, Tishreen University, Lattkai, Syria.

## مقدمة:

عند دراسة التيارات الحرارية الناتجة عن البلازما ذات درجات الحرارة المنخفضة (الباردة)سواء في القنوات أو في الأماكن المفتوحة ، يؤخذ بالحسبان تناقص درجة حرارة الوسط ابتداء من المركز باتجاه الأطراف الناتج عن انتقال الطاقة الحرارية بالأشكال الآتية: الناقلية الحرارية للوسط ، الإشعاع ، النقل بوساطة تيارات الحمل.

مثل هذه العمليات تحدث في البلازما الناتجة عن المشاعل التي تعمل على حرق الغاز ومساحيق المعادن وأكاسيدها (بلازما نواتج الاحتراق) كما في[3-1] ، وفي القوس الكهربائية [4,5] ، أو المولد المغنيا-هيدروديناميكي[6] وفي حالات أخرى.

إن المشاعل التي تعمل على حرق الغاز ومساحيق المعادن وأكاسيدها أو القوس الكهربائية تعطي درجات حرارة بحدود( 2-6)× $10^3$ كيلفن ، ولهذا فإنّ ذرات الطور الغازي تكون في أغلبها مؤينه .

إن التوزع الحراري للهب الناتج عن المشعل يبقى ثابتاً، وهذا يعود إلى مصادر الطاقة الداخلية الثابتة ودرجه الحرارة الثابتة للوسط المحيط . وهكذا فإنّه عند حساب درجه حرارة المقطع للشعلة، فإنّنا نأخذ بعين الاعتبار ضياع الطاقة الحرارية الناتج عن الناقلية الحرارية للوسط،الإشعاع،التيارات الحرارية (تيارات الحمل) كما ذكرنا سابقا. إضافة إلى ذلك فإنه عند تأين ذرات الطور الغازي تصرف طاقه محددة مساوية إلى طاقه تاين الذرة . ومن دون شك فإن عمليه إعادة اتحاد الإلكترونات مع الإيونات الموجبة (العملية المعاكسة لعمليه التأين) تؤدي إلى إصدار (تحرير) طاقه في الوسط البلازمي. هذه العمليات تستطيع إن تلعب دوراً مهماً في توزع حرارة الوسط.

إن عمليات التاين وإعادة الاتحاد في الحقيقة مشابهة لعمليه تكاثف وتبخر القطرة،والتي عندها يتم إصدار أو امتصاص طاقه حراريه . وكما هو مبين في[7]فإن تكاثف البخار في لهب المشعل يؤثر بشكل ملموس على التوزع الحراري له.

توصف عمليات التأين و إعادة الاتحاد في الوسط البلازمي المتوازن بوساطة معادله ساخ التي تنص على أنّه من أجل زيادة نسبه الذرات المتأينه في الوسط. يجب صرف طاقه ،أي يجب زيادة درجة حرارة الوسط. وبالتالي عند انخفاض درجه حرارة الوسط فإنّ التوازن التايني ينزاح ،أي يحدث انخفاض في مستوى التأين بسبب عمليات إعادة الاتحاد . من الطبيعي أنه في حالة إعادة الاتحاد سوف تتحرر في الوسط طاقه مساوية لطاقه تأين الذرة ومن الضروري أخذ هذه الطاقة بعين الاعتبار في معادله التوازن الحراري .

## أهمية البحث وأهدافه:

ترجع أهميه هذا البحث إلى تسليطه الضوء على المفاعيل الحرارية الناتجة عن عمليتي تأين الذرات ، وإعادة اتحاد الإلكترونات مع الايونات الموجبة (recombination) في الوسط البلازمي المتوازن ، وتأثيرها على التوزع الحراري لهذا الوسط . وبما أن المراجع العلمية لا تحوي سوى العمل [7] الذي تمت فيه دراسة تأثير عمليات التكاثف على التوزع الحراري للوسط البلازمي ، فإنّ العمل الحالي يهدف إلى إيجاد نموذج فيزيائي- رياضي للتوازن الحراري للوسط البلازمي المكشوف الذي تدرجه الحراري سالب مع الأخذ بعين الاعتبار عمليات إعادة الاتحاد .

## طرائق البحث ومواده:

ندرس في هذا البحث تأثير عمليات إعادة الاتحاد على شكل التوزع الحراري في الوسط البلازمي، و ذلك من خلال إيجاد صيغة رياضية لكيفية انتقال الحرارة في لهب الأشعة ، بفرض أن الشعلة جملة مستقرة . و لهذا اكتفينا بدراسة الحالات المستقرة للناقلية الحرارية الموصوفة بمعادلة ( 1 ) التي تم حلها بالطريقة التحليلية وأيضاً بطريقة التكاملات العددية .

## النتائج والمناقشة:

لنفترض بأن الحزمة البلازمية المستقرة ذات الحرارة المنخفضة ( 〉10000k) تملك منبع داخلي للطاقة وينتشر في الوسط بدرجة حرارة ثابتة . وأن تأين الذرات يحدث بسبب الضربات الالكترونية (القذف بالالكترونات) أما في حالة إعادة الاتحاد مع أيون موجب ، فإن الطاقة الناتجة تتحول في معظمها إلى طاقه حرارية نتيجة لتصادم الذرة المهيجة مع ذرة أخرى أو مع جزيء ما . وهذا يمكن إن يتم عند ضغط جوي نظامي أو عند ضغط عالٍ.

لنكتب المعادة المستقرة للناقلية الحرارية بوجود منابع داخليه للطاقة ممثله بعمليات إعادة اتحاد الإلكترونات مع الأيونات الموجبة . عندها ممكن إن نفترض بأن منبع الطاقة الداخلية الدائم للشعلة يؤمن فقط استقرار درجة حرارة القسم الداخلي المركزي لها . ولذلك فإن المنطقة التي تبدأ بالتبرد سوف تحوي على منابع للطاقة ناتجة عن عمليات إعادة الاتحاد وموزعه بشكل منتظم في الوسط البلازمي . ومن الواضح أن كثافة هذه المنابع تحدد بشدة عمليات إعادة الاتحاد وتتعلق أيضا بدرجه حرارة الوسط البلازمي (تركيز الذرات ، وطاقة التاين).

وهكذا فان معادلة الناقلية الحرارية ممكن أن تكتب بالشكل التالي:

$$\lambda \cdot \Delta T = -Q_r \frac{dn_e}{dt} + Q_i \qquad (1)$$

حيث $\lambda$ – (معامل) ثابت الناقلية الحرارية ، T– درجة الحرارة ، Qr – المفعول الحراري الناتج عن عملية إعادة الاتحاد ، $n_e$ – القيمة الوسطى لتركيز الالكترونات التي تساوي القيمة الوسطى لتركيز الأيونات الموجبة،في حال حدوث التأين مرة واحدة ، Qi – منابع أخرى( محتمله) ممكنه.

ومن أجل إيجاد شدة الإصدار الحراري بنتيجة عمليات إعادة الاتحاد ، لا بد من تحديد أشكال هذه التوابع ، التي تدخل كمنابع في عملية الناقلية الحرارية. ولنعرف مستوى (سوية) تأين الوسط $\alpha$، بأنه النسبة بين كثافة الالكترونات $n_e$ ، وكثافة كل ذرات الجملة n ، مع الفرض بأنه الذرة تتأين مرة واحدة عند درجات حرارة معتدلة(<10000k)

$$\alpha = \frac{n_e}{n} \qquad (2)$$

وكما هو معلوم من معادلة ساخ فان مستوى التأين هو تابع لدرجة الحرارة وباستخدام معادلة ساخ نجد:

$$\alpha = \frac{1}{n}\sqrt{\frac{g_e g_i}{g_a} n\left(2\pi m_e KT \big/ h^2\right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(-I \big/ KT\right)} \qquad (3)$$

حيث I – طاقة تأين الذرة ، $m_e$ – كتلة الإلكترون ،$g_a$,$g_i$ ,$g_a$ – الوزن الإحصائي بالترتيب للالكترون، للايون، للذرة.

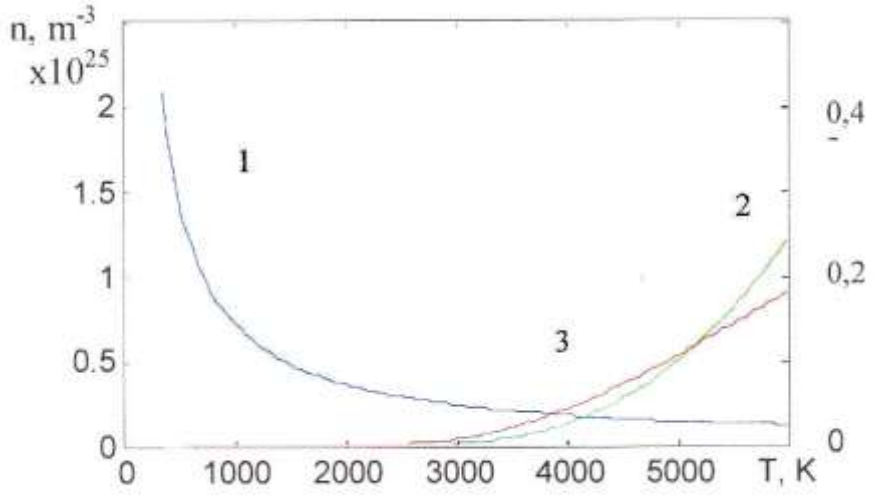
بما أن لهب المشعل الذي يعمل بوساطة احتراق الغاز ومسحوق الحديد حيث تكون شدة عمليات التأين وإعادة الاتحاد في أشدها ، يحوي في الأساس على أبخرة الحديد ، وبما أن جهد تأين ذراته اقل بكثير بالمقارنة مع الآزوت والأكسجين وجزيئات الهواء الأخرى ، فإننا نستطيع أن نعدّ بأن تركيز الإلكترونات في الوسط يتشكل بنتيجة تأين ذرات الحديد . وبشكل مشابه يحدث في الشعلة الناتجة عن القوس الكهربائية، حيث يكون الطور الغازي حاوياً في الأساس على ذرات الحديد ،نستطيع الحصول على العلاقة المعبرة عن تركيز الإلكترونات بشكل مباشر من المعادلتين(2)،(3)

$$n_e = \alpha n \qquad (4)$$

وبدوره فإن تركيز ذرات الحديد عند ضغط جوي قدره (1) واحد ضغط جوي هو تابع لدرجة الحرارة

حيث p – هو ضغط الوسط $$n = \frac{p}{KT}$$

إن الشكل (1) يمثل مقارنة لتابعية هذه التوابع لدرجة الحرارة . حيث تم حساب تابعية تركيز الذرات المنحني(1) ، وتابعية تركيز الإلكترونات المنحني(2) ، لدرجات الحرارة وفقاً للمعادلتين (3,4)وأيضا التابعية الحرارية لمشتق تركيز الإلكترونات بالنسبة إلى الحرارة المنحني (3)




**الشكل (1) . المنحنيات (1)،(2) يمثلان التابعية الحرارية لتركيز الذرات غير المؤينة والالكترونات على الترتيب أما المنحني (3) فيمثل مشتق تركيز الالكترونات بالنسبة للحرارة .**

من الرسم نجد أنه عند زيادة درجة الحرارة يزداد تركيز الإلكترونات بشكل ملموس بغض النظر عن تناقص عدد الذرات في واحدة الحجم من جراء ذلك . وهذا ما يوضح زيادة احتمال انتقال الإلكترون إلى الحالة الحرة عند زيادة درجة الحرارة في حالة التوازن الترموديناميكي العام بين عمليات التاين وعمليات إعادة الاتحاد .

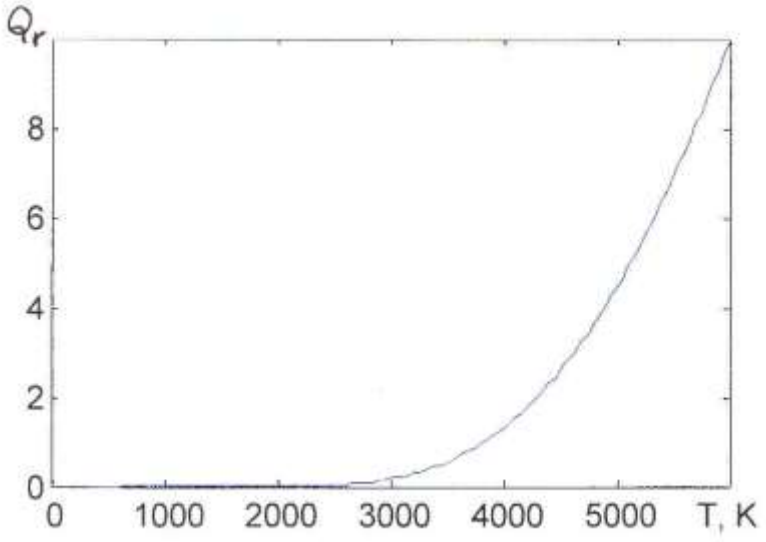
وهكذا فإن مستوى تاين ذرات الوسط يزداد بشدة أكثر بزيادة تركيز الإلكترونات (وذلك بسبب نقصان كثافة الوسط بالكامل) .

وبالتالي عند حدوث كل عملية إعادة اتحاد تحدث عملية اصطدام غير مرنة لجسيمتين الكترون–ايون ، حيث يعطي الإلكترون طاقته الحركية للذرة التي تتحول بدورها إلى طاقة حرارية . ولهذا يجب أن نستعيض عن السرعة النسبية بالسرعة الحرارية للايون .

وبما أنّ القسم الحراري للطاقة هو جزء أساسي من الجملة الجديدة فإنّه يمكننا اعتباره على أنّه المفعول الحراري Qr الناتج عن عمليات إعادة اتحاد الالكترونات مع ايونات الحديد . ونعرف بالاعتماد على ما جاء سابقا علاقة جديدة للشدة الحجمية للإصدار الحراري Q(r) الناتجة عن عمليات إعادة الاتحاد على الشكل الآتي:

$$Q(r) = Q_r \frac{dn_e}{dt} \qquad (5)$$

نتائج دراسة تابعية تابع شدة الإصدار الحراري لدرجة الحرارة عند حدوث عمليات إعادة الاتحاد معروضة في الشكل (2)




**الشكل (2) . التابعية الحرارية لشدة الإصدار الحراري لعمليات إعادة الاتحاد بواحدات نسبيه.**

كما هو واضح من الشكل (2) أنه عند درجات حرارة بحدود 3000k تبدأ بالظهور وبشكل واضح المساهمة الحرارية التي تقدمها عمليات إعادة الاتحاد للجملة . إن العلاقة الغير خطيه لسرعة تشكل الإلكترونات الحرة عند تاين الوسط ، تجعل ارتباط شدة الإصدار الحراري بدرجة الحرارة اكبر بكثير عما هي عليه في الحالة الخطية.

إن المقدار $\frac{dne}{dt}$ في العلاقة (5) يمثل سرعة تشكل الالكترونات وهو تابع تدرج للحرارة

$$\frac{dne}{dt} = \frac{\partial ne}{\partial T}\frac{\partial T}{\partial r}\frac{\partial r}{\partial t} \qquad \textbf{(6)}$$

المشتق الجزئي الأول من المعادلة (6) يمكن الحصول عليه بسهوله باشتقاق المعادلة (3) أما المشتق الثاني من المعادلة نفسها هو عبارة عن تدرج الحرارة الذي يمكن حسابه عن طريق التكامل العددي للمعادلة الأساسية للناقلية الحرارية أما المشتق الثالث فيمثل السرعة الحرارية للايونات

$$\nu = \sqrt{3KT/me} \qquad (7)$$

إن المعادلات السابقة تساعدنا على إيجاد صيغة رياضية لحل مسألة كيفية انتقال الحرارة في لهب المشعل .

عند دراسة هذه المسألة سوف نفترض إن الشعلة جمله مستقرة، ولهذا سوف نكتفي بدراسة الحالات المستقرة للناقلية الحرارية الموصوفة بالمعادلة (1) .

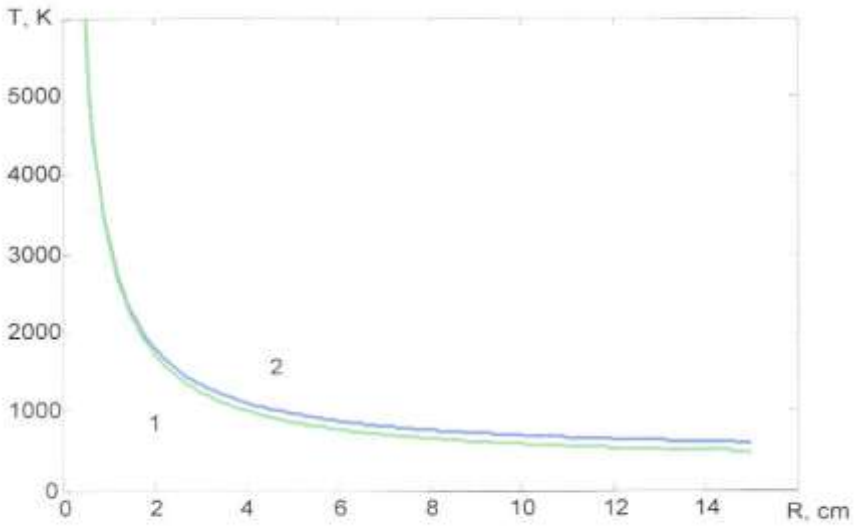
لنحدد الشروط الحدية للمسالة ، نفترض إن قيم درجات الحرارة للوسط ثابتة عند أطراف الجمله . من أجل

$$r = r_0 \Rightarrow T(r_0) = T_0$$

وعلى بعد لا نهائي فإنّ حرارة الوسط البلازمي تساوي حرارة الوسط المحيط ، أي من أجل

$$r = \infty \Rightarrow T(r_\infty) = T_s$$

وبالتالي فإنّ المسالة تبدو كمسالة كوشي التي من الصعب إيجاد حل متقارب ومتوافق لها، ولهذا فإن المعادلة التي هي من الدرجة الثانية آلت إلى جملة معادلتين وتمت مكاملتها بدقه .

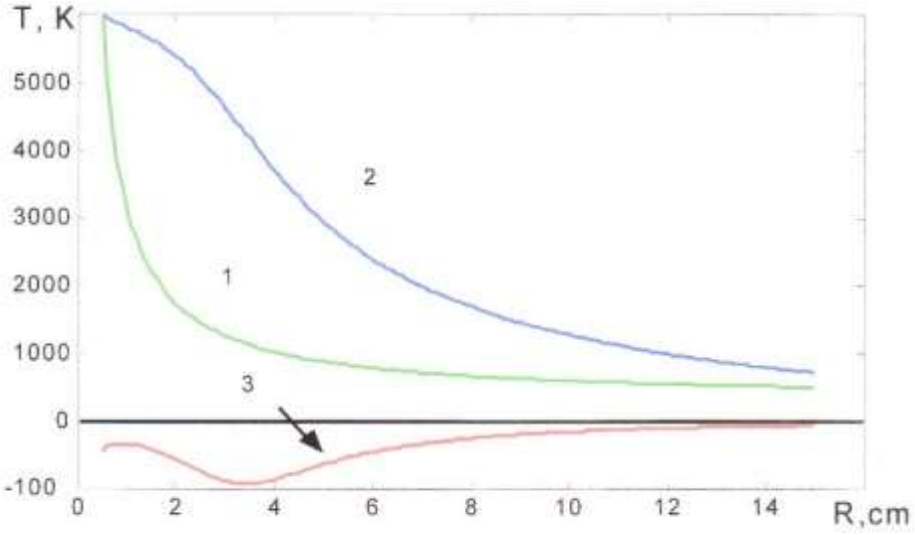



**الشكل (3) المخطط الحراري من اجل الوسط الخامل (المنحني 1 يمثل حل للمعادلة (1) بالطريقة التحليلية ، المنحني2 يمثل حل المعادلة (1) بطريقة التكاملات العددية .**
**لقد تمت الحسابات وفق طريقة ايلير – ونغ**

لقد استخدمت في البداية طريقة التكامل من أجل الوسط الخامل البسيط، ومن ثم تمت مقارنتها مع الحل التحليلي الشكل (3) . إن القسم الأول من معادلة الناقلية من أجل الوسط الخامل يساوي الصفر، ولهذا فإنّ المعادلة تمثل معادلة لابلاس المشهورة التي لها حل تحليلي .

نعرض في الشكل (4) التابعيات الحرارية للاحداثيات القطرية التي تم الحصول عليها وفقاً للحلول التحليلية لمعادلة لابلاس (المنحني1) في جملة الاحداثيات الكروية ، والذي يلعب دور منحني الاختبار المنحني الثاني ينتمي إلى أحد أشكال الحسابات الذي تم وفقاً لطريقة التكاملات العددية (طريقة ايلير).

ومن أجل تبسيط الأمور نأخذ حالة الوسط الغازي الذي يحوي ذرات الحديد المتأينة




**الشكل (4). يمثل مقارنة لتابعية درجات الحرارة للاحداثيات القطريه في أوساط مختلفة (المنحني1– يمثل الوسط الخامل ، المنحني 2– يمثل وسط ذو كثافة عالية لعمليات إعادة الاتحاد ، المنحني3– يمثل التدرج الحراري لوسط فعال بواحدات قياس نسبيه .**

ومن أجل إيضاح السؤال حول تأثير عمليات إعادة الاتحاد على شكل التوزع الحراري ، فإن المسالة حلت بطريقة التكاملات العددية مع الأخذ بعين الاعتبار التوزع المتجانس للمنابع في معادلة بواصون( 1).

إذا ما نظرنا الى النتائج المعروضة في الشكل (4) فإنّه من الواضح تماماً الفرق بين سلوك درجات الحرارة في جوار المنبع في حالة الوسط الخامل، المنحني(1) والوسط الفعال المنحني(2) ، الذي تحدث فيه عمليات إعادة الاتحاد بشكل فعال . التقوس الظاهر على المخطط الحراري المنحني(2) ، يفسر فيزيائياً على أنه توجد منابع حرارية شديدة التي تنتج عن عمليات إعادة اتحاد الإلكترونات مع الإيونات الموجبة . والعامل الذي يؤدي الى إضعاف تأثير هذه المنابع هو نقصان السرعة الحرارية للايونات بنقصان درجة الحرارة ، والنقصان الحاد للغاية في مستوى تأين الوسط البلازمي ، الذي ينتج كما بينا سابقاً عن انزياح التوازن التأيني . وهذا ينعكس بصورة واضحة ودقيقة على شكل تابعية التدرج الحراري الذي توجد في نهاية صغرى على بعد 3سم من المنبع.

لقد بينت الدراسات التي أجريت بأن عمليات إعادة الاتحاد ممكن أن تؤثر بشكل فعال على التوزع الحراري في الوسط البلازمي الذي تدرجه الحراري سالب، وهذا مشروط بانزياح التوازن التايني عند انخفاض درجات حرارة الوسط البلازمي ، زد على ذلك فإن المفعول الحراري ينخفض عند درجات حرارة منخفضة بسبب التابعية الاسية لدرجة الحرارة .

**الاستنتاجات والتوصيات:**

بالاعتماد على الدراسة السابقة نستطيع إن نخرج بالنتائج الآتية:

1- عند زيادة درجة الحرارة (وبغض النظر عن تناقص عدد الذرات في واحدة الحجم ) يزداد تركيز الإلكترونات بشكل ملموس وهذا يؤدي بدوره إلى زيادة احتمال انتقال الالكترون إلى الحالة الحرة، وذلك في حالة التوازن الديناميكي العام بين عمليات التأين وعمليات إعادة الاتحاد في الوسط البلازمي .

2- إن الزيادة في تركيز الإلكترونات تقابلها زيادة في سوية تأين الوسط .

3- عند درجات حرارة أكبر من 3000k يبدأ بالظهور وبشكل واضح الأثر الحراري الناتج عن عمليات إعادة الاتحاد .

4- إن العلاقة غير الخطية لسرعة تشكل الإلكترونات الحرة عند تأين الوسط تجعل ارتباط شدة الإصدار الحراري لدرجة الحرارة اكبر مما هي عليه في الحالة الخطية .

5- إن تناقص السرعة الحرارية للايونات عند انخفاض درجة الحرارة ، والانخفاض الحاد في مستوى تاين الوسط البلازمي ينتج عن انزياح التوازن التأيني .

6- تؤثر عمليات إعادة اتحاد الالكترونات مع الإيونات الموجبة بشكل فعال على التوزع الحراري في الوسط البلازمي الذي تدرجه الحراري سالب ، ويتناقص المفعول الحراري الناتج عنها (عند درجات حرارة منخفضة) بسبب تابعيته الاسية لدرجة الحرارة .

**المراجع:**


1- VISHNYAKOV,V.I. ;DRAGAN, G.S. *Thermoemission plasmas:theory of neutralizing charges.*phys.rev, U.S.A.,E76.N.036402.2006,1-5.

2- ENNAN, A.A.; DRAGAN, G.S. *Smokyplasma in the ark welding technology.dusty plasmas in application,*2nd intern.confer,Odeesa,Ukraine,2007,35-37.

*3*-AGEEV,N.D.; KIRO,S.A. ; KOSTISHIN,Y.N. *Challenge in propellants and combustion 100 years nobel.*physics of combustion and explosionRUS,V.32,1996,24-34.

4-ENNAN ,A.A.;DRAGAN,G.S. *Dustyplasmas in applications,*2nd intern, Confer, Odessa, Ukraina,2007,168.

5−VISHNYAKOV,V.I. *phy. Plasmas.Nauka,*RUS,2006,478

6-DRAGAN, G.S. ; ENNAN A.A., KIRO, S.A. ; OPRAY,M.V.; BOBRESHOV,I.A. *Physical and chemical properties of arc welding aerosol.dusty plasmas in application* 2nd intern. Confer, Odessa, Ukraina, 2007,30-33.

7- DIPUTATOV A. L. ; FILINOV V. V. ; FORTOV, A. V. *Collective phenomena in nuclear induced dusty plasmas and its technological aspects intern* , conf, plasmaphys and plasma technol Minsk, 2003,163-185.