جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة القادسية

كلية العلوم
قسم الكيمياء
المرحلة الرابعة

م/ كيمياء البلازما

بحث تخرج مقدم الى مجلس كلية العلوم / قسم الكيمياء كأحد متطلبات نيل درجة بكلوريوس علوم في الكيمياء

مقدم من قبل

مصطفى عبد الأمير بكال
حسن كشيش سعد

بأشراف الأستاذ المساعد :- أحمد كاظم الحسناوي

١٤٣٧هـ

٢٠١٦م

المقدمة

تأريخ البلازما :-

في عام ١٨٧٩ اكتشف العالم السير وليام كروكس البلازما عن طريق أنبوب كروكس و أطلق عليها آنذاك "المادة الإشعاعية" واكتشف العالم البريطاني جوزيف طومسون خصائص و طبيعة البلازما عام ١٨٩٧ و يرجع الفضل في تسمية البلازما إلى العالم إيرفينغ لانغمور في عام ١٩٢٨ ربما لأنه رأى انها تشبه بلازما الدم

وقد كتب لانغمور بجوار الأقطاب يوجد أغطية رقيقة تحتوي إلكترونات قليلة، الغاز المتأين يحتوي على أيونات وإلكترونات بكميات متساوية تقريبا مما يجعل ناتج شحن المكان بسيط جدا. يستحسن أن نستخدم اسم البلازما لتعريف المنطقة المحتوية على شحنات متساوية من الإلكترونات والأيونات عموميات البلازما تشكل البلازما نسبة ٩٩% من المادة الكونية بين النجوم و المجرات من حيث الكتلة والحجم البلازما فقط حوالي ٠.١ % من الكتلة و ١٠–١٥ % من الحجم يدخل بمدار كوكب بلوتو.لاحظ عالم البلازما الشهير هانز ألفين أن هناك كميات قليلة من الحبيبات تتصرف خلال الشحنات الكهربية كأيونات وكشكل من أشكال البلازما (بلازما مغبرة) أشكال البلازما تتضمن لصناعية موجودة بشاشات البلازما مثل التلفاز مصابيح التألق (لمبات الفلوريسنت) (إنارة ذات طاقة ضعيفة)، إشارات النيون عوادم الصواريخ النطاق الموجود أمام الحاجز الحراري لسفن الفضاء خلال دخولها غلاف الأرض الجوي داخل هالة مولد تفريغ الأوزون أبحاث الاندماج النووي التقوس الكهربي الموجود

النظرية

البلازما Plasma

المقصود بالبلازما هي الحالة الرابعة للمادة فالجميع يعرف أن المادة في الطبيعة توجد على شكل ثلاث حالات هي الحالة الصلبة ، والحالة السائلة ، والحالة الغازية ، ويمكن تحويل المادة من حالة إلى أخرى إما بواسطة تغيير درجة الحرارة أو الضغط ، ولكن بتقدم العلم في مجال الفيزياء أكتشف العلماء الحالة الرابعة وهي . فالبلازما هي حالة تحول المادة إلى غاز يتكون من خليط من أعداد متساوية من الأيونات الموجبة والأيونات السالبة ، أي أنها إن صح التعبير الغاز المتأين درجات الحرارة العالية والكثافة العالية وتختلف من مكان إلى آخر البلازما داخل الشمس تختلف عن البلازما الموجودة خارجها حيث تبلغ درجة الحرارة داخل الشمس 10 ملايين درجة مئوية بينما على سطحها حوالي 16 ألف درجة مئوية . وفي الحقيقة أنه لاتوجد على الأرض حالة بلازما طبيعية لأن طبقات الغلاف الجوي عبارة عن غاز متآين وإذا أردنا أن نشاهد حالة بلازما في الواقع فعلينا أن نركز على مصباح النيون (فلورسنت) فإن مصدر الضوء فيه هو عبارة عن بلازما مصنعة فعند مرور التيار الكهربائي في المصباح وتحت ضغط منخفض يتأين الغاز مخلفاً خليطاً من الآيونات الموجبة والإلكترونات لا تلبث أن تتحد مع بعضها البعض مسببة إنبعاث الضوء الساطع

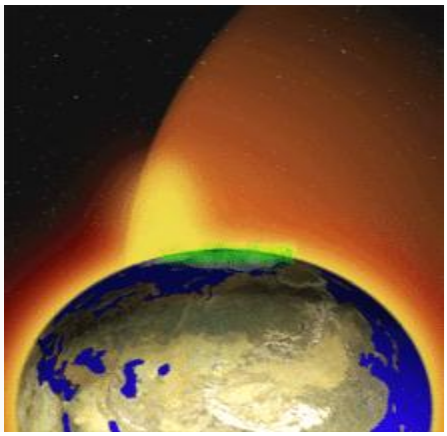
عموميات البلازما

من حيث الكتلة والحجم تشكل البلازما نسبة 99% من المادة الكونية بين النجوم نسبة هائلة من الكواكب تشكل البلازما أغلب مادتها وحوالي 0.1% فقط من كتلتها لاحظ عالم البلازما الشهير

هانز ألفين الكتلة وما بين 10 و15% من الحجم يدخل بمدار كوكب بلوتو كميات قليلة من الحبيبات تتصرف خلال الشحنات الكهربية كشوارد (أيونات) وكشكل من أشكال البلازما بلازما مغبرة

أشكال البلازما تتضمن		
فيزياء :بلازما طبيعية كونية وفضاء كوني فلكية • النجوم البلازما تسخن (بالاندماج النووي) • الرياح الشمسية • الفراغ المحيط بين الكواكب • الفراغ المحيط بين النجوم • الفراغ المحيط بين المجرات • حلقة أحد أقمار المشتري • الأقراص الناشئة من تكوين الأجسام النجمية الضخمة • المجرات سديم	بلازما طبيعية أرضية • البرق • كرة البرق • نار سانت إلمو. • طبقة الغلاف المتأين • الشفق القطبي	بلازما تصدر عن أجهزة صناعية • شاشات البلازما. • مصابيح التألق (لمبات الفلوريسنت ذات الطاقة إشارات النيون الضعيفة) • عوادم الصواريخ • النطاق الموجود أمام الحاجز خلال لسفن الفضاء الحراري دخولها غلاف الأرض الجوي. • داخل هالة مولد تفريغ الأوزون. • أبحاث الاندماج النووي. • الموجود التقوس الكهربائي بالإنارة القوسية، لحام القوس أو المصباح (المدفع) الكهربائي البلازمي • مصابيح البلازما، وتسمى كرة البلازما • يستخدم البلازما لحفر رقائق لإنتاج الدوائر الحاسوب وصنع أشباه الكهربائية الموصلات

خصائص ومعالم البلازما



تتدفق إلى الفضاء من مناطق قريبة من الأرض منبع البلازما: لاحظ أيونات الأكسجين والهيدروجين والهليوم يرمز إلى ضياع الغازات إلى الفضاء الخارجي. المنطقة القطبين.

اللون الأصفر

الواقع فوق القطب الشمالي القطب الشمالي أو طاقة البلازما المتدفقة عائدة إلى الأرض

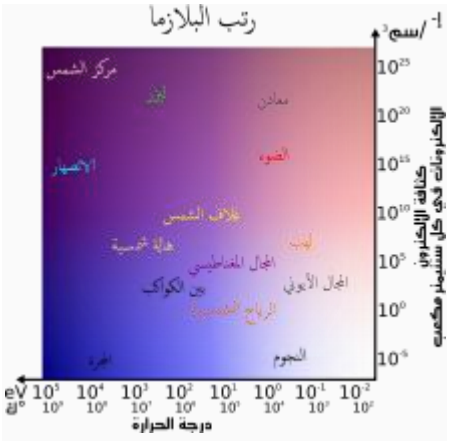
الخضراء ترمز إلى شفق

تسلسل مقادير البلازما

تختلف قيم البلازما حسب القيم الأسّية ، لكن خصائص البلازما قد تكون متقاربة جدا كما هو وارد بجدول مقياس البلازما لأن البلازما هذه تتميز بحالة نووية ذات كثافة مادية هائلة

الجدول التالي يبين البلازما الذرية التقليدية فقط وليس الظواهر الغريبة مثل بلازما الكواركات

مستويات البلازما :-



حيث الكثافة تزداد إلى الأعلى والحرارة باتجاه اليسار.

الإلكترونات الحرة بالمعادن قد تقيَم كإلكترونات بلازم

بالأس العشري :تسلسل مقادير البلازما		
البلازما الكونية	البلازما الأرضية	الميزة
م (غلاف سفينة الفضاء) حتى 10^{-6} (م (سديم المجرات) (~31 أس 10^{25}	م (بلازما مختبرات) حتى 10^{-6} (م (البرق) (~8 مدى بالأس العشري 10^{2}	الحجم بالأمتار
ث (الانفجارات الشمسية) حتى 10^{1} (ث (بلازما المجرات) (~17 أس 10^{17}	ث (البلازما الليزرية) حتى 10^{-12} (ث (لمبات الفلورسنت) (~19 أس 10^{7}	الحياة بالثواني
ما بين المجرات) حتى (10^{-3}أي = 1 م) 10^{0} (باطن النجوم) 10^{30} م$^{-3}$	حتى 10^{7} م$^{-3}$ (حد الجمود للبلازما) 10^{32} م$^{-3}$	الكثافة الجسيمات لكل متر مكعب
ك (الشفق) حتى 10^{2} (ك (باطن الشمس 10^{7}	حتى (ك (بلازما متبلورة ~0 (ك (بلازما الاندماج المغناطيسي 10^{8}	درجة الحرارة بالكالفن
ت (ما بين المجرات) حتى 10^{-12} (ت (قرب النجوم النيوترونية 10^{11}	ت (بلازما مختبرات) حتى 10^{-4} (ت (البلازما النبضية 10^{3}	المجال المغناطيسي بالتسلا

درجة تأين البلازما

هي كمية الذرات التي فقدت أو كسبت إلكترونات، وتكون الحرارة هي درجة التأين المتحررة لكل وحدة مساحة العامل القوي المتحكم بذلك ولو أن جزءا من الغاز، بما يساوي 1% من الجزيء، قد تأين فسوف يأخذ صفة شبه قوي وهو موصل كهربائي بمعنى أنه متأثر بمجال مغناطيسي

تعرف درجة التأين بالمعادلة التالية :-

$$\alpha = \frac{n_i}{(n_i + n_a)}$$

تعبّر عن كثافة الذرات غير المتأينة (المحايدة n_a تعبّر عن كثافة الأيونات و n_i :حيث أن

للأيون خلال المعادلة التالية $\langle Z \rangle$ ترتبط كثافة الإلكترون بدرجة التأين عن طريق حالة متوسط الشحنة

ترمز إلى كثافة الإلكترونات n_e حيث أن $n_e = \langle Z \rangle n_i$

يطلق على البلازما ذات التأين الخفيف تسمية البلازما الباردة ومن الممكن الحصول على بلازما بدرجة قليلة

بمعنى أن الأيونات ذات الدرجة المرتفعة من التأين تكون الإلكترونات فيها قليلة وبارزة في كل أيون

الحرارة Plasma heat

وهي عبارة عن قياس للطاقة الحركية الحرارية لكل جزيء تكون الإلكترونات في الكثير من الأحيان قريبة من حالة التوازن الحراري لأن الحرارة تكون واضحة المعالم

تقاس حرارة البلازما بالكالفن الأشعة فوق البنفسجية لتوزيع الطاقة ومثال ذلك حتى بحالة الانحراف في معادلات ماكسويل . وبسبب التفاوت الكبير بالحجم تتوازن الإلكترونات عن طريق الديناميكا الحرارية لهذا السبب تكون حرارة وحدها وبشكل أسرع من أن تتحول إليها من خلال الأيون أو الذرات الطبيعية

الأيونات مختلفة عن حرارة الإلكترون وعادة ما تكون أبرد، وهذا أكثر ما يظهر في بلازما الأيونات الضعيفة حيث تكون الأيونات قريبة من الحرارة المحيطة

استنادا للحرارة المرتبطة بالإلكترونات والأيونات والجسيمات المحايدة فإن البلازما يمكن تصنيفها على أنها حرارية أو لاحرارية

البلازما الحرارية :-

تكون فيها الإلكترونات والأجسام الثقيلة بنفس درجة الحرارة، أي تكون بحالة توازن حراري مع بعضها البعض

البلازما اللاحرارية :-

تكون الأيونات والجسيمات المحايدة بحالة الحرارة المحيطة بها بينما ترتفع درجة حرارة الإلكترونات بشكل أكبر بكثير

الجهد الكهربائي Electrical voltage

بما أن البلازما موصل قوي للكهرباء فمقادير الجهد الكهربائية ستأخذ دورا مهما وبما أن الجهد موجود ما بين جسيمين مشحونين بالفضاء فإذا وضع قطب كهربي بالبلازما فإن الجهد بشكل عام سيتحرك بقوة إلى مادون بسبب جودة التوصيل الكهربائي، فإن المجال الكهربائي جهد البلازما بسبب نشوء ما يسمى بغشاء ديباي للبلازما يصبح صغيرا جدا وهذا يفضي إلى مفهوم مهم لشبه الحياد والذي يفيد بأنه إذا كان مستوى التقارب الحقيقي جيد فالمفروض أن كثافة الشحنات الموجبة خلال مساحة كبيرة من البلازما .

قد يظهر الشحن غير متوازن على مقياس طول ديباي بهذه الحالة الخاصة تكون الطبقات المزدوجة متشكلة ويمكن أن يمتد توزيع الشحن إلى عشرات من أطوال ديباي

ويعبر عنها عندئذ بمعادلة :-

$$n_e = \langle Z \rangle n_i \ ()$$

يجب أن تكون مقادير الجهد والمجالات الكهربائية محددة بالوسط المحيط بدلا من إيجاد صافي كثافة الشحنات. والمثال العام لمعرفة ما إذا كان الإلكترون بحالة طبيعية هو معادلة بولتزمان:

$$n_e \propto e^{e\Phi/k_B T_e}.$$

ميزة تلك المعادلة أنها تسمح بحساب مقدار المجال الكهربائي من أصل الكثافة

$$\vec{E} = (k_B T_e/e)(\nabla n_e/n_e)$$

الإلكترون له شحنة سالبة. ينبغي أن تكون كثافة من الممكن إنتاج بلازما لا تعتبر شبه محايدة فمثلا شعاع الكهربائية الساكنة الكونية غير المرغوب فيها. بالبلازما البلازما غير المحايدة قليلة أو صغيرة جدا وإلا ستنتشر بطريقة

المغنطة Magnetization

البلازما الممغنطة هي ذات المجال المغناطيسي القوي لدرجة أنه يؤثر على حركة الجسيمات المشحونة. المعيار الكمي المشترك هو أن الجسيم بالمتوسط يكمل على الأقل دورة كاملة حول المجال المغناطيسي قبل الاصطدام أو هو عدد دورات الإلكترون حول المدار $\omega_{ce}/\nu_{coll} > 1$ هو معدل اصطدام الإلكترون عادةً تكون الإلكترونات ممغنطة والأيونات غير ممغنطة. تكون البلازما الممغنطة (المغناطيسية) مختلفة الخصائص بمعنى أن هناك خصائص تتوازى مع المجال المغناطيسي وخصائص عمودية عليها. وعلى الرغم من أن المجال الكهربائي بالبلازما ضعيف بسبب قوة التوصيل، إلا أنه يتوافق مع حركة

البلازما بالمجال المغناطيسي بالمعادلة التالية :-

B هي السرعة.، و v هي المجال الكهربائي، و Eحيث أن (E = -v × B هي المجال المغناطيسي) وهذا المجال الكهربائي لا يتأثر بحاجز ديباي

مقارنة بين البلازما وحالات المادة الأخرى :-

وهي ذات صفات البلازما هي الحالة الرابعة للمادة وتتميز عن غيرها من الحالات بالطاقة الهائلة التي تمتلكه مقاربة للحالة الغازية ولكن ليس لها شكل محدد أو كتلة. ينظر العلماء للبلازما على أنها أكثر أهمية من الغاز.

الخاصية	الغاز	البلازما
توصيل كهربائي	ضعيف جدا الغازات عازل قوي إلا في حالة تحولها إلى مادة بلازمية في مجال كهربائي يفوق في قوته 30 كيلوفولت/سم.	قوي جدا لأغراض عديدة. يمكن أن يعامل التوصيل بالبلازما على أنه غير محدود.
الأنواع التي تمثلها	نوع واحد جميع الجزيئات تتصرف بطريقة مشابهة، تتأثر وتتصادم مع بالجاذبية بعضها البعض	اثنان أو ثلاثة إلكترون أو أيون أو محايد وتتوزع حسب نوع الشحنة وتتصرف عند أكثر الحالات باستقلالية حسب الحجم والسرعة والحرارة وبظهور أنواع جديدة من الموجات وعدم الاستقرارية
توزيع السرعة	لتوزيع السرعات نظام ماكسويل التصادم يتبع نظام ماكسويل لتوزيع السرعات عند جميع الجزيئات، عدا بعض الجزيئات السريعة.	غير خاضع لنظام ماكسويل تفاعلات التصادم ضعيفة عند البلازما الحارة والقوة الخارجية قادرة على تحريك البلازما من مكانها المتوازن وتؤدي إلى كثافة قوية من الجسيمات السريعة غير العادية.
التفاعلات	مزدوج اصطدام بين جسيمين ونادرا بين ثلاثة	تراكمي تموج، أو حركة منتظمة للبلازما، مهم جدا لأن الجسيمات تتفاعل لمجالات أبعد خلال القوى الكهربائية والمغناطيسية.

حالات البلازما المعقدة

على الرغم من أن المعادلات التي تحكم البلازما بسيطة نوعاً ما، إلا أن سلوك البلازما غير عادي ومتقلب. يعتبر ظهور تصرف غير متوقع من شكل عادي تصرفاً طبيعياً من نظام معقد تتباين مثل هذه النظم في بعض الأحيان في سلوكها ما بين النظام والفوضى ومن الصعب وصفها سواء عبر قوانين رياضية بسيطة أو التامة. يُعدّ التشكيل العفوي من الميزات المكانية بالسلسلة الواسعة من الجداول الطويلة، أحد مظاهر بالعشوائية . ويقول الخبراء أن تشكيلات البلازما مثيرة للاهتمام، فهي تظهر حادة جداً على سبيل المثال، وتحيزها متقطع (المسافة بين المجسمات أكبر من الأجسام نفسها) أو تتخذ شكلاً كسرياً. بادئ الأمر، تمت دراسة أغلب تلك الجسيمات مخبرياً، ومن ثمّ تعرف الناس عليها. ومن الأمثلة على تعقيدات وتركيب الأجسام بالبلازما،

التفتيل :-

والبرق والشفق تظهر في أغلب البلازمات مثل كرة البلازما الشروخ والقنوات أو الأشياء الضئيلة وبقايا الانفجار النجمي، وهي ترتبط أحيانا مع أكبر كثافة موجودة ووهج الشمس والتقوس الكهربائي فتسمى بالحبال المغناطيسية

الكتل أو الطبقات المزدوجة:-

تسبب الصفائح الضيقة ذات الحواف الحادة، مثل الكتل أو الطبقات المزدوجة تغيراً سريعاً في خصائص البلازما

عتبر الطبقات المزدوجة مسؤولة عن تمركز الشحنات المنفصلة التي تسبب اختلافاً كبيراً في الجهد الكهربائي

. تباعد الطبقات المزدوجة بين مناطق البلازما المتقاربة خلال الطبقة. ولكنها لا تولّد أي مجال كهربائي

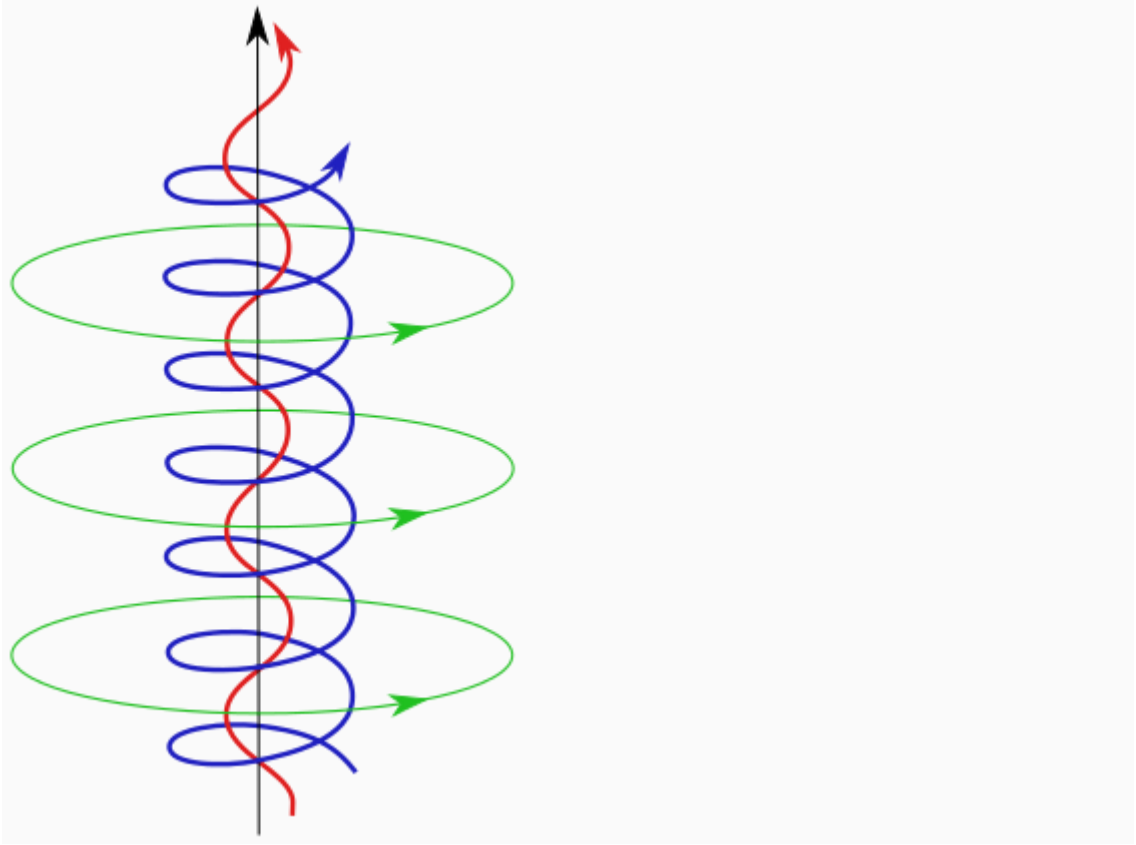
سرعة التأين الحرجة

هي السرعة النسبية ما بين البلازما المتأينة والغاز المحايد حيث يحصل التأين للغاز. عملية التأين الحرجة هي تقنية عامة لتحويل طاقة الحركية لدفق الغاز السريعة إلى طاقة البلازما أو التأين الحرارية. وبحال تم ضخ كمية أكبر من الطاقة، فإن سرعة الذرات أو الجزيئات لن تتعدى سرعة التأين الحرجة حتى يكون الغاز كامل التأين. هذه الظاهرة الحرجة هي حالة نموذجية من نظام معقد يمكنها أن تنتج ميزات مكانية أو زمانية شديدة

البناء الخلوي :-

من الممكن عزل الصفائح الضيقة ذات الحواف حادة المناطق مع خواصها المختلفة المغناطيسية والكثافة والحرارة، مما ينتج مناطق تشبه الخلايا. من الأمثلة على ذلك وغطاء المجال الشمسي. كتب العالم هنز الشمسي والمحيط المغناطيسي والمحيط ألفن يقولوجهة نظر علماء الكون هي أن لعلّ أبرز أبحاث اكتشافات الفضاء هي بنية الكون الخلوية كما تبين في كل منطقة من مناطق الفضاء التي يمكن الإطلاع عليها في الموقع هناك عدد من الجدران الخلوية وصفائح التيار الكهربائية التي تقسم الكون إلى أقسام مع اختلاف بالقوة المغناطيسية

وصف رياضي



انحيازي المسارات، قد ينجم عنها خطوط الحقل المغناطيسي المعقد ذاتي التقليص في تيار بيركلاند توليد البلازما

لوصف حالة البلازما تماما، يحتاج المرء أن يعرف أماكن وسرعة الجسيمات ووصف المجال الكهرومغناطيسي بمنطقة البلازما، لكن لا يعد ضروريا فحص جميع الجسيمات بالبلازما، لهذا السبب يقدم وصفا أقل دتفصيلا للنماذج المعروفة، التي يقسمونها إلى نوعين مهمين

مجالات أستخدام تقنية البلازما

لتقنية البلازما عدة استخدامات في المجال العسكري والمدني

في مجال الصناعات الإلكترونية :-

تستخدم البلازما ذات درجات الحرارة المنخفضة في العديد من المجالات الهامة على سبيل المثال معظم الدوائر الإلكترونية المتكاملة المعقدة جداً والتي تدخل في تركيب كل الأجهزة الإلكترونية مثل التلفزيون والحاسب الآلي ....إلخ ، وهذه الدوائر الإلكترونية تحتوي على عشرات الألآف من الترانزستورات والمكثفات موصلة ببعضها البعض بواسطة أسلاك قطرها في حدود 0.1 ميكرومتر هذا النوع من التكنولوجيا الدقيقة والمعقدة تصنع بإستخدام البلازما حيث تقوم البلازما بحث الدوائر الإلكترونية على شريحة لسيليكون بناء على الموضوع أمام الشريحة

في مجال المحافظة على البيئة :-

تستخدم البلازما في الوقت الحالي في بعض الدول المتقدمة للتخلص من المواد السامة الملوثة للبيئة معتمدين على العمليات الكيميائية الفريدة التي تتم داخل البلازما ، حيث يمكن أن تقوم بتحويل المواد السامة المنبعثة من مداخن المصانع وعوادم السيارات مثل غاز أكسيد البلازما الكبريت وأكسيد النيتريك إلى مواد غير سامة ، فعلى سبيل المثال غاز أكسيد النيتريك قبل أن يخرج من فتحات العادم إلى الغلاف الجوي توجه عليه حزمة من الإلكترونات ذات طاقة عالية من جهاز مثبت في منتصف فتحة العادم تعمل على تآيين الغازات الموجودة (المادة السامة)

المصادر :-

1- Luo ،Q-Z؛ D'Angelo ،N؛ Merlino ،R. L. (1998). *Shock formation in a negative ion plasma* 5 (8). Department of Physics

2- Crookes presented a lecture to the British Association for the Advancement of Science, in Sheffield, on Friday, 22 August

3- Announced in his evening lecture to the Royal Institution on Friday, 30th April 1897, and published in *Philosophical*

4- I. Langmuir, "Oscillations in ionized gases," *Proc. Nat. Acad. vSci. U.S.*, vol. 14, p. 628, 1928

5- G. L. Rogoff, Ed., *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 19, 989, Dec. 1991. See extract a

6- ref name="langmuir1928 IPPEX Glossary of Fusion Terms

7- R. O. Dendy, Plasma Dynamics.

8- Hillary Walter, Michelle Cooper, Illustrated

بسم الله الرحمن الرحيم

((نَرْفَعُ دَرَجَاتٍ مَّن نَّشَاءُ وَفَوْقَ كُلِّ ذِي عِلْمٍ عَلِيمٌ))

صدق الله العلي العظيم

سورة يوسف (٧٦)

الاهداء

الى معلم البشرية وهاديها ...

الى النور المبين ...

الى رسول الله محمد (صلى الله عليه واله وسلم)

الى من رضى الله برضاهما ...

الى امي وابي ...

الى سندي في شدتي ورخائي ...

الى الذين ينظرون الي بعين المحبة والاحترام ...

الى اخوتي واخواتي ...

الى اصدقائي ...

الى من تابعني ونصحني ووجهني حتى اتممت بحثي...

الى استاذي الفاضل ...

الى بلدي الجريح العراق الحبيب...

نهدي ثمرة جهودنا ...

شكر وتقدير

أتقدم بالشكر والتقدير الى الذين رفعو رايات العلم والتعليم وأخمدو رايات الجهل والتجهيل الى أساتذتي الأفاضل وأخص بالذكر منهم

الاستاذ المشرف الأستاذ المساعد (أحمد كاظم الحسناوي)

وكذالك جزيل الشكر الى قسم الكيمياء المتمثل بالسيد رئيس القسم

أ.م.د (فائق فتح الله كريم الصياد)

واخص بالشكر عمادة كلية العلوم المتمثلة بعميدها

أ.م.د (عبد الامير سمير سعدون)

الى ملائكة الارض شقائق النعمان الذين احتضنوني وزرعوا الورد في طريقي أشقائي الاعزاء ...

الى رفاق الدرب بناة المستقبل الى أروع وأصدق و أنبل البشر اصدقائي المخلصون ...

المحتويات

المحتويات..... ١

الاية القرانية..... ٢

الأهداء..... ٣

شكر وتقدير..... ٤

المقدمة..... ٥

النظرية..... ٦

عموميات البلازما..... ٧

خصائص ومعالم البلازما..... ٨

تسلسل مقادير البلازما..... ٩

درجة تأين البلازما..... ١٠

الحرارة..... ١١

الجهد الكهربائي..... ١٢

المغنطة..... ١٣

مقارنة بين البلازما وحالات المادة الاخرى..... ١٤

حالات البلازما المعقدة..... ١٥

سرعة التأين الحرجة..... ١٦

وصف رياضي..... ١٧

مجالات استخدام تقنية البلازما..... ١٨

المصادر ١٩