جمهورية العراق
وزاره التعليم العالي والبحث العلمي
جامعه بابل - كليه التربية للعلوم الصرفة
قسم الفيزياء – الدراسة الصباحية

البلازما و الطاقة النظيفة

تقدم به الطالب

حسين عودة لهواك

بحث تخرج مقدم الى مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة – جامعة بابل
وهو جزء من متطلبات نيل شهاده البكالوريوس في قسم الفيزياء

بأشراف

ا.م.د صبا رزاق سلمان

٢٠٢٣م ١٤٤٤ ه

بسم اللّة آلرحمن الرحيم

(قُلْ هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ إِنَّمَا يَتَذَكَّرُ أُولُو الْأَلْبَابِ)،

صدق الله العلي العظيم

«سورة الزمر: الآية 9».

الإهداء

إلى القلب الذي يفيض حباً وحنانا.. والدتي

إلى منبع الصبر والعطاء.. والدي

إلى الزهور التي تفوح عطراً وأملاً.. اخوتي واخواتي

أهدي ثمرة جهدي المتواضع

إلى من أنارا إلي طريق العلم وعمداه بالمحبة والتفاني والإخلاص والدي ووالدتي مع محبتي.....

إلى أشقائي وشقيقتي ... متمنيا لهم التوفيق والنجاح في حياتهم

إلى كل من أحببته وأحبني.

الشكر والتقدير

أقدم لكم أجمل عبارات الشكر والامتنان من قلب فاض بالمحبة والمودة والاحترام والتقدير لكم الأساتذة الكرام .

تعجز حروفي أن تكتب لك كل ما حاولت ذلك، ولا أجد في قلبي ما أحمله لك إلا الحب والعرفان والشكر على ما قدمت لي (والدتي العزيزه)

كلمة شكر وامتنان، إلى صاحب القلب الطيّب، إلى صاحب النّفس الأبيّة، إلى صاحب الابتسامة الفريدة، إلى من حارب وساهم بالكثير مِن أجلي (والدي العزيز)

قائمه المحتويات

الفصل الأول ---------- ١

مقدمه ---------- ٢

تعريف البلازما ---------- ٣
تصنيف البلازما ---------- ٤
توليد البلازما ---------- ٤
خصائص البلازما ---------- ٥
اهميه دراسة البلازما ---------- ٩
انوع البلازما ---------- ٩
الفصل الثاني ---------- ١١
تطبيقات البلازما ---------- ١٢
بلازما الفضاء ---------- ١٣
جهاز الدفع الصاروخي بالبلازما ---------- ١٣
صناعة الدوائر الإلكترونية المتكاملة ---------- ١٤
المحافظة على النظام البيئي ---------- ١٥
تحويل النفايات إلى طاقة نظيفة اعتمادا على البلازما ---------- ١٦
الفوائد المستقبلة المرجوة من حالة البلازما ---------- ١٧
المصادر ---------- ١٨

الفصل الأول

مقدمة عامة

١.١. مقدمة

نظراً لاكتشاف العلماء للبلازما منذ وقت ليس بالقريب حيث يعود ذلك إلى عام ١٨٧٩م، عندما أطلق عليها السير وليام كروس (Sir William Crookes) المادة المتوهجة، فقد فسرت طبيعة هذه المادة من قبل الفيزيائي البريطاني جي جي نومسن (Thomson-1-1) في عام ١٨٩٧م، وسميت من قبل ارفنج لانجمویر في عام ١٩٢٨م بالبلازما وربما أطلق عليها هذه التسمية لاحتوائها على شحنات متوازنة من الأيونات الموجبة والإلكترونات تشبيهاً ببلازما الدم وبالرغم من أن البلازما تشكل ٩٩% من الكون إلا أن تطبيقاتها العملية لم تظهر إلا في وقت متأخر يعود إلى ستينات القرن الماضي، عندما صنعت شاشات البلازما في جامعة الينويز الأمريكية، ثم توالت استخداماتها في مجالات أخرى، وقد شملت مقصات البلازما وصناعة الدوائر الالكترونية وصواريخ البلازما وغيرها. إن معظم المواد في الطبيعة توجد في ثلاث حالات هي الحالة الصلبة والحالة السائلة والحالة الغازية، ويمكن تحويل المادة من حالة إلى أخرى إما بتغير درجات الحرارة أو الضغط، وفي كل هذه الحالات تكون ذرات المادة محتفظة بإلكتروناتها ومرتبطة بها بقوى تجاذب كهربائي، ولكن هناك حالة رابعة للمادة تكون على صورة غاز، هذا الغاز يحتوي على خليط من أعداد متساوية من الأيونات موجبة الشحنة والإلكترونات سالبة الشحنة ويسمى هذا الغاز بالغاز المتأين أو البلازما "Plama". إن أهم خواص البلازما هي أنها متعادلة كهربائياً. وموجودة في كل تفريخ كهربائي للغازات وفي اللهب الناتج عن عمليات احتراق الوقود، مثلاً في لهب الشمعة وفي الأقواس الكهربائية والغازات المنبعثة من عوادم المحركات الانفجارية أو الصواريخ، وفي المصابيح المضيئة وغيرها.(**بثينة عبد المنعم ابراهيم -٢٠١٩-١٤٥**).

بدأ ازدهار فيزياء البلازما منذ عام ١٩٥٠ عندما برزت مسألة من أكثر مسائل الفيزياء المعاصرة جذباً وتعقيداً، وهي تفاعل الاندماج النووي الحراري الذي أعطت بحوثه دفعة عظيمة للبحوث النظرية والتجريبية وللتقنيات. وقد برزت صعوبات عدة، ذلك لأن هذا الاندماج النووي يستدعي الحصول على بلازما كثيفة وحارة جداً لابد من احتباسها وحصرها كما لابد من مراقبة الاندماج والسيطرة عليه. تعد البلازما أكثر الحالات انتشاراً في الطبيعة فأكثر من ٩٠% من مادة الكون في حالة البلازما كماد في النجوم، ولاسيما الشمس التي تتألف من غازات متأينة في درجات حرارة عالية جداً، كما توجد البلازما في أجواء الكواكب السيارة planetes وفي أجواء الأرض العليا كالغلاف المتأين ionosphere، حيث يعود التأين إلى جسيمات سريعة جداً يشع بعضها من الشمس. وتوجد البلازما كذلك فيما بين الكواكب السيارة وما بين النجوم. أما على سطح الأرض فمن النادر أن توجد البلازما في الشروط الطبيعية الأرضية ولكنها توجد في اللهب وفي الانفجارات وموجات الصدم، إذ يحدث التأين بارتفاع درجة الحرارة، كما هو الأمر في مصابيح الإضاءة المتفلورة وفي الأقواس الكهربائية والبرق الجوي، وتعمل الحقول الكهربائية على تسريع الإلكترونات التي تؤين الجزيْئات باصطداماتها. وقد توجد البلازما أيضاً في الإلكترونيات والأجسام الصلبة من المعادن وأنصاف النواقل[ر].

أما في المختبر فقد ازداد استعمالها أكثر فأكثر في الإلكترونيات وتقانتها بسبب خواصها. فهي مثلاً تستخدم في تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية في مولدات تحريك الموائع المغنطيسي Magnetohydrodynamic generators وفي الدفع الأيوني في المحركات النفاثة، ومن أهم تطبيقاتها تحقيق مفاعل الاندماج النووي الحراري المسيطر عليه، وذلك بتحقيق بلازما من

الديتريوم deuterium أو من خليط من الديتريوم والتريتيوم [ر: الهدروجين] ويبين الشكل أنماطاً مختلفة للبلازما وكثافة الإلكترونات كـ أ فيها ودرجة حرارتها د.(**اليأس ابو عسلي -٢٠١٦).**

٢.١.تعريف البلازما

تعرف البلازما بانها حالة وجود شحنات اوتركيز الشحنات السالبة والموجبة لوحدة الحجوم في حالة ومتعادلة كهربائيا

متساوية تقريبا.

Plasma: is a quasineutral gas of charged and neutral partial which exhibit

collective behavior.

وقد توجد البلازما من حيث المفهوم بشكل:

١. غاز متأين

٢. الحالة الصلبة: كما في اشباه الموصلات حيث توجد الشحنات الموجبة المتمثلة بالفجوات

والشحنات السالبة المتمثلة بالإلكترونات الحرة الحركة.

٣. الحالة السائلة: كما في المحلول الالكتروليتي او في ملح منصهر.

ان ابسط الأنواع لدراسة البلازما من الناحيتين العلمية والنظرية هي عندما تكون المادة في الحالة الغازية وذلك لأهميتها الكبيرة والانها تمثل الحالة الأوسع من حالات المادة.(**عصام عبد الكريم -٢٠١٧-٤).**

وفي تعريف اخر تعتبر البلازما هي حالة من المادة حيث يتم تنشيط الطور الغازي إلى أن تصبح الإلكترونات الذرية غير مرتبطة بأي نواة ذرية معينة. تتكون البلازما من أيونات موجبة الشحنة وإلكترونات غير منضمة. يمكن إنتاج البلازما عن طريق تسخين الغاز حتى يتأين أو بتعريضه إلى مجال كهرومغناطيسي قوي.

مصطلح البلازما يأتي من كلمة يونانية تعني جلي أو مادة قابلة للتشكيل .تم عرض الكلمة في العشرينات من قبل الكيميائي إيرفينغ لانجمير.

تعتبر البلازما واحدة من الحالات الأربع الأساسية للمادة ، إلى جانب المواد الصلبة والسوائل والغازات. في حين أن الحالات الثلاث الأخرى للمادة تُصادف عادة في الحياة اليومية ، فإن البلازما نادرة نسبياً**(Ana Mary-2022)**

وتعتبر البلازما هي حالة متميزة من حالات المادة يمكن وصفها بأنها غاز متأين تكون فيه الإلكترونات حرة وغير مرتبطة بالذرة أو بالجزيء. فإذا كانت المادة توجد في الطبيعة في

ثلاث حالات: صلبة وسائلة وغازية، فإنه بالإمكان تصنيف البلازما على أنها الحالة الرابعة التي يمكن أن توجد عليها المادة.

١.٣.تصنيف البلازما

البلازما هي نتيجة تأين الذرات. ولأنه من الممكن أن تتأين كل أو جزء من الذرات ، فهناك درجات مختلفة من التأين. يتم التحكم في مستوى التأين بشكل رئيسي من خلال درجة الحرارة ، حيث زيادة درجة الحرارة تزيد من درجة التأين. المادة التي يمكن أن تظهر ١ ٪ فقط من الجسيمات المؤينة خصائص البلازما ، ولكن لا تكون البلازما(**بهاء حسين صالح-٢٠١٧-٧**). تصنف البلازما وفقا للدرجات الحرارية الى :

١.٣.١.البلازما غير الحرارية (Coldplasma)

هي غالبا ما تكون متأينة جزئيا (ضعيفة التأين) تتراوح درجة حرارتها بين مئات الى عدة الاف من الدرجات المئوية وبطاقة حركية مقدارها (١ eVويطلق عليها اسم التفريغ في الغازات وهي النوع المستخدم في اغلب البحوث العلمية. هي بلازما تامة التأين وتعد الوسط الأساسي التي يمكن ان تحدث فيه تفاعلات الاندماج النووي ومثال عليها بلازما ساخنة توصل اليها الاتحاد السوفيتي سابقا في معجلات التوكماك.

١.٣.٢. البلازما الحرارية (Hot plasma)

هي بلازما تامة التأين وتعد الوسط الأساسي التي يمكن ان تحدث فيه تفاعلات الاندماج النووي ومثال عليها بلازما ساخنة توصل اليها الاتحاد السوفيتي سابقاً في معجلات التوكماك (Tokomok)وتتراوح درجة حرارتها بين مئات الى عدة ملايين من الدرجات الحرارية، وبطاقة حركية بحدود.

١.٤. توليد البلازما (Plasma Generation)

يمكن ان تتولد البلازما بطرق مختلفة، والطريقة الاكثر شيوعاً لتوليد البلازما هي التفريغ الكهربائي في الغازات المتعادلة. ويتم ذلك بتسليط فرق جهد كهربائي عالي بين قطبين على غاز تحت ضغط معين مما يؤدي الى توليد تفريغ كهربائي بين الانود والكاثود في الغاز. كما يمكن انتاج البلازما مختبرياً بواسطة تسخين غاز بضغط أقل من الضغط الجوي الاعتيادي للحد الذي تصبح فيه الطاقة الحركية لجزيئات هذا الغاز كافية لإحداث عملية التأين من خلال عمليات التصادم غير المرن فيما بينها.(**علي صالح -٢٠١٩**).

لكي يتم تحويل الغاز إلى بلازما لابد من انتزاع الإلكترون أو أكثر من ذرات الغاز، وبالتالي تتحول الذرات إلى أيونات موجبة والكترونات وتعرف هذه باسم عملية التأين ويمكن الحصول على عملية التأين بطرق متعددة ومن أهم هذه الطرق:

١-٤-١ التأين بالحرارة

تصبح معظم المواد في حالة تأين، إذا مأتم تسخينها إلى درجة حرارة عالية وهذه العملية تعرف بالتأين الحراري وتعتمد طاقة التأين للذرات على ترتيب العناصر في الجدول الدوري، فمثلاً العناصر الثقيلة نجد من السهل تأينها؛ لأن طاقة الترابط لإلكترونات ذراتها ضعيفة (مثل الصوديوم - الليثيوم - البوتاسيوم - السيزيوم - إلخ)، وغالبا ما تستخدم هذه العناصر في الحصول على البلازما الحرارية في المعامل، أما عن الغازات الخاملة (مثل: الهليوم والديون والأرجون ... إلخ) فنجد أن الكترونات الترابط لها متينة ويصعب اضطرابها، ولكي نحصل على البلازما بالتاين الحراري، فمن الضروري أن تصل درجة الحرارة عشرات الألف من الدرجات؛ فمثلاً في الطبيعة نجد أن النجوم تتكون من بلازما حرارية.

١-٤-٢ التأين بالإشعاع

التأين بالإشعاع يحتل مكانة ذات أهمية في الفيزياء الفلكية، حيث تسبب الأشعة فوق البنفسجية القادمة من النجوم في تأين أبخرة الغازات المحيطة بها والغازات البينية بين النجوم، وتعمل الأشعة الشمسية أيضا على تأين الطبقات الخارجية للغلاف الجوي للأرض. أما عن التأين بالإشعاع في تكنولوجيا البلازما، فإنه ليس ناجحا بدرجة كافية؛ نظرا لعملية الاتحاد بين الإلكترونات. وتكون الأيونات سريعة محققة شرط الاتزان.

١-٤-٣ التأين بالتفريغ الكهربي

يعتبر التأين بالتفريغ الكهربي هو العملية الأكثر شيوعا في مختبرات وتكنولوجيا البلازما أيضا تحدث التلين بالتفريغ الكهربي في الطبيعة، ومثال على ذلك البرق. تفريغ البرق للكهرباء يكون عادة ٣٠٠٠٠ أمبير، ويصل إلى ١٠٠ مليون فولت يصدر منه الضوء وأشعة الراديو وأشعة سينية وحتى أشعة جاما. قد تصل درجة حرارة البلازما بالبرق إلى ٢٨٠٠٠ كالفن وقد تتعدى كثافة الإلكترون ٢٤١٠ / متر، أما التأين بالتفريغ الكهربي في تكنولوجيا.(**جمال جابر مصطفى -٢٠١٢-٢١)**

١.٥. خصائص البلازما

تتميز البلازما بعدة خصائص مما تشمل الأهمية الكبرى في انتشارها بشكل واسع ومن هذه الخصائص:

١-البلازما على الاغلب تكون غير متجانسة (درجة الحرارة التركيز المجال المغناطيسي).

٢- البلازما غالبا ما تكون متباينة الخواص اي ان خواصها تعتمد على الاتجاه.

٣- البلازما مبددة أي أن الطاقة الميكانيكية أو الكهرومغناطيسية ممكن ان تتحول إلى حرارة.

٤- البلازما موصلة للكهربائية حيث يظهر حث فارادي عند تحرك البلازما.

٥- البلازما لزجة أي أن الطاقة الميكانيكية تتبدد الى الحرارة وتظهر طبقات بين اطراف البلازما.

٦- البلازما موصلة للحرارة بحيث يمكن نقل الحرارة من خلال البلازما الى جسم اخر.

٧- البلازما شفافة وغير شفافة للموجات الراديوية اعتمادا على الطول الموجي.(**انتصار هاتو-٢٠١٩-٧**).

١.٥.١. درجة حرارة الغاز

$$< E >= \frac{3}{2}KT$$

في البلازما غالبا ما نتحدث عن درجة حرارة الالكترونات Te حيث ان:

ولكون T و < E >مرتبطين مباشرة لذا يمكن التعبير عن درجة الحرارة T في فيزياء البلازما كمقدار طاقة ووحدتها تعتبر وحدة طاقة. وعادة ما تفهم تحت مفهوم الحرارة KT فمثلاً عندما KT=1eV يكون KT=1.6x10-19 فيكون لدينا:

$$T = \frac{1.6\times10^{-19}}{1.38\times10^{-23}} = 11600K$$

علية

من المفيد ان نشير ان بلازما معينة يمكن ان تمتلك عدة درجات حرارة في نفس الوقت، وغالبا ما تمتلك الالكترونات والايونات توزعين مختلفين لدرجتي حرارة مختلفتين Teو Ti وهذا ممكن لان تكرار تصادمات الايونات فيما بينها او بين الالكترونات فيما بينها، ممكن ان تكون

$$1eV = 11600K$$

اكبرمن تكرار تصادمات الالكترونات والايونات وعندئذ كل نوع من الجزيئات يمكن ان يوجد

في حالة توازن حراري مستقلة عن حالة النوع الاخر. وفي حالة وجود مجال مغناطيسي فانه حتى في النوع الواحد من الجزيئات وليكن الايونات يمكن ان توجد في درجتي حرارة مختلفتين وذلك لاختلاف اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة عليها.(**عصام عبد الكريم -٢٠١٩-١٠**).

٢.٥.١. الخصائص الكهربائية

إلى حد ما يشبه البلازما الغازات من حيث أنه يأخذ شكل و حجم الوعاء الذي تحتويه . ومع ذلك ، فإن البلازما ليست خالية من الغاز لأن جزيئاتها مشحونة كهربائيا. فالشحنات المختلفة في الشحنة يجذب بعضها البعض ، مما يؤدي في كثير من الأحيان إلى الحفاظ على شكل أو تدفق عام للبلازما. كما تعني الجسيمات المشحونة أيضًا أن البلازما قد تتشكل أو يتم احتوائها من خلال الحقول المغناطيسية و الكهربائية ، كما ، البلازما عادة ما توجد عند ضغوط أقل بكثير من الغازات. اذا تكون البلازما موصلة جيدة للكهرباء.(**اكرم امير العلي - ٢٠٢٠**).

يعتبر وصف البلازما بأنها وسط متعادل من الجسيمات سالبة وموجبة الشحنة، وصفا ضعيفا تعوزه الدقة وذلك لأن تعريف البلازما لابد أن يتضمن ثلاثة معايير مما يعطي دقة أكثر، وهذه المعايير هي:

*تقارب البلازما

*حجم التفاعلات في البلازما

*تردد البلازما

٣.٥.١. طول البلازما

من السلوكيات الأساسية للبلازما هو قابليتها على الغاء اي جهد كهربائي يطبق عليها وتحصره في منطقة صغيرة تسمى طول ديباي ويمكن تعريفة بأنه معدل المسافة التي يقع فيها تأثير المجال الكهربائي لجسيم مشحون ، وهذا يعني ان الجسيمات المشحونة تترتب بحيث تلغي اي مجال كهروستاتيكي خارجي ضمن مسافة تعادل طول ديباي . (**رعد عزاوي - ١٢-٢٠٢٠**)

يعتبر طول ديباي من أهم البارامترات الفيزيقية لوصف البلازما؛ فهو يحقق المسافة، التي يشعر عندها الجسيم المشحون الفردي بتأثير المجال الكهربي للجسيمات المشحونة الأخرى داخل البلازما، وهذه الجسيمات تقوم بترتيب نفسها لحجب الجهد الكهروستاتيكي، في حدود مسافة تعرف باسم طول ديباي ة عند الأسطح الملامسة للبلازما (الجدران) تتكون طبقة، تعرف باسم غشاء البلازما ، وسمك هذه الطبقة في حدود طول ديباي ، وداخل هذه الطبقة تنعدم التعادلية الكهربية الماكروسكوبية، التي هي معيار البلازما. أما البلازما التي وراء هذه الطبقة، فإنها تحقق التعادلية الكهربية ويعطى طول. ديباي بالعلاقة:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T_e}{n_e q_e^2}} \qquad (1.2)$$

حيث:

ε. هي النفاذية خلال الفراغ.

k هو ثابت بولتزمان.

q_e هو مقدار الشحنة الإلكترونية.

T_e درجة حرارة الإلكترونات.

n_e كثافة الإلكترونات

ويمكن حساب λ_D مباشرة من العلاقة:

$$\lambda_D(cm) = 743\sqrt{T_e(ev)/n(cm^{-3})} \qquad (1.3)$$

أو

$$\lambda_D(m) = 69\sqrt{T_e(k^\circ)/n(m^{-3})} \qquad (1.4)$$

من هذه العلاقات يتضح ان طول ديباي يتناسب عكمياً مع كثافة البلازما فكلما زادت الكثافة في التفريغ الكهربي قل طول ديباي، ومثال ذلك: اذا كانت كثافة الإلكترونات ١٠ ودرجة الحرارة T = ١٠٤ نجد طول ديباي ١٠ ر؛ أى أنه صغير جدا، ويبلغ طول ديباي عدة أمتار في البلازما الموجودة بين النجوم. حجم التفاعلات في البلازما حيث إن نصف قطر ديباي Debye صغير بالمقارنة بالحجم الطبيعي للبلازما الموجودة في الكون، وهذا يعنى أن مقدار التفاعلات الحادثة في قلب كتلة البلازما لها أهمية كبيرة عنها على حواف البلازما، أخذين في الاعتبار تأثير ما يحيط بالبلازما من الوسط المحيط بها. المقدار يقيس متوسط عدد الإلكترونات الموجودة داخل كرة ديباي.(**جمال جبار مصطفى -٢٠١٢-٢٤**).

ونصف قطره يسمى طول ديبي داخل، ويعطى بالعلاقة:

$$N_D = \frac{4\pi}{3}\lambda_D^3 n_e \qquad (1.5)$$

أو

$$N_D = 1.38\times10^6 T^{1.5}(k^\circ) n_e^{-0.5}(m^{-3}) \qquad (1.6)$$

١.٦. أهمية دراسة البلازما

لقد تم الاهتمام بحالة المادة الرابعة (البلازما) من قبل العديد من العلماء لأهميتها في الكثير من الدراسات والمجالات وتتضمن اهميتها في عدة اسباب :

١. أن البلازما موصلاً جيداً للتيار الكهربائي ومصدراً للضوء.

٢. أن البلازما هي الحالة الاكثر سعة في عالم منظومتنا الشمسية عند درجات الحرارة العالية.

٣. تعد البلازما نظاماً ديناميكياً تتحكم به القوى الكهرومغناطيسية.

٤. تستخدم البلازما في التطبيقات الصناعية المتعددة.

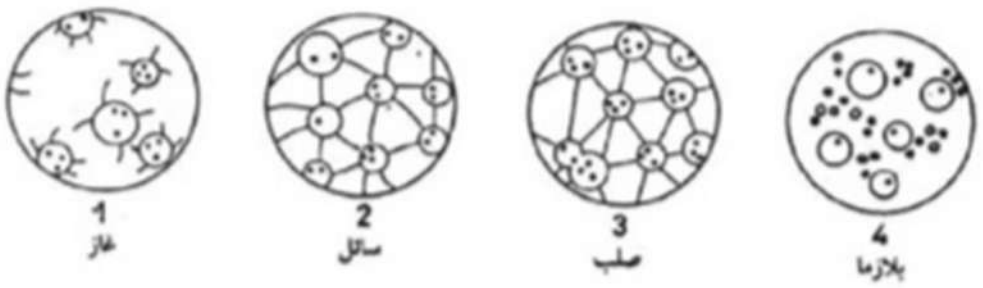
٥. تعالج مشاكل تقنية مهمة مثل المشاكل التي تجابه بناء مفاعلات الاندماج النووي.(**بهاء حسين صالح -٢٠١٩-٦).**

١.٧. أنواع البلازما Plasma

كما عرفنا أن البلازما عبارة عن ذرات متأينة، أي أنها تتألف كلياً أو جزئياً من الجسيمات المشحونة التي تكون في حالة حركة مستمرة مما يؤدي إلى تنافرها وتجاذبها حيث تتحرك بسرعة عالية جداً، مما جعلها تمتلك طاقة حركية كبيرة أدت إلى ارتفاع درجة حرارة البلازما إلى أكبر ما يمكن والتي تفوق درجة حرارة أي شعلة كيميائية.

وتصنف البلازما على أنها بلازما باردة (عندما يتأين جزء قليل مثلاً ١% من ذرات الغاز إذا كانت درجة حرارتها لا تتجاوز مليون درجة مئوية مثل حالة الغاز في مصباح الفلورست وبلازما حارة (عندما نتاين ذرات الغاز تقريباً عند درجات الحرارة الأعلى من ١٠٠ مليون درجة مئوية كما هو الحال في جميع الشمس والنجوم الأخرى المشتعلة. ويلاحظ أن تركيب البلازما يتوقف إلى حد كبير على درجة حرارتها، فإذا انخفضت هذه الدرجة عن حد معين أي) عدم تزويدها بالطاقة اختفت البلازما، وقد وجد أن البلازما تشكل (١٦٩٩) من المادة المكونة

للكون. وللبلازما أمثلة كثيرة في الطبيعة مثل النجوم والشمس والبرق وغيرها، هذه البلازما تكون عند درجات حرارية عالية وكثافة عالية وتتغير هذه الظروف من مكان إلى آخر، فعلى سبيل المثال تبلغ درجة حرارة مركز الشمس عشرة ملايين درجة مئوية، بينما على سطحها تكون درجة الحرارة بحدود سنة آلاف درجة مئوية، ومن هنا فإن البلازما داخل الشمس تختلف تماماً عن خارجها، ويوضح الشكل (١-١) حالات المادة الأربع. (**بثينة عبد المنعم ابراهيم - ٢٠٠٩-١٥٦,١٥٧**)



١.٧.١ البلازما الباردة

تكون فيها الأيونات والجسيمات المتعادلة بدرجة الحرارة نفسها بينما ترتفع درجة حرارة الإلكترونات بشكل أكبر بكثير. ففي البلازما الباردة تتحول معظم الطاقة المجهزة إلى الألكترونات الموجودة في البلازما وبهذا تنتج الكترونات فعالة بدلا من تسخين الغاز ككل؛ ولأن الأيونات والذرات المتعادلة تبقى نسبيا باردة لهذا فأن هذه الميزة تمكننا من استعمال البلازما الباردة في معالجة المواد الحساسة حراريا بما فيها البوليمرات والأنسجة البايلوجية.

٢.٧.١. البلازما الحارة

ففي هذه الحالة تكون جميع جسيمات البلازما بنفس درجة الحرارة، أي تكون بحالة توازن حراري مع بعضها البعض (Te=Ti=Tn) عادة ماتستعمل اجهزة تولد البلازما الحرارية مثل مشعل البلازما وأجهزة المايكرويف وهذه المصادر تنتج حرارة عالية تستعمل بصورة اساس في مجالات مختلفة كمعالجة النفايات بالبلازما.

الفصل الثاني

تطبيقات البلازما

١.٢ مقدمة

البلازما عبارة عن تجمع من جسيمات سالبة (الكترونات) وأخرى موجبة (أيونات)، وهي بذلك تمتلك خواص تختلف اساسا عن التي يمتلكها الغاز المحايد (ليس له شحنة كهربية)، ويمكن التحكم في البلازما عن طريق المجال المغناطيسي. كما أنها موصل جيد للكهرباء، فعند تمرير تيار كهربائي خلال البلازما واستخدام المجال المغناطيسي، يمكن بذلك اخضاع البلازما لقوة كهرومغناطيسية مشابهة لتلك التي يعمل بها المحرك الكهربي، وهذه القوة يمكن استخدامها بشكل فعال لزيادة سرعة البلازما ودفعها بسرعة عالية جدا قد تصل الى ٦٠ كيلومترا في الثانية، وبهذه الطريقة يتم انتاج قوة دفع يمكنها دفع أي مركبة فضائية في الفضاء.

ويطلق على هذا الجهاز الذي يقوم بتوليد وتسريع البلازما اسم صاروخ البلازما أو محرك البلازما أو " جهاز الدفع بالبلازما" Plasma Thruster ، وهو عبارة عن صاروخ كهربائي لاعتماده على الطاقة الكهربية بدلا من احتراق الوقود. ويركز مختبر الدفع بالبلازما على دراسة الفيزياء المعقدة للبلازما وتطوير أنواع مختلفة من صواريخ البلازما.

وبالنسبة الى أهمية تقنية الدفع بالبلازما في المركبات الفضائية، فإن معظم الصواريخ المستخدمة حاليا في الفضاء هي صواريخ كيميائية (بوقود كيميائي) تعتمد على عملية الاحتراق، أي تحرق الوقود السائل داخل حجرة الاحتراق لإنتاج غاز كهربي محايد، يخرج كعادم من الصاروخ بسرعة لا تتجاوز ٣ كيلومترات في الثانية. وكلما كانت سرعة الغاز الخارج من الصاروخ عالية، قلت نسبة الوقود المستخدم لدفع مركبة فضائية من مكان لآخر في الفضاء، ولذا نحتاج الى عدة أطنان من الوقود لإرسال مركبة فضائية كبيرة مأهولة أو على متنها معدات ثقيلة. أما اذا استخدمنا صاروخ البلازما الذي تصل سرعة العادم فيه الى ٦٠ كيلومتراً في الثانية، فان وزن المادة الدافعة يمثل جزءا صغيرا بالمقارنة بتلك التي يستخدمها الصاروخ الكيميائي.

ولابد من الاشارة الى أن صواريخ البلازما تستخدم فقط في محيط الفضاء الخارجي، أي عند وصول المركبة الى المدار المخصص لها، لأننا ما زلنا نعتمد على عملية الدفع الكيميائي لإطلاق المركبات الفضائية من على سطح الأرض.

وقد ساعد استخدام الدفع بالبلازما في المدارات على توفير قدر هائل في كمية المادة المستخدمة في عملية الدفع والتي يجب اطلاقها، وهذا يعني توفيرا كبيرا في تكلفة عملية الاطلاق، اذ تصل تكلفة اطلاق كيلوغرام واحد من هذه المادة ما بين ٢٠ الى ٢٠٠ ألف دولار. وتعتبر المركبة الفضائية Deep Space-1 التابعة لـ«ناسا» التي أطلقت عام ١٩٩٨م أول مركبة تستخدم صواريخ البلازما، وقد حققت مهمتها بنجاح باهر، حيث مكن المحرك الأيوني المركبة من السفر لمسافة ٣٢٠ مليون كيلومتر، ومن اعتراض أحد الكويكبات السيارة وأحد المذنبات، وقد استهلكت ٨٠ كيلوغراما فقط من الوقود.

ومن التطبيقات الصناعية للبلازما صناعة الدوائر الالكترونية المتكاملة تستخدم البلازما ذات درجات الحرارة المنخفضة في العديد من المجالات الهامة على سبيل المثال، معظم الدوائر المتكاملة المعقدة جدا والتي تدخل في تركيب كل جهاز الكتروني، هذه الدوائر الالكترونية تحتوى على عشرات الآلاف من الترانزستورات والمكثفات موصلة ببعضها البعض بواسطة أسلاك قطرها في حدود ٠.١ ميكرومتر، هذا النوع من التكنولوجيا الدقيقة والمعقدة تصنع

باستخدام البلازما، حيث تقوم البلازما بنحت الدوائر الالكترونية على شريحة السليكون بناءا على القناع المعدني الموضوع أمام الشريحة.(**مهدي مجاهد -٢٠١٣**)

٢.٢. بلازما الفضاء

البلازما الفيزيائيّة الفلكيّة : هي البلازما خارج المجموعة الشمسية. تُدرس تلك البلازما كجزء من علم الفيزياء الفلكيّة، وتُلاحظ عادة في الفضاء. يتفق العلماء على أن معظم المادة الباريونيّة في الكون توجد في هذه الحالة. عندما تصير المادة ساخنة بما فيه الكفاية، تتأين وتصير إلى حالة البلازما. تحلل تلك العملية المادةَ إلى الجزيئات المكوِّنة لها والتي تتضمن الإلكترونات سالبة الشحنة والأيونات موجبة الشحنة. تلك المواد المشحونة كهربيًا مُعرَّضة إلى تأثير المجال الكهرومغناطيسيّ. وهذا يشمل المجالات القويّة المتولِّدة عن النجوم، والضعيفة الموجودة في مناطق نشوء النجوم والفضاء المتخلل بين النجوم والفضاء الموجود بين المجرات.[كما يمكن أيضًا ملاحظة المجالات الكهربيّة في بعض الظواهر الفيزيائيّة الفلكيّة النجميّة، ولكنها عديمة الشأن في الأوساط الغازيّة قليلة الكثافة.

تختلف البلازما الفيزيائيّة الفلكيّة عن البلازما الفضائيّة، والتي تشير إلى البلازما الناشئة عن الشمس، والرياح الشمسية، والغلاف الأيونيّ، والغلاف المغناطيسيّ للأرض والكواكب الأخرى.(**مايكل كرافينز-٢٠٠٨**)

تُعتبر البلازما أكثر أطوار المادة العادية شيوعًا في الكون، سواءً بالكتلة أو بالحجم. فوق سطح الأرض، يُعتبر الأيونوسفير مكونًا من البلازما ويحتوي الماغنيتوسفير على البلازما. وخلال النظام الشمسي، يحتوي الفضاء بين الكواكب على البلازما المقذوفة عبر الرياح الشمسية، ممتدة من سطح الشمس حتى منطقة التوقف الشمسي. علاوة على ذلك، يمتلئ بالبلازما كل من النجوم البعيدة ومعظم الفضاء بين النجوم والفضاء بين المجرات، تحت كثافات منخفضة جدًا. تُرصد البلازما الفيزيائية الفلكية أيضًا في القرص المُزوّد حول النجوم أو الأجسام المصمتة مثل الأقزام البيضاء أو النجم النيوتروني أو الثقوب السوداء بالقرب من نُظم النجوم الثنائية. ترتبط البلازما بقذف المواد في التدفق المادي الفلكي، والذي رُصد ببناء الثقوب السوداء أو في المجرات النشطة مثل M87's والتي تمتد بنحو ٥ آلاف سنة ضوئية. (**ريتشارد فيتز باتريك- ٢٠١١**)

٣.٢. جهاز الدفع الصاروخي بالبلازما

تتمحور بحوث شويري حول اكتشاف المزيد من المعلومات للوصول إلى كوكب المريخ من طريق تطوير المحركات التي تدفع المركبات الفضائية وتسيرها، كي تصبح أكثر فاعلية يلفت شويري إلى أن مركبات الفضاء التي وصلت إلى المريخ في أواسط الستينيات من القرن الماضي اقتصر عملها على تصوير المريخ من الخارج. ويقول: "تلك المركبات كانت صغيرة الحجم، ولم يزد وزن الواحدة على ألف كيلوغرام واعتادت أن تخرج إلى الفضاء الخارجي، بعد أن تحلق في مدار قريب من الأرض نسبياً. وكذلك استخدمت أنواع من الصواريخ الكيماوية التقليدية التي تحرق الوقود السائل داخل حجرة الاحتراق، مطلقة الغازات الحارة اللازمة لتوليد قوة الدفع إلى الخارج من دون أن تستفيد منها. ولم تتعد سرعة تلك الصواريخ الـ ٣ كيلومترات

في الثانية". ويضيف: «اعتمدت صواريخ الفضاء تقليدياً على حرارة الوقود لإعطائها قوة دفع كافية. ولذا. احتاجت إلى كميات هائلة من الوقود، خصوصاً عندما تزيد سرعتها، ويعني ذلك أيضاً أنه كلما كانت سرعة الغاز الخارج من الصاروخ عالية، استنزف الوقود المتوافر لرحلاته في القضاء". ويؤكد أن هذا النوع من المركبات لم يعد يلبي طموحات العلماء الذين أصبح بإمكانهم بناء مركبات فضائية جديدة أكبر حجماً وأكثر سرعة وأقل استهلاكاً للوقود. مضيفاً: "تستند هذه المركبات إلى تقنية جديدة تسمى الدفع الصاروخي بالبلازما (Plasma Propulsion System) التي تملك إمكان تسيير مركبات الفضاء في شكل فاعل جداً. ويشير إلى أن صواريخ البلازما تعمل في الفراغ الفضائي أيضاً، ما يجعلها قادرة على السير بمركبات الفضاء إلى أمكنة نائية في الكون.**(علي حويلي -٢٠١٣-١٣١)**

يمكن التحكم في البلازما عن طريق المجال المغناطيسي. كما أنها موصل جيد للكهرباء، فعند تمرير تيار كهربائي خلال البلازما واستخدام المجال المغناطيسي يمكن إخضاع البلازما لقوة كهرومغناطيسية مشابهة لتلك التي يعمل بها المحرك الكهربي، وهذه القوة يمكن استخدامها بشكل فعال لزيادة سرعة البلازما ودفعها بسرعة عالية جدًا قد تصل إلى ٦٠ كيلو مترًا في الثانية، وبهذه الطريقة يتم إنتاج قوة يمكنها دفع أي مركبة فضائية في الفضاء.
ويطلق على هذا الجهاز الذي يقوم بتوليد وتسريع البلازما اسم "صاروخ البلازما" أو "محرك البلازما" أو "جهاز الدفع بالبلازما" Plasma Thruster، وهو عبارة عن صاروخ كهربائي لاعتماده على الطاقة الكهربية بدلًا من احتراق الوقود.
ويركز مختبر الدفع بالبلازما على دراسة الفيزياء المعقدة للبلازما وتطوير أنواع مختلفة من صواريخ البلازما.**(لمياء حسن -٢٠٢١)**

٢.٤. صناعة الدوائر الإلكترونية المتكاملة

صناعة الدوائر المتكاملة تعد الدوائر المتكاملة المستخدمة في جميع الأجهزة الإلكترونية الحديثة من أهم الابتكارات البشرية. تم تطويرها لأول مرة في الستينيات من قبل العالم جاك كالبي، الذي أنشأ أول دائرة متكاملة مصنوعة من الجرمانيوم، وروبرت نويزي، الذي ابتكر دائرة متكاملة أكثر تعقيدًا مصنوعة من السيليكون. تعرف الدائرة المتكاملة بأنها شريحة ذات حجم صغير جدًا، عادة ما تكون بضعة سنتيمترات أو مليمترات مستطيلة، تحتوي على عناصر إلكترونية عدة مثل عشرات أو حتى مئات من الترانزستورات والثنائيات والمقاومات والمكثفات الصغيرة المقترنة ببعضها البعض لتنفيذ وظيفة معينة. نذكر في هذا المقال خطوات صناعة الدوائر المتكاملة.

١-تحضير المواد الأولية

السيليكون النقي هو الأساس لمعظم الدوائر المتكاملة إذ يمثل القاعدة أو الركيزة الخاصة بهم، يجب أن يكون السيليكون نقيًا لدرجة أن ذرة واحدة فقط من بين كل عشرة مليارات ذرة يمكن أن تكون شائبة. يستخدم ثاني أكسيد السيليكون كعازل في مكثفات الدوائر المتكاملة.

٢-تحضير رقاقة السيليكون

يتم وضع سبيكة أسطوانية من السيليكون يبلغ قطرها حوالي من ١.٥ إلى ٤.٠ بوصات، يتم تسخين السيليكون إلى درجة انصهاره للتخلص من أي شوائب، ثم تقطع الرقاقة باستخدام آلة تقطيع الويفر. تُطلى الرقاقة بثاني أكسيد السيليكون لتكوين قاعدة عازلة وتجنب أي أكسدة للسيليكون. يتم إنشاء المئات من الدوائر المتكاملة في وقت واحد على شريحة واحدة رفيعة من السيليكون، والتي يتم تقطيعها لاحقًا إلى شرائح منفصلة. تتم عملية التصنيع في غرفة نظيفة، حيث يتم تصفية الهواء لإزالة الجزيئات الغريبة.

٣- القناع

تُستخدم الطباعة الحجرية الضوئية لحماية بعض مناطق الرقاقة أثناء العمل في مناطق أخرى. تستلزم الطباعة الحجرية الضوئية إخفاء قناع فوتوغرافي بالإضافة إلى نقش للصور. يتم وضع فيلم مقاوم للضوء على الرقاقة. باستخدام محاذاة الصور، تتم محاذاة الرقاقة لقناع. ثم، باستخدام القناع، يتم تعريضه للأشعة فوق البنفسجية، يجب أولاً محاذاة الرقاقة مع القناع. بشكل عام، تتوفر أدوات محاذاة تلقائية.

٤- التطعيم

لتغيير الطابع الكهربائي للسيليكون، يتم إدخال ذرتين، ذرة تحتوي على إلكترون واحد أقل من السيليكون مثل البورون وذرة تحتوي على إلكترون واحد أكبر من السيليكون مثل الفوسفور لتغيير الطابع الكهربائي للسيليكون. بهذه الطريقة نسمح بعملية الانتشار داخل السيليكون. يُعرَّف الانتشار بأنه حركة ذرات الشوائب في مادة أشباه الموصلات عند درجة حرارة عالية.

٥-المعدنة

يتم ترسيب طبقة رقيقة من الألمنيوم فوق الرقاقة لإنشاء اتصال بالسيليكون ولإقامة روابط بينية على الرقاقة. يتم اختيار الألمنيوم لأنه موصل جيد، وله ارتباط ميكانيكي جيد بالسيليكون، ويشكل تلامسًا منخفض المقاومة ويمكن تطبيقه وتنميطه بعملية ترسيب وحفر واحدة.

٦-التجميع والتعبئة تكون القاعدة الواحدة تحتوي على مئات الرقائق. يتم فصل هذه الرقائق بطريقة تسمى الكشط والانقسام. الرقاقة تشبه قطعة من الزجاج. يتم قطع الرقاقة إلى رقائق مفردة. تُستخدم أداة ألماسية لقطع الخطوط عبر الشبكة المستطيلة التي تفصل بين الرقائق الفردية، ويتم التخلص من الرقائق التي فشلت في الاختبار الكهربائي.(**حسين العلاوي -٢٠٢٢)**

٢.٥. المحافظة على النظام البيئي

تستخدم البلازما حاليا فى العديد من الدول المتقدمة فى التخلص من المواد السامة الملوثة للبيئة معتمدين على العمليات الكيميائية الفريدة التي تتم داخل البلازما. حيث يمكن ان تقوم البلازما بتحويل المواد السامة المنبعثة من مداخن المصانع ومن عوادم السيارات مثل غاز اكسيد

الكبريت (SO) واكسيد النيتريك (NO) إلى مواد غير سامة. فعلى سبيل المثال غاز NO قبل ان يخرج من المدخنة إلى الغلاف الجوي، توجه عليه حزمة من الالكترونات ذات طاقة عالية من جهاز مثبت فى منتصف المدخنة تعمل على تأيين الغازات الموجودة (المادة السامة NO والهواء) أي تحولها إلى حالة بلازما. وقبل خروجها إلى الجو تكون مرحلة التأيين قد انتهت وتتكون جزيئات النيتروجين والاكسجين نتيجة لعملية اعادة الاتحاد. وبهذا نكون قد حولنا الغازات الملوثة إلى غازات نافعة وبتكاليف قليلة.

يجدر الاشارة هنا أنه تم حديثا التوجه إلى معالجة الغازات المنطلقة من عوادم السيارات، حيث تم تركيب جهاز بلازما فى عادم السيارة ليعالج الغازات السامة قبل خروجها إلى الجو. كذلك اجريت تجارب عديدة على الفضلات الصلبة والسائلة حيث تستخدم بلازما عند درجات حرارة عالية تصل إلى ٦٠٠٠ درجة مئوية تعمل على تبخير وتحطيم المواد السامة وتحولها إلى غازات غير سامة، وفى نهاية العملية يكون ماتبقى من مواد صلبة فى صورة زجاج. وتم فى امريكا العام الماضي التخلص من حوالى ٤٠٠٠ مستودع يحتوى على فضلات صلبة وملوثة للبيئة بواسطة البلازما. وقد كانت هذه الفضلات تدفن فى باطن الارض مما كانت تسبب اخطار تلوث. وباستخدام البلازما يمكن حاليا التخلص من ٢٠٠ كيلو جرام من المواد السامة فى الساعة.(**علاء خياط ـ ٢٠١٦)**

٦.٢.تحويل النفايات إلى طاقة نظيفة اعتمادا على البلازما

إن استخلاص الطاقة من القمامة الصلبة هو خيار مشجّع للمدن الكبيرة، وذلك لقلة المساحات المخصَّصة للردم والتكلفة العالية المادية والبيئية لنقل القمامة.

أدَّى التطور العلمي والتقني في التعامل مع النفايات الصلبة إلى إعادة النظر في أطنان المخلّفات التي تنتجها حضارتنا المادية يومياً، والنظر إليها كمصادر بديلة للطاقة. ويقوم مفهوم توليد الطاقة من النفايات على معالجة المخلفات الصلبة كيميائياً لإنتاج طاقة كهربائية أو حرارية. وعلى الرغم من وجود سوق واعدة لهذا التوجه، نظراً إلى حجم النفايات على المستوى العالمي بسبب الزيادة الحادة في أعداد السكان والتغيّر في أنماط الحياة، فإن التكلفة العالية لتقنيات معالجة النفايات الصلبة والمردود المحدود من الطاقة الناتج عنها، تشكِّل عوائق تحدّ من انتشار هذه التقنيات في البلدان النامية.

إن فكرة تحويل النفايات إلى مصادر للطاقة ليست حديثة، حيث كان الآباء والأجداد يستخدمون مخلفات الحيوانات للتدفئة والتسخين وذلك بالحرق المباشر. ثم إن بعض الأمم مثل الهند اكتشفت باكراً احتواء مخلفات الأبقار على كميات كبيرة من الغازات، فقامت بسحب هذه الغازات الحيوية بطريقة العزل اللاهوائي والتخمير، ومن ثم جمع الغاز المتكوّن وتخزينه واستخدامه في إنتاج الحرارة والطهي، رغم أن تلك التقنيات غير آمنة تماماً وتقترن بحوادث الانفجار والاختناق.

وتُعد النفايات حالياً ثالث مصدر من مصادر الطاقة المتجددة نمواً عبر العالم بعد طاقتي الشمس والرياح (Ogola et al., 2011). كما تسهم، مع طاقة الكتلة الحيوية، بأكثر من نصف الطاقة المتجددة المستخدمة عالمياً (ISWA, 2006). وهذا ما جعل عديداً من دول العالم تجتهد في البحث والتطوير ووضع خطط على مستوى واسع لفصل القمامة وتدويرها أو تحويلها

إلى سماد كأضعف الإيمان. أما الآن، وبسبب التطور الهائل في علم إدارة النفايات الصلبة وكثرة المتخصِّصين فيها، فإن ما يزيد على نصف القمامة يتم حرقه ويُحّول إلى وقود سائل أو وقود غازي (Ogola et al., 2011)..

وتتمثل الطريقة في تحويل النفايات إلى طاقة بواسطة (تغويز البلازما). والتغويز مصطلح يعني تحويل المادة من الحالة السائلة أو الصلبة إلى الحالة الغازية. أما البلازما، فهي حالة المادة الرابعة، بعد الصلب والسائل والغاز. والبلازما عبارة عن غاز مشحون إلكترونياً وشديد السخونة تولّده النجوم في الكون بطريقة طبيعية. ويمكن توليده اصطناعياً على الأرض عبر استخدام الطاقة الكهربائية.

التغويز بأسلوب البلازما هو عبارة عن معالجة النفايات العضوية وغير العضوية بواسطة مفاعل يستخدم موقد بلازما قوي لرفع درجة حرارة النفايات لتصل إلى آلاف الدرجات. تؤدّي هذه الحرارة الرهيبة إلى تكسير الروابط الكيميائية بين العناصر وتحويل كامل كمية النفايات المعالجة، بما فيها الخطرة بيئياً، إلى غازات، وتُقسّمها إلى عناصرها الأساسية. ومن أهم ميزات التغويز أنه لا ينتج الرماد الذي يُعد مشكلة أساسية في المحارق التقليدية، كما أن مردود الطاقة من هذه العملية عالٍ مقارنة بتقنية الحرق المباشر، وهو مستخدم في نظام القوات الجوية الأمريكية القابل للنقل لتحويل بقايا البلازما إلى طاقة كما في حقل هلبرت بولاية فلوريدا. وإلى جانب المصانع الكبيرة، توجد أيضاً المحارق المحلية لتوليد الطاقة من النفايات بطريقة التغويز، كمصنع توليد الطاقة في ملجأ دي سارين على سبيل المثال .(**طايل الحسن -٢٠١٨).**

٢.٧. الفوائد المستقبلية المرجوة من حالة البلازما

أن للبلازما فوائد عدة حيث أنه من الممكن استغلال المادة وهي في حالة البلازما لخدمة البشرية وذلك من خلال التطبيقات التي ذكرناها، وباعتقادي أن الحالة الرابعة للمادة ستكون جزءاً مهماً من المستقبل البشري نظراً لإمكانية استغلالها في تطبيقات تحتاج طاقة كبيرة كعملية إطلاق الصواريخ والأقمار الصناعية ورحلاتها لمسافات بعيدة بين الكواكب وبكلفة أقل من الوقود المستخدم، مما يجعل البلازما من أبرز مرشحي الطاقة المستقبلية. كما أن لها العديد من الفوائد في معالجة الأسطح و قطع المعادن والجراحة وتصنيع الدوائر الإلكترونية .

المصادر

الكتب:

١-محمد هاشم البشير، رحاب عوض – الدروع الواقية في الاشعاع النووي -٢٠١٣.

٢-علي مصطفى مشرفة – الذرة والقنابل الذرية -٢٠٢٢-مؤسسة هنداوي.

٣- محمد بن ابراهيم الجار الله – غاز الرادون مصادره استخداماته مخاطرة الاشعاعية والحماية منة -٢٠٠٩-مكتبة العبيكان – الطبعة الاولى.

٤-حسن احمد الهادي شحاته – مقدمة في التركيب الالكتروني للذرة والكيمياء النووية -٢٠٠٧- مكتبة دار المعرفة – الطبعة الأولى.

٥- غرام الحرشان – قياس المستوى الاشعاعي في منتجات ومخلفات البترول في مصفاة مدينة الرياض -٢٠١٣.

٦- عادل مبارك – حفظ الأطعمة – ٢٠٠٩- The Anglo Egyptian Bookshop.

٧- عايد راضي خنفر – التلوث البيئي الماء والهواء والغذاء -٢٠٢١.

٨- ليسلي أ، هويت – مفاهيم العلوم الفيزيائية -٢٠١٤- العبيكان .

٩- جمال جبار مصطفى – نبذه مختصره عن فيزياء البلازما وتطبيقاتها -٢٠١٢- المكتبة الأكاديمية.

المقالات :

١-سرى زيادنه – ماهي أشعة ألفا وبيتا وكاما -٢٠١٩.

٢- إسراء ربحي – ظاهرة النشاط الاشعاعي -٢٠١٨.

٣-محمد شرعبي – بحث متكامل عن النشاط الاشعاعي -٢٠١٦.

٤-علاء خياط- كل شيء عن حالة المادة الرابعة :البلازما – ٢٠١٦.

٥- طايل حسن – من نفايات إلى وقود – حلول البيئية وطاقة بديلة -٢٠١٨.

٦- لمياء حسن -البلازما استخدامات لا حصر لها – ٢٠٢١.

٧- علي حويلي- العلماء العرب في امريكا وكندا إنجازات واخفاقات -٢٠١٣-منتدى المعارف .

٨- ياسمين صلاح – بحث عن البلازما شامل -٢٠١٩.

٩- إكرام امير العلي – البلازما – ٢٠٢٠.

١٠- علي صالح الجبوري – البلازما -٢٠١٩ .

١١- الدكتور رعد عزاوي الربيعي – محاظرات في فيزياء البلازما – ٢٠٢٠.

١٢- عاصم عبد الكريم – فيزياء البلازما -٢٠١٧.

١٣- بهاء حسين صالح – اساسيات في فيزياء البلازما -٢٠١٧.

١٤- انتصار هاتو – فيزياء البلازما Physics Plasma- ٢٠١٧.

الروابط الالكترونية :

- https://simply4physics.wordpress.com/1970/01/01/%D8%A3%D9%84%D9%81%D8%A7%D8%8C%D8%BA%D8%A7%D9%85%D8%A7%D8%8C%D8%A8%D9%8A%D8%AA%D8%A7-%D9%85%D9%82%D8%AF%D9%85%D8%A9-%D8%A8%D8%B3%D9%8A%D8%B7%D8%A9/

- https://www.nagwa.com/ar/explainers/415169379259/

- https://simply4physics.wordpress.com/1970/01/01/%D8%A3%D9%84%D9%81%D8%A7%D8%8C%D8%BA%D8%A7%D9%85%D8%A7%D8%8C%D8%A8%D9%8A%D8%AA%D8%A7-%D9%85%D9%82%D8%AF%D9%85%D8%A9-%D8%A8%D8%B3%D9%8A%D8%B7%D8%A9/

- https://mazinalshamery.ahlamontada.com/t1159-topic

- https://ar.m.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D9%84%D8%A7%D8%B2%D9%85%D8%A7_(%D9%81%D9%8A%D8%B2%D9%8A%D8%A7%D8%A1)

- https://gewc.ahlamontada.com/t269-topic
- https://ar.m.wikipedia.org/wiki/%D8%B7%D9%88%D9%84_%D8%AF%D9%8A%D8%A8%D8%A7%D9%8A